



# Agricultura Digital

Pesquisa, desenvolvimento e inovação  
nas cadeias produtivas

Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá  
Maria Angelica de Andrade Leite  
Stanley Robson de Medeiros Oliveira  
Carlos Alberto Alves Meira  
Ariovaldo Luchiari Junior  
Édson Luis Bolfe

Editores técnicos

**Embrapa**

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Informática Agropecuária  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

## **Agricultura Digital**

Pesquisa, desenvolvimento e inovação  
nas cadeias produtivas

Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá  
Maria Angelica de Andrade Leite  
Stanley Robson de Medeiros Oliveira  
Carlos Alberto Alves Meira  
Ariovaldo Luchiari Junior  
Édson Luis Bolfe

Editores Técnicos

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2020

**Embrapa Informática Agropecuária**

Av. André Tosello, 209, Barão Geraldo  
13083-886 Campinas, SP  
Telefone: (19) 3211-5700  
[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

**Unidade responsável pelo conteúdo e pela edição**

Embrapa Informática Agropecuária

**Comitê Local de Publicações**

Presidente  
*Stanley Robson de Medeiros Oliveira*

Secretária-Executiva  
*Maria Fernanda Moura*

Membros  
*Adriana Farah Gonzalez*  
*Alexandre de Castro*  
*Carla Cristiane Osawa*  
*Debora Pignatari Drucker*  
*Ivan Mazoni*  
*João Camargo Neto*  
*Joao Francisco Gonçalves Antunes*  
*Magda Cruciol*

**Coordenação editorial**

*Maria Angelica de Andrade Leite*  
*Flávia Bussaglia Fiorini*  
*Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá*

**Editoração**

*Traço Leal Comunicação*

**Revisão de texto**

*Renata Alves Pires (Traço Leal Comunicação)*

**Normalização bibliográfica**

*Renata Alves Pires - Traço Leal Comunicação*  
*Rejane Maria de Oliveira e Marcia Maria Pereira de Souza - Editoria e Produção (SGI/EPRO), da Secretaria-Geral da Embrapa*

**Capa, projeto gráfico e editoração eletrônica**

*Plínio Fernandes (Traço Leal Comunicação)*

**Imagens**

Capa: Unsplash com arte de  
*Marília Bastos Pícollo Silva*

Abertura parte 1: Embrapa com arte de  
*Flávia Bussaglia Fiorini*

Abertura parte 2: Unsplash com arte de  
*Marília Bastos Pícollo Silva*

Abertura parte 3: iStock com arte de  
*Marília Bastos Pícollo Silva*

**1ª edição**

Publicação digital (2020)

1ª impressão (2020): 1.000 exemplares

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Informática Agropecuária

---

Agricultura digital : pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas / Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2020.  
PDF (406 p.) : il. color.

ISBN 978-65-86056-37-2

1. Agricultura. 2. Agricultura digital 3. Tecnologia da informação. 4. Transformação digital. I. Massruhá, Silvia Maria Fonseca Silveira. II. Leite, Maria Angelica de Andrade. III. Oliveira, Stanley Robson de Medeiros. IV. Meira, Carlos Alberto Alves. V. Luchiari Junior, Ariovaldo. VI. Bolfe, Édson Luis. VII. Embrapa Informática Agropecuária.

CDD (21. ed.) 004

## Editores Técnicos

### **Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá**

Analista de Sistemas, doutora em Computação Aplicada, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Maria Angelica de Andrade Leite**  
Engenheira Civil, doutora em Engenharia de Computação, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

### **Stanley Robson de Medeiros Oliveira**

Cientista da computação, PhD em Ciência da Computação, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Carlos Alberto Alves Meira**  
Matemático, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Ariovaldo Luchiari Junior**  
Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Agronomia e Solos, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Édson Luis Bolfe**  
Engenheiro Florestal, doutor em Geografia, pesquisador na Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

## Autores

### **Adhemar Zerlotini Neto**

Cientista da Computação, doutor em Bioinformática, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

### **Adriana Farah Gonzalez**

Bacharel em Letras, especialista em Administração Escolar, técnica da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

### **Alan Massaru Nakai**

Cientista da Computação, doutor em Ciências da Computação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

### **Alexandre Camargo Coutinho**

Biólogo, doutor em Ciências Ambientais, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

### **Alexandre de Castro**

Físico, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

### **Ana Paula Ribeiro**

Biotechnologista, doutora em Biotecnologia Vegetal, pós-doutoranda da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e do Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (GCCRC), Campinas, SP.



**André Fachini Minitti**

Engenheiro Agrônomo, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Antonio Nhani Junior**

Biólogo, doutor em Bioquímica e Biologia Molecular, especialista em Bioinformática, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Ariovaldo Luchiari Junior**

Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Agronomia e Solos, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Aryeverton Fortes de Oliveira**

Economista, doutor em Economia Aplicada, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Balbina Maria Araujo Soriano**

Meteorologista, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Pantanal, Corumbá, MS.

**Breno Silva Beda de Assunção**

Cientista da Computação, especialista em Transformação Digital, analista da Embrapa, Brasília, DF.

**Carla Geovana do****Nascimento Macário**

Tecnóloga em Processamento de Dados, doutora em Ciência da Computação, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Carlos Alberto Alves Meira**

Matemático, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Carlos Cesar Ronquim**

Engenheiro Agrônomo, doutor em Ecologia e Recursos Naturais, pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas, SP.

**Carlos Manuel Pedro Vaz**

Físico, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP.

**Cássia Isabel Costa Mendes**

Advogada, doutora em Desenvolvimento Econômico, Analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Célia Regina Grego**

Engenheira Agrônoma, doutora em Energia na Agricultura, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Celina Maki Takemura**

Cientista da Computação, doutora em Ciências da Computação, pesquisadora da Embrapa Territorial, Campinas, SP.

**Cleudson Nogueira Dias**

Administrador, doutor em Administração, analista da Secretaria de Inovação e Negócios da Embrapa, Brasília, DF.



**Cornélio Alberto Zolin**

Engenheiro Agrícola, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Agrossilvopastoril, Sinop, MT.

**Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues**

Zootecnista, doutora em Biologia Vegetal, pesquisadora da Embrapa Territorial, Campinas, SP.

**Daniel de Castro Victoria**

Engenheiro Agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Debora Pignatari Drucker**

Engenheira Florestal, doutora em Ambiente e Sociedade, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Edgard Henrique dos Santos**

Cientista da Computação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Édson Luis Bolfe**

Engenheiro Florestal, doutor em Geografia, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Eduardo Antonio Speranza**

Bacharel em Ciências de Computação, doutor em Ciência da Computação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Eduardo Delgado Assad**

Engenheiro Agrícola, doutor em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária e professor do Centro de Agronegócio da Fundação Getúlio Vargas (GV Agro), Campinas, SP.

**Enilda Coelho**

Cientista da computação, mestre em Ciências da Informação, analista da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

**Fábio César da Silva**

Engenheiro Agrônomo, mestre e doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Fábio Danilo Vieira**

Tecnólogo em Processamento de Dados, mestre em Engenharia Agrícola, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Fernanda Rausch Fernandes**

Engenheira Agrônoma, doutora em Fitopatologia, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária e do Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (GCCRC), Campinas, SP.

**Flávia Bussaglia Fiorini**

Relações Públicas, especialista em Gestão de Comunicação e Marketing, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.



**Francisco Ferraz  
Laranjeira Barbosa**

Engenheiro Agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

**Geraldo Bueno Martha Júnior**  
Engenheiro Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Giampaolo Queiroz Pellegrino**  
Engenheiro Florestal, doutor em Água e Solo, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Gilberto Romeiro de  
Oliveira Menezes**  
Zootecnista, doutor em Genética e Melhoramento, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

**Glauber José Vaz**  
Cientista da Computação, mestre em Ciências da Computação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Goran Neshich**  
Físico-químico, Ph.D. em Biofísica Molecular, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Guiomar Alessandra de  
Souza Telles**  
Bacharel em Letras, técnica da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

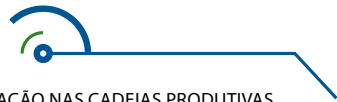
**Gustavo Costa Rodrigues**  
Engenheiro Agrônomo, mestre em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Helano Póvoas de Lima**  
Cientista da Computação, mestre em Ciências da Computação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Inácio Henrique Yano**  
Tecnólogo em Processamento de Dados e economista, doutor em Engenharia Agrícola, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Isabel Rodrigues Gerhardt**  
Engenheira Agrônoma, doutora em Biologia Molecular, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária e do Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (GCCRC), Campinas, SP.

**Isaque Vacari**  
Tecnólogo em Processamento de Dados, mestre em Ciência da Computação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.



**Ivan Mazoni**

Tecnólogo em Processamento de Dados, doutor em Bioinformática, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Ivo Pierozzi Júnior**

Biólogo, doutor em Ecologia, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Jaderson Silveira Leite Armanhi**

Biólogo, doutor em Genética e Biologia Molecular, pós-doutorando da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e do Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (GCCRC), Campinas, SP.

**Jayme Garcia Arnal Barbedo**

Engenheiro Eletricista, doutor em Engenharia Elétrica, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**João Camargo Neto**

Engenheiro Eletricista, doutor em Engenharia Agrícola e de Biosistemas, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**João dos Santos Vila da Silva**

Matemático, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**João Francisco Gonçalves Antunes**

Matemático, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Joice Machado Bariani**

Bacharel em Ciências Biológicas, mestre em Genética e Biologia Molecular, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro**

Engenheiro Agrônomo, doutor em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Juliana Erika de Carvalho Teixeira Yassitepe**

Engenheira Agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária e do Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (GCCRC), Campinas, SP.

**Juliano Souza de Albuquerque Maranhão**

Advogado, doutor em Direito, professor Livre-Docente da Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo (USP), membro do Comitê Diretor da Associação Internacional de Inteligência Artificial e Direito, São Paulo, SP.





**Júlio César Dalla Mora Esquerdo**

Engenheiro Agrônomo, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Júlio Cesar Franchini dos Santos**

Agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

**Kleber Xavier Sampaio de Souza**

Engenheiro Eletricista, doutor em Engenharia Elétrica, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Ladislau Marcelino Rabello**

Engenheiro Eletricista, doutor em Engenharia Elétrica, pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP.

**Laurimar Gonçalves Vendrusculo**

Engenheira Eletricista, doutora em Engenharia Agrícola e Biosistemas, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Leandro Carrijo Cintra**

Cientista da Computação, doutor em Bioinformática, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Líbia Cristina Xavier Santos**

Advogada, mestranda em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação, analista da Embrapa, Brasília, DF.

**Luciana Alvim Santos Romani**

Cientista da Computação, doutora em Ciência da Computação, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Luciano Vieira Koenigkan**

Cientista da Computação, mestre em Engenharia Elétrica, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Lúcio André de Castro Jorge**

Engenheiro Eletricista, doutor em Engenharia Elétrica, pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP.

**Luís Gustavo Barioni**

Engenheiro Agrônomo, doutor em Ciência Animal e Pastagens, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Luiz Manoel Silva Cunha**

Estatístico, mestre em Ciência da Computação e Matemática Computacional, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Luiz Otávio Campos da Silva**

Zootecnista, doutor em Genética e Melhoramento, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

**Magda Cruciol**

Relações Públicas, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.



**Márcia Divina de Oliveira**

Bióloga, doutora em Limnologia, pesquisadora da Embrapa Pantanal, Corumbá, MS.

**Marcia Izabel Fugisawa Souza**

Bacharel em Biblioteconomia, doutora em Educação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Márcio José da Silva**

Biólogo, doutor em Genética e Biologia Molecular, pesquisador da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e do Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (GCCRC), Campinas, SP.

**Marcos Cezar Visoli**

Cientista da computação, mestre em Informática e Sistemas, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Maria Angelica de Andrade Leite**

Engenheira Civil, doutora em Engenharia de Computação, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Maria do Carmo Ramos Fasiaben**

Engenheira Agrônoma, doutora em Desenvolvimento Econômico, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Maria Fernanda Moura**

Estatística, doutora em Ciências Matemáticas e da Computação, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Marília Ieda da Silveira**

**Folegatti Matsuura**

Zootecnista, doutora em Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

**Martha Delphino Bambini**

Engenheira Química, doutoranda em Política Científica e Tecnológica, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Mateus Batistella**

Biólogo, doutor em Ciência Ambiental, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Maurício de Alvarenga Mudadu**

Biólogo, doutor em Bioinformática, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Nadir Rodrigues Pereira**

Jornalista, mestre em Educação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.



**Paula Giovanna  
Guimarães Ribeiro**

Advogada, especialista em Direito Civil e Processo Civil, analista da Coordenadoria de Suporte Jurídico à Inovação e Negócios da Embrapa, Brasília, DF.

**Paula Regina Kuser Falcão**

Física, doutora em Física Aplicada, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Paulo Arruda**

Biólogo, doutor em Genética e Biologia Molecular, professor e pesquisador da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e do Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (GCCRC), Campinas, SP.

**Poliana Fernanda Giachetto**

Zootecnista, doutora em Produção Animal, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Rafael Soares Correa de Souza**

Biólogo, doutor em Genética e Biologia Molecular, pós-doutorando da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e do Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (GCCRC), Campinas, SP.

**Ricardo Augusto Dante**

Bacharel em Ciências Biológicas, PhD em Ciência da Planta, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária e do Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (GCCRC), Campinas, SP.

**Ricardo Fonseca Araújo**

Bacharel em Ciências da Computação, mestre em Gestão do Conhecimento da Tecnologia da Informação, analista da Secretaria de Inovação e Negócios da Embrapa, Brasília, DF.

**Ricardo Yassushi Inamasu**

Engenheiro Mecânico, doutor em Engenharia Mecânica, pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP.

**Roberto Hiroshi Higa**

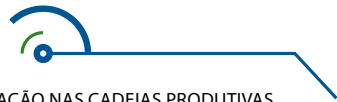
Engenheiro Eletricista, doutor em Engenharia Elétrica, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Sandra Aparecida Santos**

Zootecnista, doutora em Zootecnia, pesquisadora da Embrapa Pantanal, Corumbá, MS.

**Santiago Vianna Cuadra**

Meteorologista, doutor em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.



**Sérgio Aparecido Braga da Cruz**

Engenheiro Eletricista, doutor em Computação Aplicada, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Shalon Silva de Souza Figueiredo**

Psicóloga, especialista em Teoria Psicanalítica, analista da Secretaria de Inovação e Negócios da Embrapa, Brasília, DF.

**Silvia Maria Fonseca**

**Silveira Massruhá**

Analista de Sistemas, doutora em Computação Aplicada, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Sílvio Roberto**

**Medeiros Evangelista**

Estatístico, doutor em Engenharia Elétrica, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Sônia Ternes**

Matemática Aplicada e Computacional, doutora em Engenharia Elétrica, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Stanley Robson de**

**Medeiros Oliveira**

Cientista da Computação, PhD em Ciência da Computação, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Suzana Maria Salis**

Bióloga, doutora em Biologia Vegetal, pesquisadora da Embrapa Pantanal, Corumbá, MS.

**Tércia Zavaglia Torres**

Administradora, doutora em Educação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Thiago Teixeira Santos**

Cientista da Computação, doutor em Ciências da Computação, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Urbano Gomes Pinto de Abreu**

Médico Veterinário, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Pantanal, Corumbá, MS.

**Vinícius Milléo Kuromoto**

Relações Públicas, especialista em Marketing, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

**Viviane Cristina Heinzen da Silva**

Bióloga, doutora em Biologia Funcional e Molecular, pós-doutoranda da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e do Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (GCCRC), Campinas, SP.

**Walfrido Moraes Tomas**

Médico Veterinário, doutor em Ecologia e Conservação, pesquisador na Embrapa Pantanal, Corumbá, MS.





## Agradecimentos

Com o lançamento deste livro, queremos aproveitar a oportunidade para agradecer a todos aqueles que, por meio do trabalho colaborativo e do compartilhamento de ideias, tornaram possível a realização desta publicação sobre as iniciativas da Embrapa na implantação da agricultura digital no Brasil, com foco nos conceitos, tecnologias e aplicações disponíveis ou que ainda estão em desenvolvimento, além dos desafios e perspectivas futuras.

Como organizadores desta obra, e em nome da Embrapa Informática Agropecuária, agradecemos, inicialmente, ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações pela oportunidade de participar do movimento de transformação digital da agricultura no âmbito da Câmara do Agro 4.0.

À Diretoria Executiva da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) agradecemos imensamente pelo apoio constante e por acreditar em nosso trabalho. Às Unidades Centrais e Descentralizadas da Embrapa agradecemos pela colaboração contínua.

Em especial, agradecemos à Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), que nos sedia e com a qual temos inúmeras iniciativas conjuntas no âmbito de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I). Podemos citar, entre elas, o Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas, a participação de nossos pesquisadores como colaboradores em cursos de graduação e pós-graduação relacionados com as atividades de nossa Unidade, além da atuação de inúmeros estudantes dessa universidade em nossos projetos de PD&I, por meio do processo de formação e qualificação de estagiários e bolsistas da Embrapa. No contexto da inovação aberta, a Embrapa também tem atuado, junto a outras instituições públicas e privadas, no Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável, coordenado pela Unicamp com o apoio da Prefeitura de Campinas e o Governo do Estado de São Paulo.

Estendemos nossos agradecimentos aos produtores e aos agentes das cadeias produtivas, nossos clientes, responsáveis pela grandiosidade do agro-negócio brasileiro, pelo uso e a validação das tecnologias produzidas pela Embrapa, e também às agências de fomento pelo financiamento de nossas pesquisas. Agradecemos ainda a todos os nossos parceiros, representados por instituições públicas nas esferas municipal, estadual e federal, empresas, startups, aceleradoras, cooperativas, institutos de ciência e tecnologia e universidades.

Todos esses atores participam do ecossistema de inovação da agricultura digital e nos desafiam continuamente a desenvolver soluções digitais que suportem o tratamento dos dados, da informação e do conhecimento para a implantação da agricultura digital no País.



De forma decisiva foi a participação dos empregados da Embrapa Informática Agropecuária. O corpo técnico dedicou-se com afincos a elaborar os capítulos deste livro, não medindo esforços para divulgar as pesquisas e os trabalhos que estão sendo realizados nesse centro de pesquisa, sob sua responsabilidade. Com igual empenho agradecemos aos revisores do Comitê Local de Publicações (CLP) pela análise técnica; ao Núcleo de Comunicação Organizacional (NCO) pelas atividades de ilustração e consolidação desta obra; à equipe da Editoria e Produção (Epro/GCI), da Secretaria-Geral da Embrapa, pelo apoio na normalização bibliográfica; à bibliotecária e à equipe administrativa por todo o suporte recebido.

Por fim, agradecemos a todos os coautores das Unidades da Embrapa e aos parceiros que se uniram a nós, trazendo sua experiência técnica e científica em prol da transformação digital e da sustentabilidade da agricultura brasileira para a segurança alimentar no país e no mundo.



## Apresentação

A expectativa de a população mundial atingir 9 bilhões de habitantes em 2050, demandando uma quantidade crescente de alimentos, impõe um grande desafio para a agricultura, como a necessidade de aumentar a produtividade na mesma área plantada com redução de custos e respeitando a conservação dos recursos naturais. Ao mesmo tempo, eventos climáticos extremos afetam a produção agrícola, consumidores exigentes demandam alimentos mais nutritivos, funcionais e produzidos de forma sustentável, a população concentra-se cada vez mais nos centros urbanos e torna-se mais longeva, enquanto cresce o deslocamento dos indivíduos do campo para as cidades e o envelhecimento da população rural. Além disso, surge a ameaça do coronavírus impactando todos os setores, desde a saúde, a educação e o agronegócio até a economia, entre outros. Para superar todos esses desafios são necessários a geração e o uso de novas tecnologias, agregando mais valor em todos os elos das cadeias produtivas.

Nesse contexto surge a transformação digital, que consiste no emprego das tecnologias da informação e da comunicação (TIC), aliadas a tecnologias inovadoras, para aumentar de forma significativa a performance e o alcance das empresas por meio da mudança na forma como os negócios são feitos. Algumas dessas tecnologias inovadoras apontadas como críticas da transformação digital são: computação em nuvem, internet das coisas, mídias sociais, *Big Data* e ciência de dados, inteligência artificial, realidade aumentada e realidade virtual, robótica, conectividade ubíqua, aprendizado de máquina, gêmeos digitais (*digital twins*, em inglês), automação, biotecnologia e bioinformática, além da nanotecnologia. Essas tecnologias, agindo de forma sinérgica e complementar, têm poder de transformação que culmina no que tem sido apontado como a quarta revolução industrial, também chamada Indústria 4.0.

Tal cenário traz também novas oportunidades para a utilização dessas inovações na agricultura. Para que o Brasil possa garantir, ou mesmo ampliar, sua capacidade de produção com sustentabilidade, ao mesmo tempo que atende à demanda global por segurança alimentar e nutricional, tornam-se necessárias a modernização, a tecnificação e a inovação em toda a cadeia de produção agrícola, convergindo para a agricultura digital ou Agricultura 4.0, numa analogia à Indústria 4.0, como resultado da transformação digital do setor.

A Embrapa viabiliza soluções de pesquisa, desenvolvimento e inovação para a sustentabilidade da agricultura, sendo uma referência mundial em geração e oferta de informações, conhecimentos e tecnologias, contribuindo para a inovação e a sustentabilidade da agricultura e a segurança alimentar. Sendo uma instituição movida a ciência, atenta às tendências e empregando as mais novas tecnologias na pesquisa e na inovação agrícola, a Embrapa estabeleceu como uma de suas áreas primordiais a implantação da agricultura



digital no Brasil. Para tanto, a Embrapa Informática Agropecuária, unidade de pesquisa que tem como foco atuar de forma multidisciplinar nas áreas de agroinformática e bioinformática para desenvolver pesquisas e soluções para a agricultura, aplicando métodos, técnicas e ferramentas computacionais, tem envidado esforços para promover a agricultura digital no país, em conjunto com as demais Unidades da Empresa e instituições parceiras do setor público e privado.

Neste livro, o leitor terá a oportunidade de saber mais sobre os conceitos, as tecnologias, as aplicações e os desafios apontados pela Embrapa nessa área. A expectativa inicial é difundir o esforço da instituição e de seus parceiros na implantação da agricultura digital e, além disso, servir como ponto de partida para o estabelecimento de uma base de conhecimentos para futuras discussões, que permitam o fortalecimento de parcerias, a troca de experiências e a promoção do desenvolvimento sustentável das cadeias produtivas agrícolas do Brasil. Espera-se, assim, contribuir para que a agricultura digital se consolide cada vez mais no espaço agrícola brasileiro, englobando tanto grandes empreendimentos como a agricultura familiar e impulsionando o crescimento do setor agrícola como um todo e a melhoria das condições sociais, ambientais e econômicas do meio rural.

**Celso Luiz Moretti**  
Diretor-Presidente da Embrapa





## Prefácio

Os novos desafios da agricultura impõem a necessidade de maior produtividade e eficiência por meio da otimização do uso dos recursos naturais e ambientais, demandando o uso das diferentes tecnologias digitais. A integração dessas tecnologias permite desenvolver soluções para automação, fazendas inteligentes, sanidade animal e vegetal, gestão de risco agrícola, biotecnologia, nanotecnologia, mitigação das mudanças climáticas, bioeconomia, bioinsumos, certificação e rastreabilidade, agricultura de precisão, economia de baixo contato, entre outras áreas de interesse.

A agricultura digital vem sendo implantada no Brasil como uma resposta à transformação digital que está ocorrendo em todos os setores da sociedade, resultando no maior uso das tecnologias da informação e da comunicação, aliadas às tecnologias disruptivas, que preconizam a nova revolução industrial, a Indústria 4.0. Uma vez que o Brasil é um dos maiores produtores e exportadores mundiais de commodities agrícolas, sendo um dos responsáveis pela segurança alimentar global, torna-se imprescindível intensificar a tecnificação das propriedades rurais para assegurar a competitividade da agricultura brasileira.

Neste ano de 2020, a Embrapa Informática Agropecuária completa 35 anos, e o lançamento deste livro visa divulgar seus esforços para promover a agricultura digital no Brasil. A Unidade foi constituída em 1985, por meio de uma ação da Diretoria Executiva da Embrapa, como um centro de pesquisa voltado à excelência na pesquisa e na geração de conhecimento em tecnologias da informação e comunicação (TIC) para a agricultura brasileira. Desde então, a Embrapa Informática Agropecuária tem comprovado a transversalidade das TIC, através da execução de seus projetos de pesquisa, aplicando métodos, técnicas e ferramentas de modelagem e simulação, inteligência artificial, reconhecimento de padrões e geoprocessamento, apoiados na gestão da informação e do conhecimento e no uso de tecnologias emergentes e padrões abertos. A atuação da área de pesquisa e desenvolvimento pauta-se pela visão estratégica, focada principalmente em soluções nas áreas de agroinformática e bioinformática. Atualmente, esse centro tem se dedicado a integrar as TIC com as novas tecnologias digitais para promover a transformação digital na agricultura por meio de seus quatro eixos de atuação, quais sejam: Bioinformática e Biologia Computacional, Computação Científica e Automação, Modelagem Agroambiental e Geotecnologias, além de Engenharia da Informação.

Este livro apresenta iniciativas em agricultura digital realizadas por meio de atividades e projetos desenvolvidos pela Embrapa Informática Agropecuária, junto com os demais centros de pesquisa da Embrapa, bem como com instituições parceiras do setor público e privado.



Com esse propósito, o livro foi dividido em três partes, nas quais são abordados conceitos, tecnologias, aplicações e desafios para pesquisa, desenvolvimento e inovação na agricultura digital nas cadeias produtivas. Na Parte 1, é apresentado o contexto da agricultura digital no Brasil, bem como as definições das tecnologias digitais empregadas nas soluções discutidas nos capítulos posteriores.

A Parte 2 tem o foco voltado para as aplicações que estão sendo desenvolvidas no escopo da agricultura digital nas áreas de modelagem agroambiental, geotecnologias, computação científica, visão computacional, agricultura de precisão, engenharia da informação, bioinformática, biologia estrutural e genômica aplicada às mudanças climáticas.

Na Parte 3, são apresentados o ecossistema de inovação em agricultura e as perspectivas futuras, perpassando pelos processos de inovação, direito digital, comunicação, forças motrizes para a agropecuária e os desafios, tendências e oportunidades que se descortinam nessa trajetória.

**Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá**

Chefe geral da Embrapa Informática Agropecuária



## Sumário

### Parte 1: Contextualização e tecnologias

1. A transformação digital no campo  
rumo à agricultura sustentável e inteligente ..... 20
2. Agricultura digital: definições e tecnologias ..... 46

### Parte 2: Aplicações na agricultura

3. Modelagem agroambiental e a  
transformação digital da agricultura ..... 68
4. Geotecnologias na agricultura digital ..... 94
5. Computação científica na agricultura ..... 120
6. Visão computacional aplicada na agricultura ..... 146
7. Tecnologias desenvolvidas em Agricultura de Precisão ..... 166
8. Engenharia da informação:  
contribuições para a agricultura digital ..... 192
9. DPIN: um dicionário dos nanoambientes internos das  
proteínas e seu potencial para transformação em ativos para a  
agricultura ..... 218
10. Aplicações da bioinformática na agricultura ..... 234
11. Genômica aplicada às mudanças climáticas:  
biotecnologia para a agricultura digital ..... 258

### Parte 3: Ecossistema de inovação e perspectivas futuras

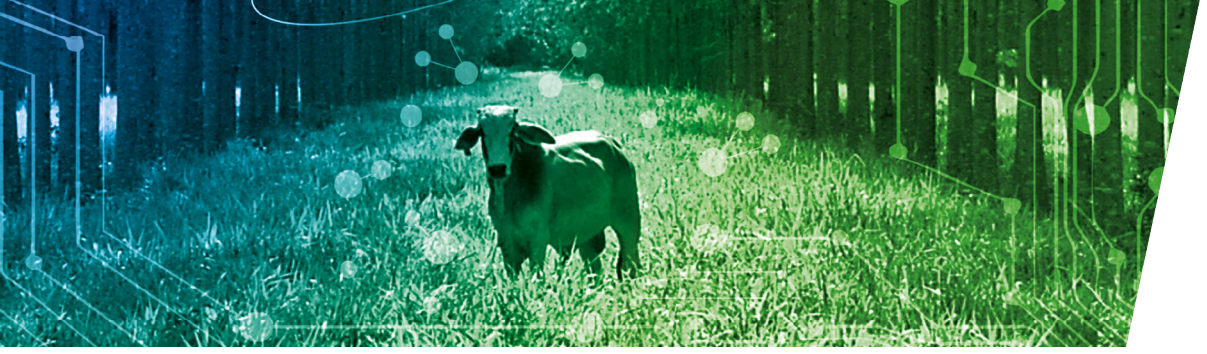
12. Ecossistema de inovação em agricultura:  
evolução e contribuições da Embrapa ..... 278
13. O direito frente à digitalização da agricultura ..... 306
14. Inovando a comunicação na era da agricultura digital ..... 330
15. Forças motrizes para a agropecuária brasileira  
na próxima década: implicações para a agricultura digital ..... 358
16. Desafios, tendências e oportunidades  
em agricultura digital no Brasil ..... 380

# Contextualização e tecnologias



PARTE **1**





# 1 A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente

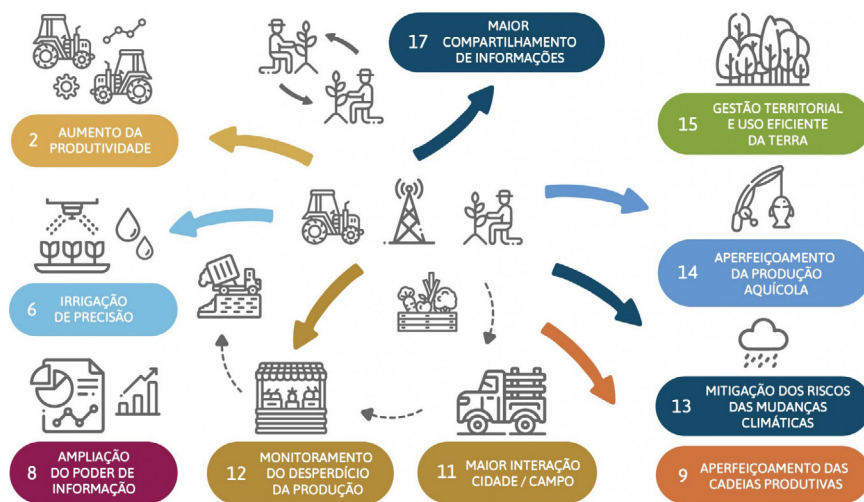
Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá  
Maria Angelica de Andrade Leite  
Ariovaldo Luchiari Junior  
Sílvio Roberto Medeiros Evangelista

## 1 Introdução

A agricultura mundial tem o desafio de garantir a segurança alimentar fornecendo alimentos, fibras e energia limpa de forma sustentável. O cenário global previsto é crítico: população mundial atingindo nove bilhões de habitantes em 2050; crescente escassez dos recursos terra e água; mudanças climáticas e eventos extremos; níveis de renda per capita e urbanização ascendentes; novos consumidores digitalizados demandando alimentos mais nutritivos e funcionais; e ganhos de produtividade em ritmo decrescente em alguns países. Projeções baseadas em padrões de crescimento populacional e consumo de alimentos indicam que a produção agrícola precisará aumentar em pelo menos 70% para atender às demandas até 2050. A maioria das estimativas também indica que as mudanças climáticas provavelmente reduzirão a produtividade agrícola, a estabilidade da produção e a renda em algumas áreas que já apresentam altos níveis de insegurança alimentar. O desenvolvimento de agricultura inteligente, portanto, torna-se crucial para alcançar as metas futuras de segurança alimentar. (FAO, 2010).

Consoante com a sustentabilidade do planeta, em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) visando promover uma sociedade mais justa e que respeitasse o meio ambiente. Os 17 ODS constituem um apelo universal para proteger o planeta e garantir que todas as pessoas tenham dignidade, visando

conduzir governos, empresas e sociedades para um mundo mais sustentável e inclusivo. Eles servem como uma orientação para os países superarem os desafios ambientais, políticos e econômicos mais urgentes. Dentre os 17 ODS, alguns podem ser atendidos por ações diretamente relacionadas com a agricultura, como ilustra a Figura 1. Assim, o ODS 2, de Fome Zero, pode ser minimizado por meio do aumento na produção agrícola; o ODS 6, de Água Potável e Saneamento, remete ao uso sustentável de água nas atividades de irrigação e na agricultura de forma geral; o ODS 8, de Trabalho Decente e Crescimento Econômico, pode ser atendido pela promoção de ações de melhoria das condições dos pequenos produtores rurais e agricultores familiares e pela ampliação do acesso à informação; o ODS 9, de Indústria, Inovação e Infraestrutura, pode ser amparado pelo aperfeiçoamento das cadeias produtivas; o ODS 11, de Cidades e Comunidades Sustentáveis, é apoiado pela maior integração entre campo e cidade; o ODS 12, de Consumo e Produção Responsáveis, pode ser alcançado pelo controle de perdas de safras e desperdícios de alimentos; o ODS 13, de Ação Contra a Mudança Global do Clima, pode ser atingido pela mitigação dos riscos das mudanças climáticas e pela redução de emissão de gases de efeito estufa nas atividades da pecuária; o ODS 14, de Vida na Água, é suportado por meio do aperfeiçoamento da produção aquícola; o ODS 15, de Vida Terrestre, pode ser monitorado pelo mapeamento do uso de cobertura da terra e pela produção agrícola sustentável; e, por fim, o ODS 17, de Parcerias e Meios de Implementação, é suportado pelo maior compartilhamento de informações entre parceiros agrícolas (Project Breakthrough, 2017).



**Figura 1.** Objetivos de desenvolvimento sustentável relacionados com a agricultura.

Fonte: Adaptado de Project Breakthrough (2017).

Em meio a todos esses desafios, surge a mais nova adversidade, representada pela pandemia causada pelo Coronavírus, atingindo a saúde de milhões



de pessoas, abalando toda forma de convivência social, interrompendo a educação nas escolas e causando graves prejuízos em todos os setores da economia – inclusive na cadeia de produção e distribuição do agronegócio, afetando o preço das commodities agrícolas. Prins (2020) relata que a Covid-19 está direcionando a transformação de dados agrícolas em três aspectos: 1) aumento da digitalização; 2) aumento da colaboração digital; e 3) visibilidade, principalmente devido às disrupções na cadeia de valor, que tornam o planejamento uma ferramenta fundamental no processo de suprimento de produtos agrícolas. Os prejuízos causados pela pandemia ainda estão sendo calculados, e serão necessárias novas políticas e estratégias, não só de mitigação de riscos, integração nacional e cooperação internacional, mas também de incentivos fiscais e econômicos para que o mundo retorne ao seu curso de desenvolvimento.

O Brasil é o maior exportador mundial de soja, café, açúcar, suco de laranja, etanol de cana-de-açúcar, carne bovina e frango. Em 2019, as exportações do agronegócio foram da ordem de US\$ 96,8 bilhões, representando 43,2% do total exportado pelo país. A agricultura brasileira é baseada em mais de 300 espécies de cultivos e envia para o mundo 350 tipos de produtos, que chegam a 200 mercados do planeta. O Brasil é grande produtor de grãos, carne e frutas, e o setor agropecuário contribui com 21,1% do PIB e 20% da força de trabalho (Embrapa, 2019). A atual safra de grãos no país (2019/2020) está sendo indicada como novo recorde histórico, estimada em 250,5 milhões de toneladas, 3,5% (ou 8,5 milhões de toneladas) superior ao colhido em 2018/19 (Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Grãos, 2020).

No país, a agricultura familiar é responsável por parte importante da produção nacional de alimentos. Cerca de 50% dos estabelecimentos da agricultura familiar concentram-se na região Nordeste, 19% na região Sul, 16% na região Sudeste, 10% na região Norte e 5% na região Centro-Oeste. A Bahia é o estado com maior número de estabelecimentos familiares (15%), seguida por Minas Gerais (10%). Esses dois estados possuem também as maiores áreas com estabelecimentos familiares, cerca de 10 milhões e 9 milhões de hectares, respectivamente (Embrapa, 2019).

Diante de todos esses desafios apresentados na agricultura, principalmente o de aumentar a produção agrícola sem ampliar significativamente a área plantada, torna-se premente o uso cada vez mais intenso de novas tecnologias para permitir os ganhos de produtividade de forma sustentável. Nesse contexto surgiu um novo fator de produção que está modificando a base de crescimento econômico para os países em todo o mundo. Trata-se da transformação digital, uma nova abordagem em que as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) desempenham papel-chave na transformação da estratégia, da estrutura, da cultura e dos processos das organizações, utilizando o alcance e o poder da internet.

Por meio de novos investimentos em tecnologias e modelos de negócios, espera-se melhorar o engajamento dos clientes digitais em todos os pontos de contato no ciclo de vida de sua experiência. A transformação digital consiste no uso das TIC para aumentar de forma significativa a performance e o alcance das empresas por meio da mudança na maneira como os negócios são feitos. São três os elementos da transformação digital: transformação da experiência do cliente, dos modelos de negócios e dos processos operacionais (Transformação Digital, 2020).

Algumas tecnologias apontadas como críticas na transformação digital são: computação em nuvem, internet das coisas, mídias sociais, mobilidade, *Big Data* e ciência de dados, inteligência artificial, realidade aumentada e realidade virtual, robótica, conectividade ubíqua, aprendizado de máquina, gêmeos digitais (*digital twins*, em inglês) e automação, além dos avanços na biotecnologia e na bioinformática e a nanotecnologia. Essas áreas, agindo de forma sinérgica e complementar, têm o poder de transformação da nova ordem mundial, culminando no que tem sido apontado como a quarta revolução industrial, também chamada Indústria 4.0. Além disso, a queda do custo dessas tecnologias avançadas desempenha um papel importante na aceleração da inovação (World Economic Forum, 2017).

As tecnologias disruptivas, aliadas às inovações mais recentes, prometem alavancar as pesquisas na agricultura. A convergência das áreas de Nanociência, Biotecnologia, TIC e Ciência Cognitiva (NBIC) irá propiciar um grande salto qualitativo na forma como o mundo da agricultura pode ser transformado. A evolução da abordagem de sistemas, matemática e computação, em conjunto com o trabalho em áreas NBIC, permitirá, pela primeira vez, compreender o mundo natural e a cognição em termos de sistemas complexos e hierárquicos. Aplicada tanto para problemas específicos de pesquisa quanto para a organização geral de instituições de ciência e tecnologia, essa abordagem de sistemas complexos fornece consciência holística e oportunidades de integração, a fim de obter o máximo de sinergia ao longo das principais direções do avanço científico e tecnológico para a agricultura (Kim et al., 2012).

O Fórum Econômico Mundial lançou a Iniciativa de Transformação Digital, em 2015, em colaboração com a empresa Accenture (2020), para servir de ponto focal para novas oportunidades e temas emergentes relacionados aos últimos desenvolvimentos na área da digitalização de negócios e da sociedade. Essa iniciativa suporta as ações do Fórum em torno dos temas relacionados à Quarta Revolução Industrial. Desde a sua criação, a iniciativa analisou o impacto da transformação digital em diversos setores como: Agricultura, Aviação, Viagens e Turismo, Química e Materiais Avançados, Mineração e Metais, Óleo e Gás, Serviços profissionais, Varejo, Telecomunicações, Automotivo, Consumidor, Eletricidade, Cuidados de saúde, Logística, e Mídia (World Economic Forum, 2017).

A partir da transformação digital, houve a proliferação das startups, cuja definição mais utilizada é um grupo de pessoas à procura de um modelo de negócios repetível e escalável, trabalhando em condições de extrema incerteza, conforme Yuri Gitahy, investidor-anjo e fundador da empresa Aceleradora (2020) e conselheiro da Associação Brasileira de Startups (ABStartups) (Associação Brasileira de Startups, 2019). As startups são altamente flexíveis em relação às empresas tradicionais e têm um objetivo claro e rapidez para adaptar-se, mudar, criar, reformular estratégias, enxergar e gerar novos mercados e novas possibilidades de monetização. Em 2020, a ABStartups contabiliza mais de 13 mil startups entre suas filiadas (StartupBase, 2020).

Nesse cenário, surgem novas oportunidades para a utilização dessas inovações na agricultura. Para que o Brasil possa garantir, ou mesmo ampliar, sua capacidade de produção com sustentabilidade, ao mesmo tempo que atende à demanda global por segurança alimentar e nutricional como um grande exportador de commodities agrícolas, tornam-se necessárias a modernização, a tecnificação e a inovação em toda a cadeia de produção agrícola, convergindo para a agricultura digital, como resultado da transformação digital do setor.

De acordo com o documento de Visão 2030 da Embrapa (2018), as TIC e seus acelerados avanços, como as mídias sociais e as plataformas digitais, transformaram as formas de relacionamento, interação e comunicação entre empresas e consumidores. Os computadores e os celulares cada vez mais acessíveis, a internet de baixo custo e a tecnologia Wi-Fi possibilitam acesso à informação e propiciam crescente protagonismo do consumidor na tomada de decisão na hora de comprar, bem como no compartilhamento de experiências e no controle de produtos e marcas. O avanço da economia digital e colaborativa incrementa, além do nível de informações, as habilidades e o engajamento dos consumidores, bem como as condições necessárias para que eles sejam crescentemente protagonistas nas decisões nos processos produtivos, promovendo o seu empoderamento (Gazzola et al., 2017).

Não é de se surpreender que, nessa era de amplas e profundas transformações ocasionadas pelas TIC, uma das principais forças formadoras da visão de futuro da agricultura brasileira seja a influência exercida pelo novo consumidor, cada vez mais conectado por meio das redes sociais para promover suas escolhas de consumo e influenciar seus pares e os sistemas de produção agrícola. Munido de mais informação e maior conhecimento acerca dos produtos oferecidos e seus preços, esse agente econômico se torna cada vez mais um determinante dos atributos que deseja, potencializado pelas oportunidades e ferramentas digitais. Indivíduos crescentemente interligados com seus aparelhos continuamente conectados à rede (web) e com acesso a qualquer tipo de informação em tempo real são fortes formadores de opinião em seus círculos de influência, o que demonstra que a confiança

que eles depositam nas organizações (fornecedores) impacta fortemente a sobrevivência delas. (Embrapa, 2018).

A mais recente pesquisa brasileira da TIC Domicílios do Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br), realizada em 2019, mostra que 50% da população brasileira já usou computador, 74% usa a internet e 99% possui telefone celular (Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2019). Conforme o Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizado em 2017, o número de produtores que declararam ter acesso à internet cresceu 1.900%, passando de 75 mil, em 2006, para 1.430.156 em 2017, sendo 659 mil através de banda larga e 909 mil via internet móvel (IBGE, 2019). No estudo “A mente do Agricultor Brasileiro na Era Digital”<sup>1</sup>, da empresa McKinsey & Company, os pioneiros na adoção de agricultura de precisão no Brasil e conhecedores de tecnologias são jovens produtores de cultivo de larga escala, como grãos (32%) e algodão (62%). Entre eles, 47% usam pelo menos uma tecnologia de agricultura de precisão, ao passo que 33% usam duas ou mais. Ainda, segundo o estudo, a aplicação em taxa variável e os drones são as tecnologias mais adotadas, sendo que a internet das coisas, a telemetria e o sensoriamento remoto também encontram vários adeptos.

Uma outra pesquisa foi realizada numa parceria entre a Embrapa, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Santin, 2020), constatando-se que 84,1% dos agricultores entrevistados utilizam pelo menos uma tecnologia digital em seu processo produtivo. As principais funções das tecnologias digitais utilizadas pelos agricultores são: obtenção de informações e planejamento das atividades da propriedade (66,1%); gestão da propriedade rural (43,3%); compra e venda de insumos, produtos e da produção (40,5%); mapeamento e planejamento do uso da terra (32,7%); e previsão de riscos climáticos como geada, granizo, veranico e chuvas intensas (30,2%).

Este capítulo vai explorar os principais aspectos da transformação digital na agricultura. A seção 2 abordará a evolução da agricultura e da automação na agricultura, enquanto a seção 3 discutirá o rumo para a agricultura 5.0, totalmente automatizada, e os principais fatores envolvidos, e a seção 4 apresentará as iniciativas para impulsionar a agricultura digital no Brasil. A seção 5 indicará como incorporar as megatendências da transformação digital na agricultura e, finalmente, a seção 6 apresentará as principais contribuições deste capítulo.

---

<sup>1</sup> Apresentação do estudo feita por Nelson Ferreira no webinar *A agricultura digital na era pós-Covid*, em 7 de maio de 2020. Disponível em: <https://www.insper.edu.br/agenda-de-eventos/a-agricultura-na-era-digital-pos-covid/>.

## 2 Evolução da agricultura: do agro 1.0 para o agro 4.0

A história agrícola no mundo deve ser comemorada como uma das grandes conquistas da humanidade. No início do século 20 tinha-se a agricultura 1.0, em que a força de trabalho era provida pela mão de obra das famílias, utilizando instrumentos manuais, ajudada pela tração animal. Era uma agricultura com baixa produção. Esses produtores, além de cultivarem para consumo próprio, geravam um excedente de alimentos que sustentava um número sempre crescente de pessoas.

Com a Revolução Industrial e o crescimento da população urbana, a demanda por alimentos aumentou, exigindo que os diversos processos da produção agrícola também evoluíssem. Nessa época o método científico e as tecnologias avançadas foram aplicados à agricultura, e foram sendo criadas e implementadas máquinas para auxiliar nas diferentes etapas de adubação, plantio e colheita.

A agricultura brasileira era rudimentar em meados do século passado, por volta de 1950 e 1960. Prevalcia o trabalho braçal na produção agropecuária. Naquela época, menos de 2% das propriedades rurais contavam com máquinas agrícolas. Homens e mulheres do campo sofriam com escassez de tecnologia e de informação. O resultado era baixo rendimento por hectare e pouca produção. O crescimento da agricultura exigia que extensas áreas naturais fossem convertidas em lavouras e pastagens. Práticas inadequadas causaram severos impactos ambientais, como erosão e assoreamento. Mas as fazendas não produziam o suficiente para atender à demanda interna. A ineficiência no campo gerava problemas em todo o país. O Brasil vivia um momento de forte industrialização, com cidades em crescimento, aumento da população e maior poder aquisitivo. O contexto era de escassez de alimentos. (Embrapa, 2020a).

Nessa época ocorreu a revolução verde, que trouxe uma série de inovações tecnológicas no setor agropecuário. Essas inovações tinham como objetivo aumentar a produtividade através da modificação genética de sementes, de novas técnicas de fertilização dos solos, da utilização de produtos industrializados, tais como os agrotóxicos, e do intenso uso de máquinas, o que diminuiu, consideravelmente, o tempo gasto para a colheita. Criação cuidadosa de gado, rotação deliberada de culturas e melhores equipamentos, com a introdução do motor a combustão, ajudaram a aumentar a produção. A mecanização no campo tornou-se uma tendência no início do século XX. Mas foi somente após a Segunda Guerra Mundial que a tração manual foi totalmente substituída pela força mecânica nas lavouras da América do Norte e da Europa (Jacto, 2018). O uso de todas essas novas tecnologias culminou na implantação da agricultura 2.0.

Nessa fase o Brasil era um grande importador de alimentos. Foi a época de criação da Embrapa, em 1973, que tinha como uma de suas principais

atribuições garantir a segurança alimentar, investindo em pesquisas para consolidar diversas cadeias produtivas e tornar o Cerrado produtivo. A agricultura era predominantemente baseada em monocultura e a pesquisa tinha uma visão monodisciplinar e adaptativa. As respostas surgiram depois de anos de pesquisas realizadas pela Embrapa, por universidades, por instituições estaduais de pesquisa agropecuária e, mais tarde, pela iniciativa privada. Com técnicas de melhoramento genético, foram desenvolvidas plantas adequadas às condições de solo e clima do Brasil. Eram cultivares menos sensíveis aos dias longos e mais tolerantes às pragas do mundo tropical. Uma contribuição radical tem relação com correção e adubação de solos. As pesquisas apontaram os caminhos para otimizar o uso de corretivos e de fertilizantes, permitindo o plantio nos solos de Cerrados, até então considerados improdutivos. (Embrapa, 2020a).

Posteriormente, a intensificação agrícola fortaleceu-se e a monocultura cedeu lugar aos sistemas integrados e rotacionados de produção. São sistemas mais demandantes de conhecimentos envolvendo múltiplas disciplinas. As pesquisas tornaram-se sistêmicas, pois havia a necessidade de entendimento de toda a cadeia dos sistemas produtivos. (Pillon, 2017).

Plantio direto, zoneamento de riscos climáticos, manejo de pragas e de plantas daninhas, mecanização, sucessão de até três cultivos anuais na mesma área e integração da lavoura com a pecuária e a floresta são outras abordagens e tecnologias de grande impacto. São resultados diretamente relacionados com investimento em pesquisa, extensão rural, políticas públicas e empreendedorismo. (Embrapa, 2020a).

Desde então, as tecnologias evoluíram de um modo inimaginável para a época, com máquinas e implementos para aumentar a eficiência das atividades do campo, uma tendência que ficou conhecida como agricultura de precisão, inaugurando a agricultura 3.0. De acordo com a Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão, a agricultura de precisão é:

[...] uma estratégia de gestão que coleta, processa e analisa dados temporais, espaciais e individuais e os combina com outras informações para apoiar as decisões de gerenciamento de acordo com a variabilidade estimada para melhorar a eficiência no uso de recursos, produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agropecuária (Springer, 2020).

A agricultura de precisão, por meio de máquinas com sensores embutidos, uso de imagens de satélites, aeronaves remotamente pilotadas, como drones, e mesmo sensores implantados nos animais e na lavoura, possibilitou a coleta de inúmeros tipos de dados, como informações de solos, clima, características das plantas e dos animais, aplicação de insumos, colheita, produção, entre

outras. O grande volume de dados levantados por meio da agricultura de precisão constitui uma fonte de informação do campo. (Bernardi et al., 2014).

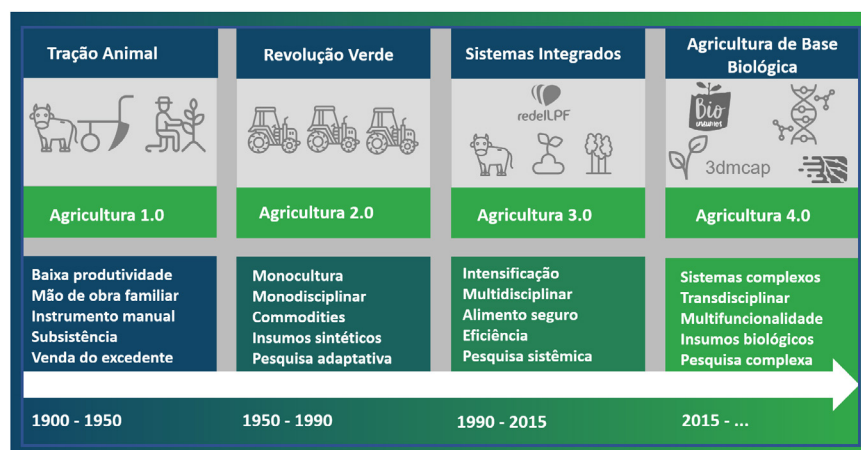
Atualmente, forças motrizes apontam para vertentes tecnológicas que consolidem: sistemas de produção limpos, com balanço positivo de carbono, baseados na sustentabilidade; agricultura de base biológica; avanços na biologia sintética; exigência de maior eficiência no uso da água pela agropecuária; atuação num novo ciclo de desenvolvimento de energia; rupturas tecnológicas; aumento da demanda por alimentos, fibras e bioenergia com uso mais eficiente dos recursos naturais e serviços ambientais. Os sistemas tornam-se complexos, envolvendo muitas variáveis. É a era da bioeconomia, que diz respeito à atividade econômica movida pela pesquisa e pela inovação em ciências biológicas (National. ..., 2012), envolvendo desde a produção de recursos biológicos renováveis até a conversão desses recursos e resíduos em produtos alimentares e não alimentares, valendo-se da integração de conhecimentos e tecnologias gerados em diferentes áreas do conhecimento (European Commission, 2012). Envolve três grandes elementos: uso avançado de genes e processos celulares complexos para desenvolver novos processos e produtos; uso de biomassa renovável e eficiente bioprocessamento para dar suporte à produção; integração de conhecimentos e aplicação de biotecnologia entre setores da economia (Organisation for Economic Co-Operation and Development, 2009).

Paralelamente a essas novas demandas da agricultura, surge a transformação digital, conforme abordado na seção de Introdução, trazendo as novas tecnologias disruptivas, que passaram a ser utilizadas provocando o surgimento da agricultura digital e levando a mais uma fase da revolução tecnológica, ou seja, a agricultura 4.0. A agricultura 4.0 é uma analogia à Indústria 4.0, como resultado da transformação digital do setor agrícola por meio da coleta massiva de dados para ajudar na tomada de decisão. A Figura 2 ilustra a evolução da agricultura e suas respectivas fases.

**Figura 2.**

Fases da evolução da agricultura.

Fonte: Adaptado de Pillon (2017).



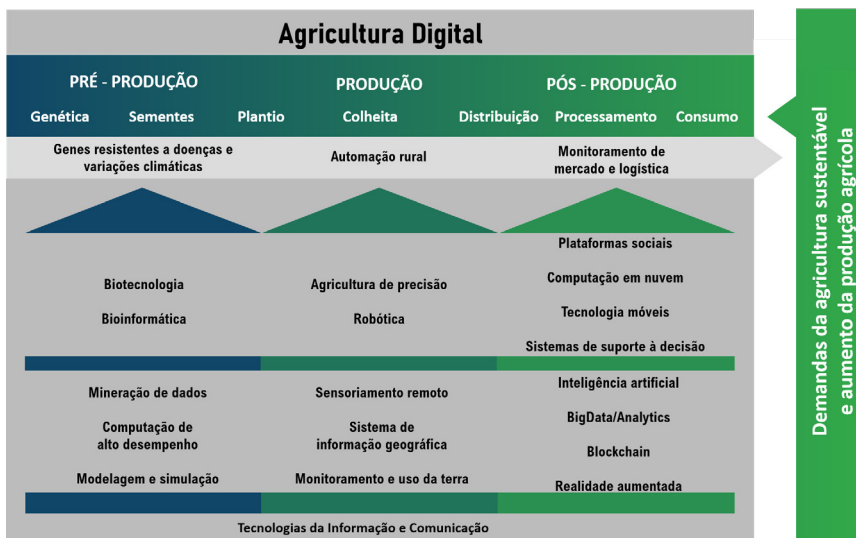


A transformação digital na era da bioeconomia vai aliar os avanços tecnológicos das tecnologias disruptivas com os avanços das áreas biotecnológicas, produzindo soluções para uma agricultura que envolve o estudo de sistemas complexos, em que se torna cada vez mais necessário fazer análises, monitoramento e predições, levando em consideração os aspectos social, biológico, ambiental e econômico do uso dessas novas tecnologias.

### 3 Agricultura digital: do agro 4.0 rumo à agricultura 5.0

A agricultura digital consiste na inserção de tecnologias digitais em todas as fases da cadeia de valor tendo em vista a promoção de vantagens competitivas e benefícios socioambientais. Ela se baseia em conteúdo digital, por meio do processamento do grande volume de dados que vem sendo produzido em todas as etapas da cadeia produtiva, desde a pré-produção até a fase de pós-produção, passando pela produção, conforme ilustra a Figura 3. Na pré-produção podemos citar os dados para melhoramento genético de plantas e animais. Na produção tem-se os dados que vêm sendo coletados na agricultura de precisão por drones, satélites, sensores colocados em plantas, animais, solo, atmosfera, máquinas, equipamentos e veículos conectados remotamente entre si e com central de coleta de dados. Por fim, na pós-produção os dados são provenientes de análises de mercado e das etapas de armazenamento, distribuição, logística, rastreabilidade e consumo, entre outros.

Na fase de pré-produção, o uso das tecnologias de mineração de dados, computação de alto desempenho e modelagem e simulação, junto com a



**Figura 3.** A agricultura digital na cadeia produtiva nas fases de pré-produção, produção e pós-produção.

biotecnologia e a bioinformática, proporcionará a descoberta de genes que controlam características complexas e suas funções. Em conjunto com estudos de interações gênicas, essas tecnologias promoverão avanços para impactar diversas áreas da produção animal e vegetal, como o manejo, a nutrição, a resistência a doenças e ao estresse hídrico, a sanidade e o melhoramento genético, resultando em produtos mais sustentáveis, com melhor qualidade nutricional e segurança. Integrar os dados heterogêneos e o grande volume de informações geradas pelas ciências “ômicas” é um grande desafio na área de genômica integrativa. Ao lidar com dados armazenados em diferentes locais e formatos, e combinando isso com a utilização de estratégias de aprendizagem de máquina, matemática, algoritmos computacionais e supercomputadores, será possível explorar de maneira inovadora os dados gerados pelas diferentes ciências ômicas (Boyle, 2013; May, 2014). Essa inovação acontece na forma de predição de funções biológicas e na compreensão de mecanismos biológicos, tais como aqueles responsáveis por doenças e pela definição de características de interesse agrônomo e de produtividade.

Nesse sentido, a bioinformática surgiu a partir da necessidade de organizar, gerenciar, visualizar e trocar dados biológicos de sequências. Com a disponibilização dessa informação, a bioinformática evoluiu para a criação de ferramentas de análise, interpretação e modelagem de sequências, estruturas, genomas, redes metabólicas, criando uma rede cada vez mais complexa de informações. Por meio da bioinformática, hoje é possível realizar análises em diferentes níveis de complexidade, a partir de conjuntos de dados que permitem revelar os aspectos da organização complexa dos sistemas biológicos mediante estudos em genômica, transcriptômica, proteômica, metabolômica, além da análise fenotípica em larga escala dos mais variados organismos (Varshney et al., 2014).

Já a biotecnologia traz inovações como a biologia sintética, que possibilita o desenho de um organismo, permitindo a criação de máquinas genéticas com novas propriedades e funcionamento, por exemplo a geração de plantas como matérias-primas de biomassa para biocombustíveis e as biofábricas para a produção de insumos para setor industrial e farmacêutico. Uma outra tecnologia é a edição genômica, que permite realizar modificações genéticas precisas e específicas nas cadeias de DNA ou gerar rearranjos genômicos para melhorar características como resistência às doenças e tolerância à seca (Vasconcelos; Figueiredo, 2015).

Outras áreas relacionadas com a fase de pré-produção que irão se beneficiar das tecnologias da agricultura digital são: desenvolvimento e produção de métodos, equipamentos e insumos para análise laboratorial; insumos químicos e biológicos para manejo da saúde e nutrição de plantas e animais; sementes e mudas, além de serviços financeiros.

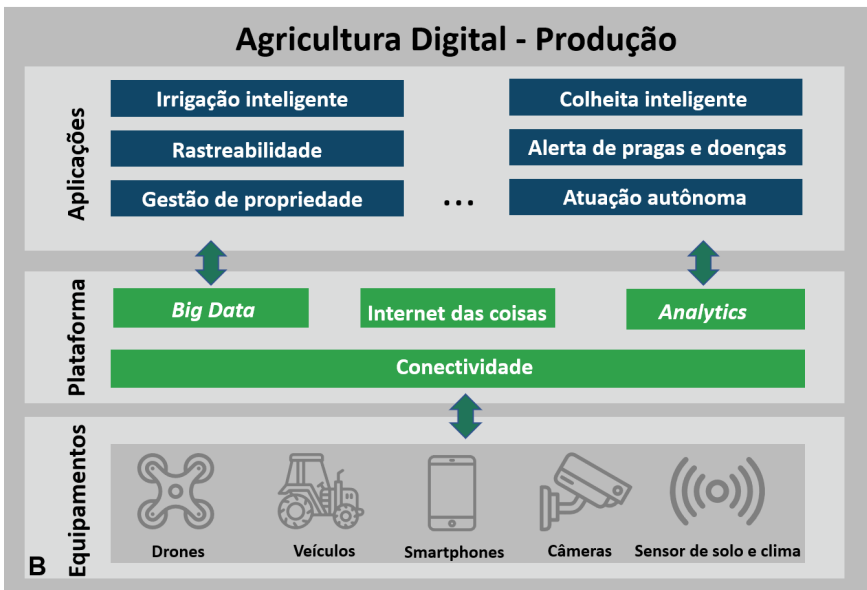
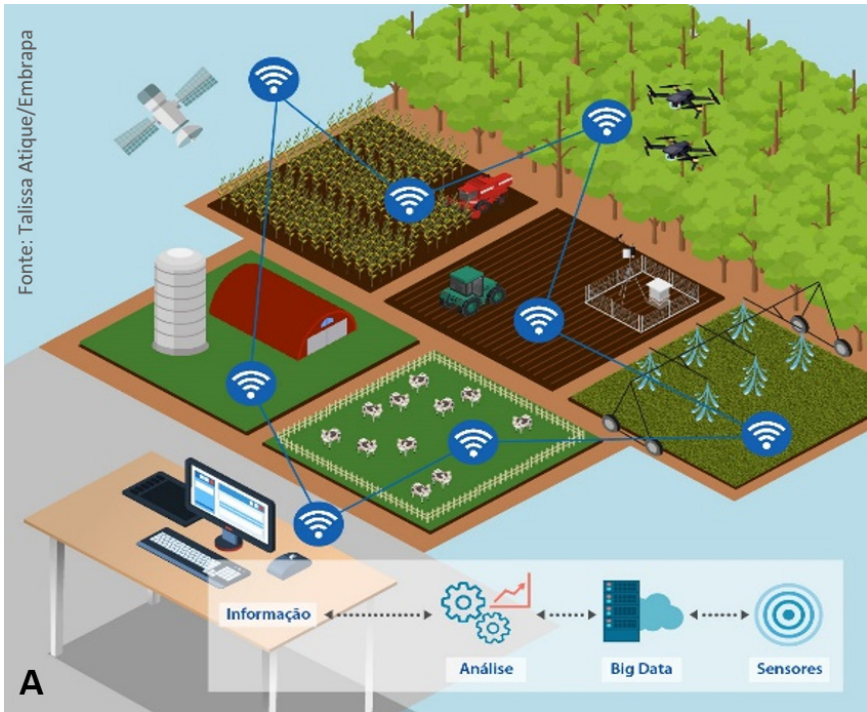
Na fase da produção, a agricultura de precisão e a robótica, amparadas por tecnologias como sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica e monitoramento do uso da terra, permitem o uso de sensores sem fio, localizados no solo, na planta, na atmosfera ou em máquinas e equipamentos, que em conjunto com softwares de análise de dados possibilitam um mapeamento do campo mais preciso. Esse mapeamento propicia o plantio inteligente de sementes e a aplicação otimizada de insumos químicos ou biológicos para o manejo nutricional e sanitário da cultura. Sensores que medem a umidade no solo levam à indicação da necessidade de irrigação; imagens de plantas capturadas por câmeras, drones e satélites podem auxiliar na detecção de pragas, levando à aplicação de defensivos específicos e em quantidade adequada; dispositivos podem capturar informações sobre a colheita e mapear a produtividade de cada parte do terreno; sensores embarcados em máquinas agrícolas podem indicar a necessidade da sua manutenção; equipamentos instalados em silos podem indicar as condições de estocagem, evitando perdas no armazenamento; sensores inseridos em animais podem auxiliar no monitoramento de sua saúde, bem-estar e estresse e na previsão de datas de parto, visando o manejo e a melhoria do desempenho.

No contexto da agricultura digital, na fase de produção estão emergindo as fazendas digitais ou fazendas inteligentes (*smart farms*) (Pivoto et al., 2018). Nessas fazendas, o estabelecimento agropecuário será massivamente conectado, monitorado e automatizado em uma infraestrutura totalmente integrada, conforme ilustrado na Figura 4. Por meio da agricultura de precisão, sensores dispersos por toda a propriedade e interligados à internet (internet das coisas) gerarão dados em grande volume (*Big Data*) que necessitarão ser filtrados, armazenados (computação em nuvem) e analisados. A força de trabalho humana não será capaz de gerenciar essa quantidade de dados e necessitará do auxílio de algoritmos mais aprimorados por técnicas de inteligência computacional (*Analytics*). Após a análise, o ciclo é fechado por meio de comandos remotos aos tratores e implementos agrícolas que, munidos de sistema de posicionamento global (GPS), farão intervenções pontuais apenas onde necessário para otimizar custo, produção e impacto ao meio ambiente. A sociedade, por meio das redes sociais, poderá obter informações detalhadas do processo produtivo, dos impactos e das propriedades nutricionais em seus dispositivos móveis. Nas fazendas inteligentes, o conceito atual de agricultura de precisão é aprimorado pelo reconhecimento de contexto, situação e localização, serviços de TIC ricos em dados, integração de dados, comunicação de dados, padronização, processamento de sinais e tecnologias de automação, além de planejamento e controle de automação de alto nível (Sorensen, 2020).

Na fase de pós-produção, as novas tecnologias proporcionarão a comunicação altamente integrada e a automação das mais variadas atividades nos

**Figura 4.**

A agricultura digital na fase de produção: A fazenda inteligente conectada (A); Equipamentos, plataforma tecnológica e aplicações na fase da produção (B).



setores agroalimentar e agroindustrial: sistemas de predição preverão as safras agrícolas e os riscos envolvidos; sistemas avançados de monitoramento e controle informarão aos consumidores sobre segurança e sustentabilidade dos alimentos; sistemas de rastreabilidade propiciarão o acompanhamento

do escoamento da produção desde a fazenda até os centros de distribuição, evitando perdas; informações de mercado e variações econômicas serão processadas e orientarão os processos de comercialização; o armazenamento, a infraestrutura e a logística se tornarão mais eficientes, além dos *marketplaces*, que permitirão conexão virtual entre vários atores das cadeias produtivas oferecendo soluções de negociação e vendas. Algumas áreas adicionais que serão impactadas são os setores de embalagens, meio ambiente e reciclagem, restaurantes on-line e consultoria.

No contexto da agricultura digital, a etapa de coleta e gerenciamento dos dados, por meio das tecnologias de agricultura de precisão, da internet das coisas e da telemática, com o consequente armazenamento em nuvem, está sendo expressa como agricultura 4.0. Uma vez que os dados estejam armazenados em nuvem, é necessária grande capacidade de análise, utilizando ferramentas de inteligência artificial para processar seu grande volume e extrair conhecimento relevante que não só ajude a tomada de decisão na gestão da propriedade e da produção como conduza a atuação das máquinas autônomas no campo (Saiz-Rubio; Rovira-Más, 2020).

A habilidade de utilizar as tecnologias digitais para converter os dados precisos em conhecimento para apoiar e impulsionar a complexa tomada de decisões na fazenda e ao longo da cadeia de valor permitirá a mudança da agricultura de precisão para a agricultura de decisão (Shepherd et al., 2018). O uso de inteligência artificial e de robôs agrícolas autônomos para atuar na agricultura leva a uma nova fase, que é a agricultura 5.0 (European Agricultural Machinery Association, 2017). Como os robôs operam a partir do solo, a distância entre os sensores e o alvo diminui para menos de 2 metros, aumentando a precisão dos dados capturados e permitindo, por exemplo, registrar intensidade de luz, grau de umidade do solo, da planta e da atmosfera e de severidade de doenças, o que vai possibilitar uma atuação mais específica para a necessidade de cada planta ou animal (Saiz-Rubio; Rovira-Más, 2020).

Além de abranger as inovações tecnológicas, a agricultura 5.0 precisa englobar, também, características como possibilitar a produção de mais alimentos em menos área e com menos insumos; fomentar políticas públicas e estratégias para abordar os aspectos sociais e políticos dos sistemas agrícolas; contribuir para reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita e o desperdício global de alimentos per capita no varejo e no consumo, além de promover o entendimento das necessidades do consumidor e suas dietas, procurando mitigar o impacto no uso dos recursos naturais e no ambiente (Fraser; Campbell, 2019).

O Brasil já está em sintonia com a transformação digital na agricultura, em especial pela incorporação de processos de automação. Práticas e processos de precisão, amplo uso de sensores e mecanismos sofisticados de previsão e resposta a variações de clima, por exemplo, estão entre as melhorias

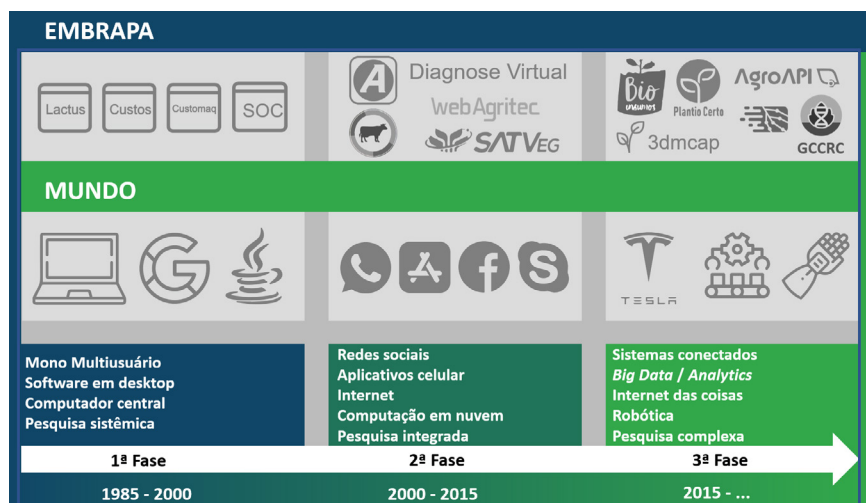
incorporadas, proporcionando abertura de espaços para o Brasil no mercado global, em segmentos estratégicos da agricultura e da bioeconomia. Cresce nas áreas mais avançadas de produção do país o uso de máquinas inteligentes guiadas por GPS para plantio, tratos culturais e colheita de precisão, com economia de insumos, ganhos de produtividade e sustentabilidade.

## 4 Iniciativas para a agricultura digital

Ao longo de sua história a Embrapa, por meio da Embrapa Informática Agropecuária, vem acompanhando a evolução das TIC no desenvolvimento de suas aplicações, de acordo com a Figura 5. Numa primeira etapa, os sistemas desenvolvidos eram monousuários e os softwares criados funcionavam nos computadores *desktop* de forma independente. Foi a época do início da internet comercial, quando os principais centros de pesquisas e universidades começaram a se conectar. Nessa fase tinha-se a pesquisa voltada a adequar modelos e soluções já existentes às necessidades da agricultura brasileira. Na segunda fase surgiu a internet móvel, permitindo o uso de aplicativos agrícolas diretamente no celular, onde os dados são armazenados em nuvens e as redes sociais ganham dimensão global. Aqui a pesquisa ganhou dimensão integrada, uma vez que a multidisciplinaridade é empregada na busca de soluções agregadas. Na terceira fase, tem-se a transformação digital, em que a atividade agrícola se torna altamente automatizada por meio da evolução constante dos sistemas de agricultura e pecuária de precisão, que agora são conectados com todos os elos da cadeia produtiva. Na área de PD&I serão geradas demandas significativas de novas tecnologias na agricultura brasileira. Algumas das inovações mais recentes nas TIC prometem alavancar as

**Figura 5.**

A evolução das Tecnologias de Informação e Comunicação e a atuação da Embrapa.





pesquisas na agricultura. As TIC já constituem o terceiro pilar da investigação científica, juntamente com a teoria e a experimentação, permitindo simular modelos de fenômenos complexos que não poderiam ser replicados em laboratório. Os dispositivos móveis, a computação em nuvem, o *Big Data*, a análise preditiva, a computação vestível, a computação cognitiva, os sistemas de software inteligentes, a internet das coisas, a robótica avançada, a nanotecnologia, a biotecnologia, a integração das ciências ômicas e a *next generation genomics* constituem as tecnologias disruptivas que estão transformando o modo de vida e de trabalho, por meio de uma nova infraestrutura na qual os mundos físico e digital estão totalmente interconectados.

Nesse cenário, visando promover o desenvolvimento sustentável e competitivo da economia brasileira, foi instituído o Plano Nacional de Internet das Coisas (IoT), pelo decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019. Trata-se de uma iniciativa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), do Ministério da Economia e do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em conjunto com a sociedade civil – empresas, academia, agências de fomento e outros órgãos –, para garantir que o Brasil se beneficie da tecnologia de IoT. No plano foram definidas quatro áreas prioritárias: indústria, saúde, cidades inteligentes e agricultura.

O potencial de impacto e relevância do IoT para o país pode ser evidenciado em suas propostas, como apoiar projetos-piloto nesses ambientes prioritizados. Na área rural, destaque para as iniciativas como a “Fazenda Tropical 4.0”, que aumentam a produtividade e a qualidade da produção rural brasileira com o uso de dados que, por exemplo, ajudam a monitorar com precisão os ativos biológicos (Produto 7C, 2017).

No âmbito do Plano Nacional de Internet das Coisas, foi criada a Câmara do Agro 4.0 como um acordo de cooperação técnica entre o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). A ideia é ter um órgão de debates com participação de governo, empresas e academia para construir uma estratégia para as fazendas conectadas, que utilizam soluções como automação, interatividade, monitoramento em tempo real, *Big Data*, entre outras. Uma de suas ações é promover a conectividade no campo com expansão da Internet no ambiente rural. A Câmara do Agro 4.0 tem a coordenação do MCTI e do Mapa e a participação de atores da iniciativa privada, da academia e de institutos de pesquisa para debater e apresentar soluções nos eixos: i) Desenvolvimento, Tecnologia e Inovação; ii) Desenvolvimento Profissional; iii) Cadeias Produtivas e Desenvolvimento de Fornecedores; e iv) Conectividade no Campo.

Para possibilitar a implantação de ações do Plano Nacional de Internet das Coisas, várias atividades de fomento foram criadas. Em 2018 foi lançado o Edital BNDES Pilotos IoT - Internet das Coisas para financiar propostas de projetos para implantação de pilotos focados no desenvolvimento de soluções



integradas de IoT por meio de testes em ambientes reais e controlados, cujos impactos possam ser avaliados, de modo a permitir sua massificação, viabilidade comercial e interoperabilidade.

Uma outra iniciativa para promoção da transformação digital no país são os Centros de Pesquisa Aplicada (CPAs) em Inteligência Artificial (IA) que serão criados por meio de uma cooperação entre o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e o Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI). Os CPAs se dedicarão ao desenvolvimento de pesquisas científicas, tecnológicas e de inovação, aplicadas e orientadas à resolução de problemas por meio de Inteligência Artificial. Os quatro primeiros centros, dois em São Paulo e dois em outros estados, terão por áreas focais Saúde, Agricultura, Indústria e Cidades Inteligentes. Os centros serão apoiados por cinco anos, renováveis por mais cinco, dependendo dos resultados alcançados (Arantes, 2019).

Nessa mesma linha, a Softex, responsável pelo Programa Prioritário Softex da Secretaria de Empreendedorismo e Inovação do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, lançou o Edital Softex nº 01/2020 – Edital de Qualificação de Instituições de Apoio ao Processo de Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação e Aceleração de Projetos IA<sup>2</sup>MCTIC. O objetivo do Edital foi selecionar e qualificar duplas de Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) e aceleradoras para atuação conjunta no Programa IA<sup>2</sup>MCTIC. O consórcio formado pela Baita Aceleradora, o Instituto Eldorado e a Embrapa Informática Agropecuária foi um dos credenciados nessa iniciativa.

A Embrapa cuja missão é viabilizar soluções de pesquisa, desenvolvimento e inovação para a competitividade e a sustentabilidade da agricultura, em benefício da sociedade brasileira, tem se posicionado como uma protagonista da modernização tecnológica da agricultura. Já no final da década de 90, criou a Rede de Agricultura de Precisão (Rede AP) da Embrapa para orientação quanto ao melhor e mais adequado uso da AP e para pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias. Atualmente, envolve 20 Centros de Pesquisa da Empresa e mais de 50 parceiros, como empresas, instituições de pesquisa, universidades e produtores rurais. A Rede AP conta com o Laboratório de Referência Nacional em Agricultura de Precisão (Lanapre), instalado na Embrapa Instrumentação, em São Carlos (SP). O espaço é utilizado para pesquisar e desenvolver equipamentos, sensores, componentes mecânicos e eletrônica embarcada, em um único local (Embrapa, 2020b).

Preocupada em acompanhar as tendências globais e nacionais da nova economia e da ordem mundial e como essas transformações impactam a agricultura, a Embrapa, por meio do seu Sistema de Inteligência Estratégica (Agropensa), elaborou o documento Visão 2030: o Futuro da Agricultura Brasileira (Embrapa, 2018). Nesse processo, a empresa e sua rede de

parceiros prospectaram e analisaram os desafios e os sinais dos novos rumos. As análises realizadas deram origem a um grupo de sete megatendências: Mudanças Socioeconômicas e Espaciais na Agricultura; Intensificação e Sustentabilidade dos Sistemas de Produção Agrícolas; Mudança do Clima; Riscos na Agricultura; Agregação de Valor nas Cadeias Produtivas Agrícolas; Protagonismo dos Consumidores; e Convergência Tecnológica e de Conhecimentos na Agricultura. Essas megatendências integradas apontam desafios para a agricultura do país.

Amparada pelas demandas, oportunidades e megatendências levantadas no Agropensa, em 2018, a Embrapa criou seus portfólios de projetos que estabelecem desafios para direcionar seu foco de pesquisa. Atualmente são 33 portfólios, somando um total de 330 desafios de inovação voltados para várias áreas de agricultura, pecuária, commodities e produção de alimentos, além de automação, agricultura de precisão e digital, mudanças climáticas, biotecnologia, nanotecnologia e inteligência, gestão e monitoramento territorial. Em particular, o Portfólio de Automação, Agricultura de Precisão e Digital tem como objetivo planejar, promover e acompanhar os processos de desenvolvimento, adaptação e disseminação dos conhecimentos e das tecnologias em automação, agricultura de precisão e agricultura digital para o aumento de produtividade e sustentabilidade dos sistemas produtivos. Visa ainda apoiar a geração de ativos que agreguem valor aos produtos e processos agropecuários. Por meio desse portfólio a empresa busca promover pesquisas que contribuirão para a transformação digital da agricultura brasileira.

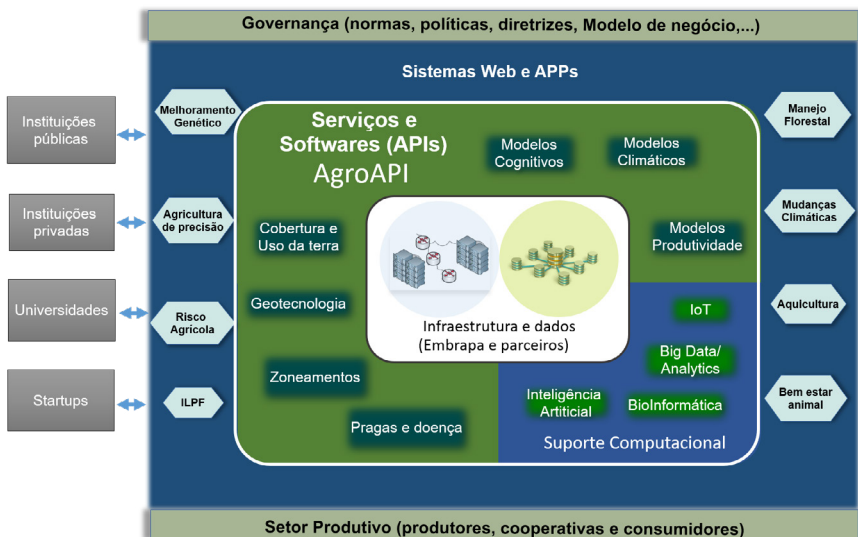
Ainda dentro do cenário da transformação digital na agricultura, não se pode deixar de mencionar o movimento de startups agrícolas, as AgTechs, que são empresas inovadoras associadas à tecnologia que visam construir aplicações para a agricultura. As AgTechs têm um importante papel na implantação da agricultura digital no Brasil. De acordo com o 2º Censo AgTech - Startups Brasil, realizado pela AgTechGarage, os maiores investimentos realizados pelas AgTechs estão no desenvolvimento de soluções para as culturas de soja (46%), milho (41%), pecuária de corte (30%), cana-de-açúcar (35%), café, (25%) pecuária de leite (20%), citricultura (18%), culturas florestais (15%), piscicultura (11%), suinocultura (10%) e avicultura (10%). Além dessas, também há soluções para horticultura, fruticultura, algodão, agricultura orgânica e agroecológicos e produção de equinos (Agtechgarage, 2020). No estudo do Radar AgTech Brasil 2019: Mapeamento das Startups do Setor Agro Brasileiro, realizado em parceria pela SP Ventures, Homo Ludens e Embrapa, dentro do Programa Pontes para Inovação, foi levantado que atualmente existe um total de 1125 startups na área da agricultura no Brasil, sendo que 196 atuam na fase de pré-produção, 397 atuam na fase de produção e 532 atuam na fase de pós-produção (Dias et al., 2019). Esse número só tende a crescer, dada a importância do agronegócio para a balança comercial brasileira e a

necessidade de modernização e uso das novas tecnologias digitais para que o setor mantenha sua pujança na economia do país e na oferta de alimentos para o mundo.

## 5 Como incorporar as megatendências na agricultura: ecossistema de inovação da agricultura digital

A redução de risco e vulnerabilidade da agricultura e do negócio agrícola, assim como o aumento de sua resiliência e adaptação às novas condições impostas pelas mudanças climáticas, são totalmente dependentes de uma estrutura de organização e processamento de dados e informações, baseada em poderosas plataformas computacionais, que gera o conhecimento para o manejo no campo e a tomada de decisão pública e privada. O Ecossistema de Inovação da Agricultura Digital e as instituições de pesquisa conectados por ele terão poderosa ferramenta para embasar as tomadas de decisão e propor políticas públicas que envolvam todos os agentes da cadeia produtiva, inclusive o consumidor final, sendo fundamental para que os governos Federal, Estadual e Municipal possam atender as demandas não só do campo, mas também do consumo em todo o país. Esse ambiente colaborativo, ilustrado na Figura 6, também terá como missão viabilizar soluções para programas de pesquisa relacionados à bioeconomia, à biotecnologia e à climatologia, facilitando a transformação dos resultados dessas pesquisas em produtos e tecnologias para o setor agropecuário. Este, por sua vez, pode gerar novas

**Figura 6.**  
Ecossistema de  
Inovação da  
Agricultura Digital.



demandas, retroalimentando o processo de pesquisa, desenvolvimento e inovação do Ecossistema.

A Embrapa propõe e participa neste novo Ecossistema de Inovação da Agricultura Digital, que é centrado na contribuição das novas tecnologias disruptivas para a agregação de valor à produção, o aumento da rentabilidade do agricultor e a segurança alimentar. Essa realidade impõe novos desafios às entidades ligadas ao setor, como a Embrapa, que devem atuar cada vez mais em cooperação, compartilhando expertise e conhecimentos para o desenvolvimento de novas soluções, tecnologias e negócios. Como empresa pública de pesquisa, a Embrapa reúne condição de exercer um papel de facilitadora nesse ambiente de inovação aberta, fazendo a ponte entre seus diversos atores, que incluem produtores rurais, setor público, instituições de pesquisa, startups e empresas da área de TIC e do setor agrícola. Nesse Ecossistema, a Embrapa se dispõe a oferecer serviços e conhecimentos que podem ser compartilhados por todo o agronegócio visando à transformação digital no campo.

No contexto da agricultura digital, no qual existe uma enorme geração de dados e informações, a Embrapa se propõe a implantar uma infraestrutura computacional de altíssimo desempenho (*Data Center*) que apoiará a melhoria na geração de conhecimentos relevantes para a política agrícola nacional e a gestão integrada do risco público e privado do agronegócio para o desenvolvimento sustentável da agricultura do Brasil. O novo *Data Center* terá alta capacidade para armazenar, organizar e processar dados para gerar informação e conhecimento que atenda às demandas da agricultura 4.0. Também permitirá a oferta de três tipos de serviços: infraestrutura, plataforma e software.

No serviço de infraestrutura, os parceiros da Embrapa poderão utilizar os serviços de gestão de grandes volumes de dados, incluindo armazenamento, processamento de alto desempenho, capacidade de memória e serviços de backup dos dados gerados em suas pesquisas, de forma segura.

No serviço de software, será possível ter acesso a várias aplicações desenvolvidas pela Embrapa, como o Agritempo - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo, 2020), o Webagritec - Sistema de Planejamento e Monitoramento Agrícola (Massruhá et al., 2008), o Satveg - Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg, 2020), entre outros. Também serão disponibilizados aplicativos que poderão ser desenvolvidos tanto pela Embrapa como por seus parceiros. No que se refere à Embrapa, vários aplicativos relativos à disponibilização de informações de bioinsumos, gestão de fazendas leiteiras, medição de emissão de gases de efeito estufa, custo da produção, indicação de melhores épocas de plantio de culturas, disponibilização de informações agrometeorológicas de municípios e estados brasileiros, gestão da produção de gado, entre outros, encontram-se

disponíveis na loja de aplicativos da Embrapa, tanto no Google Play quanto no App Store da Apple.

No serviço plataforma, a Embrapa já está disponibilizando uma ferramenta pioneira no Brasil para atender ao mercado de tecnologias em agricultura digital denominada plataforma AgroAPI (Vaz et al., 2017; Agroapi, 2020). A AgroAPI permite ofertar informações e modelos que poderão ser utilizados por empresas e startups para a criação de softwares, sistemas web e aplicativos móveis para o setor agropecuário, com redução de custo e de tempo. A tecnologia também permite a interface com dispositivos móveis e equipamentos embarcados que possam surgir com o crescimento da internet das coisas, sendo fundamental para a transformação digital no campo. Por meio da plataforma AgroAPI será possível criar uma rede de oferta e demanda de serviços compartilhados que irá beneficiar redes de pesquisa e instituições do Brasil como universidades, startups, instituições públicas e privadas, uma vez que os dados estarão armazenados de forma segura, podendo ser compartilhados em função do interesse de cada instituição. Todas essas instituições podem tanto consumir os dados e sistemas armazenados como disponibilizar dados e sistemas por elas produzidos. Nessa iniciativa, os campos experimentais das Unidades da Embrapa atuarão como *testbeds* para realizar experimentos com as tecnologias disruptivas no campo, em parcerias com o setor público ou privado, funcionando como vitrines de demonstração da implantação da agricultura digital.

Produtores, cooperativas, agricultores e empresas de tecnologia e de transformação se beneficiarão de toda essa infraestrutura, uma vez que terão acesso a uma vasta informação agregada, analisada e disponibilizada que auxiliará sua tomada de decisão.

Ao desenvolver um trabalho colaborativo, dentro do Ecossistema de Inovação da Agricultura Digital, a Embrapa atuará em conjunto com o Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS) da Unicamp (Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável, 2020), focando em agricultura digital para o desenvolvimento e o compartilhamento de serviços para os usuários do setor produtivo agrícola do estado de São Paulo, contando com o apoio da prefeitura de Campinas e do Governo do Estado. A visão do HIDS é contribuir para o processo do desenvolvimento sustentável, agregando esforços nacionais e internacionais para produzir conhecimento, tecnologias inovadoras e educação das futuras gerações, mitigando e superando as fragilidades sociais, econômicas e ambientais da sociedade contemporânea.

Nesse Ecossistema, as Unidades da Embrapa atuam no desenvolvimento e na inovação voltados para a agricultura (atividades agrícolas, pecuárias, florestais e agroindustriais) e o meio ambiente, conciliando as demandas dos sistemas produtivos com as necessidades de conservação de recursos naturais

e preservação ambiental. Suas pesquisas geram grande impacto em políticas públicas como o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), o Plano Agricultura Baixo Carbono (Plano ABC), a Rede Nacional de Pesquisa e Monitoramento Ambiental da Aquicultura em Águas da União (Rede) e os Inventários Nacionais de Emissões da Agropecuária e de Resíduos. Além destes, atua também na elaboração de inventários de Ciclo de Vida, que dão suporte a avaliações de desempenho ambiental nas diferentes cadeias produtivas de importância para o Brasil, como a sucroenergética, em decorrência da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). Além disso, a Embrapa poderá disponibilizar infraestrutura compartilhada de importantes laboratórios multiusuários, como o Laboratório Multiusuário de Bioinformática (LMB), o Laboratório Nacional de Referência em Agricultura de Precisão (Lanapre), o Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio (LNNA), o Laboratório Multiusuário de Espectrorradiometria, o Laboratório Multiusuário de Química de Produtos Naturais (LMQPN), o Laboratório Multiusuário de Biossegurança para a Pecuária (Biopec), o Laboratório Multiusuário de Biologia Molecular (LMBM), o Laboratório de Análise em Sistema Sustentável (LASS) e o Complexo Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária (CMB), composto por quatro laboratórios: Metabolismo e Impactos Ambientais da Pecuária, Biotecnologia e Ambiência, Pecuária de Precisão e Saúde Animal.

Uma outra contribuição da Embrapa é a disponibilização de estrutura de campos experimentais que possibilitem a transformação digital no campo, por meio da colheita remota de dados, assim como o gerenciamento e a tomada de decisão, viabilizados pela interação de animais eletronicamente identificados, equipamentos, atuadores e sensores. Essa estrutura de experimentação permitirá a geração de dados de pesquisa, por exemplo, em: 1) sistemas integrados (ILPE, ILP, IPF); 2) produção leiteira, qualidade do leite e composição do leite; 3) dados zootécnicos; 4) comportamento animal; 5) parâmetros fisiológicos; 6) consumo animal; 7) emissão de gases de efeito estufa; e 8) dados edafoclimáticos. Outros entregáveis esperados são o desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis para acompanhamento, gerenciamento e tomada de decisão em tempo real e o desenvolvimento de plataformas digitais para compartilhamento de informações e acesso à Infraestrutura de Dados Espaciais da Embrapa (Geoinfo) (Geoinfo, 2020), onde poderão ser acessados dados espaciais de Mapeamentos de Solos, Zoneamentos de Aptidão Agrícola, Zoneamentos Ecológico-Econômicos, Mapeamento e Monitoramento do Uso e Cobertura da Terra, Monitoramento do Uso e Ocupação do Solo, Dados de Relevância e Dados Climáticos.

Todo esse Ecossistema terá uma governança regida por normas, políticas e modelos de negócios acordados entre os parceiros e em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo governo federal.

## 6 Considerações finais

Sendo o Brasil um dos maiores produtores e exportadores agrícolas mundiais, para que o país possa garantir, ou mesmo ampliar, sua capacidade de produção com sustentabilidade, ao mesmo tempo que atende à demanda global por segurança alimentar e nutricional como um grande exportador de commodities agrícolas, tornam-se necessárias a modernização, a tecnificação e a inovação em toda a cadeia de produção agrícola, convergindo para a agricultura digital como resultado da transformação digital do setor.

Este trabalho apresentou uma visão geral da evolução das TIC na agricultura e de como a transformação digital impulsiona a quarta revolução industrial, provocando o surgimento da Indústria 4.0 e inspirando a implantação das novas tecnologias na agricultura digital e o consequente despontar da agricultura 4.0 rumo à agricultura 5.0.

Apesar do crescente interesse e do esforço na implantação da agricultura digital, existem desafios a serem superados, como a dificuldade na coordenação de ações implicando as diversas instituições envolvidas e os modelos de negócios a serem praticados; a falta de recursos humanos capacitados na quantidade necessária; a necessidade de garantia da segurança da informação; a definição da propriedade de dados e informações gerados, assim como questões de integração de dados em diferentes formatos e provenientes de diversas fontes.

Nesse escopo vislumbram-se algumas estratégias para o atingimento pleno da agricultura digital como: atuar na definição dos direitos e da propriedade dos dados; incentivar o uso de protocolos de padrões abertos para interoperabilidade dos dados e para comunicação entre os equipamentos; melhorar a conectividade e a cobertura de banda larga para celulares e internet no meio rural; incentivar a geração de pesquisa e conhecimento para embasar aplicações inteligentes para a agricultura, além de estabelecer alianças entre setor público e privado para definição de estratégias e políticas para a implantação da agricultura digital de forma colaborativa.

Os desafios apresentados pela transformação de dados agrícolas, notadamente em relação ao aumento da digitalização, da colaboração digital e do desenvolvimento sustentável, relacionados com a agricultura, credenciam a Embrapa como uma das instituições propulsoras na implantação da agricultura digital no país. Uma das iniciativas concretas para abordar esses desafios é a criação do Ecossistema de Inovação da Agricultura Digital, no qual a Embrapa se coloca como facilitadora entre as empresas interessadas no sentido de promover o trabalho colaborativo e a integração dos diversos segmentos e setores envolvidos.



## 7 Referências

ACCENTURE. Disponível em: <https://www.accenture.com/br-pt>. Acesso em: 18 jun. 2020.

ACCELERADORA. Disponível em: <http://aceleradora.net/>. Acesso em: 18 jun. 2020.

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2019/20: nono levantamento, v. 7, n. 9, p. 1-31, jun. 2020. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/32042\\_910765cf5dc2d088c377e32cdef6fc72](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/32042_910765cf5dc2d088c377e32cdef6fc72). Acesso em: 26 jun. 2020.

AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/agritempo/>. Acesso em: 29 maio 2020.

AGROAPI. **A Plataforma de APIs da Embrapa**. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/index.html>. Acesso em: 29 maio 2020.

AGTECHGARAGE. **2º Censo AgTech Startups Brasil**. Disponível em: <https://www.agtechgarage.com/censo/>. Acesso em: 2 jun. 2020.

ARANTES, J. T. FAPESP criará oito centros de pesquisa em inteligência artificial com o governo federal. **Agência FAPESP**, 16 dez. 2019. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/fapesp-criara-oito-centros-de-pesquisa-em-inteligencia-artificial-com-o-governo-federal/32196/>. Acesso em: 29 maio 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE STARTUPS. **Tudo que você precisa saber sobre startups**. 2019. Disponível em: <https://abstartups.com.br/o-que-e-uma-startup/>. Acesso em: 1 jun. 2020.

BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p.

PRODUTO 7C: aprofundamento de verticais – rural. Brasília, DF: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social: Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão; Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, dez. 2017. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/2fa8f7d1-9939-441d-b8ce-ed3459fcfd4d/relatorio-aprofundamento-das-verticais-rural-produto-7C.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m3rPopG>. Acesso em: 2 jun. 2020.

BOYLE, J. Biology must develop its own big-data systems. **Nature**, v. 499, n. 7456, p. 7, 2013. DOI: [10.1038/499007a](https://doi.org/10.1038/499007a).

EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY ASSOCIATION. **Digital Farming: what does it really mean? And what is the vision of Europe’s farm machinery industry for Digital Farming?** 13 Feb 2017. Disponível em: [https://www.cema-agri.org/images/publications/position-papers/CEMA\\_Digital\\_Farming\\_-\\_Agriculture\\_4.0\\_\\_13\\_02\\_2017\\_0.pdf](https://www.cema-agri.org/images/publications/position-papers/CEMA_Digital_Farming_-_Agriculture_4.0__13_02_2017_0.pdf). Acesso em: 20 maio 2020.

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. **TIC domicílios 2019: principais resultados**. 2019. 31 p. Disponível em: [https://cetic.br/media/analises/tic\\_domicilios\\_2019\\_coletiva\\_imprensa.pdf](https://cetic.br/media/analises/tic_domicilios_2019_coletiva_imprensa.pdf). Acesso em: 2 jun. 2020.

DIAS, C. N.; JARDIM, F.; SAKUDA, L. O. (org.). **Radar AgTech Brasil 2019: mapeamento das startups do setor agro brasileiro**. Brasília, DF: Embrapa; São Paulo: VP Ventures: Homo Ludens, 2019. Disponível em: [www.radaragtech.com.br](http://www.radaragtech.com.br). Acesso em: 2 jun. 2020.

EMBRAPA. **Trajatória da agricultura brasileira**. 2020a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajectoria-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 29 maio 2020.

EMBRAPA. **Automação e agricultura de precisão**. 2020b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-mecanizacao-e-agricultura-de-precisao/nota-tecnica>. Acesso em: 29 maio 2020.

EMBRAPA. Secretaria Geral. Gerência de Comunicação e Informação.

**Embrapa em números.** Brasília, DF: Embrapa, 2019. 140 p.

EMBRAPA. **Visão 2030:** o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/o-futuro-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 29 maio 2020.

EUROPEAN COMMISSION. **Innovating for sustainable growth:** a bioeconomy for Europe. Brussels, 2012. DOI: 10.2777/6462. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1f0d8515-8dc0-4435-ba53-9570e47dbd51>. Acesso em: 14 out. 2014.

FAO. **"Climate-smart" agriculture:** policies, practices and financing for food security, adaptation and mitigation. Rome: FAO, 2010. The document was prepared as a technical input for the Hague Conference on Agriculture, Food Security and Climate Change, to be held 31 October to 5 November 2010. Disponível em: [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/newsroom/docs/the-hague-conference-fao-paper.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/the-hague-conference-fao-paper.pdf). Acesso em: 29 maio 2020.

FRASER, E. D. G.; CAMPBELL, M. Agriculture 5.0: reconciling production with planetary health. **One Earth**, v. 1, n. 3, p. 278-280, Nov 2019. DOI: [10.1016/j.oneear.2019.10.022](https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.022).

GAZZOLA, P.; COLOMBO, G.; PEZZETTI, R.; NICOLESCU, L. Consumer empowerment in the digital economy: availing sustainable purchasing decisions. **Sustainability**, v. 9, n. 5, 2017. DOI: [10.3390/su9050693](https://doi.org/10.3390/su9050693).

GEOINFO. **Infraestrutura de dados espaciais da Embrapa.** Disponível em: <http://geoinfo.cnpem.embrapa.br/>. Acesso em: 29 maio 2020.

HUB INTERNACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Disponível em: <http://www.hids.depi.unicamp.br/>. Acesso em: 29 maio 2020.

IBGE. Censo agropecuário 2017: resultados definitivos. **Censo Agropecuário**, v. 8, p. 1-105, 2019. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro\\_2017\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf). Acesso em: 28 maio 2020.

JACTO. Acompanhe a evolução dos implementos agrícolas. **Blog Jacto**, 29 maio 2018. Disponível em: <https://blog.jacto.com.br/acompanhe-a-evolucao-dos-implementos-agricolas/>. Acesso em: 29 maio 2020.

KIM, K.-H.; SHIM, W.; MOON, Y.-H.; KIM, K.-H.; SON, J.-K.; KWON, O. J. The structure of bio-information nano technology convergence from firms' perspective. In: PICMET: TECHNOLOGY MANAGEMENT FOR EMERGING TECHNOLOGIES, 12., 2012, Vancouver. **Proceedings**. New York: IEEE, 2012. p. 579-588.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LIMA, H. P. de; EVANGELISTA, S. R. M.; PINTO, G. E. M. **Uma proposta de plataforma de software para integração e interoperabilidade de serviços Web - Webagritec:** estudo de caso. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2008. 23 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 19). Disponível em: <https://ainfo.cnpia.embrapa.br/digital/bitstream/item/11850/1/bp19.pdf>. Acesso em: 29 maio 2020.

MAY, M. Big biological impacts from big data. **Science**, v. 344, n. 6189, p. 1298-1300, Jun 2014. DOI: [10.1126/science.344.6189.1298](https://doi.org/10.1126/science.344.6189.1298).

NATIONAL bioeconomy blueprint. Washington, DC: The White House, Apr 2012. Disponível em: [https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national\\_bioeconomy\\_blueprint\\_april\\_2012.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national_bioeconomy_blueprint_april_2012.pdf). Acesso em: 20 jun. 2020.

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL. **O que é transformação digital?** Disponível em: <https://transformacaodigital.com/o-que-e-transformacao-digital/>. Acesso em: 29 maio 2020.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **The bioeconomy to 2030:** designing a policy agenda. Paris, 2009. 323 p. DOI: [10.1787/9789264056886-en](https://doi.org/10.1787/9789264056886-en).

PILLON, C. N. Dos pós de rocha aos remineralizadores: passado, presente e desafios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2017, Pelotas. **Anais**. Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 2017. p. 16-23. Editado por Adilson Luis Banberg, Carlos Augusto Posser Silveira, Éder de Souza Martins, Magda Bergmann, Rosane Martinazzo e Suzi Huff Theodoro.

PIVOTO, D.; WALQUIL, P. D.; TALAMINI, E.; FINOCCHIO, C. P. S.; CORTE, V. F. D.; MORES, G. V. Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. **Information Processing in Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 21-32, Dec 2018. DOI: [10.1016/j.inpa.2017.12.002](https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002).

PRINS, R. **3 ways COVID-19 is pushing Ag data transformation**. 2020. Disponível em: <https://www.precisionag.com/digital-farming/3-ways-covid-19-is-pushing-ag-data-transformation/>. Acesso em: 1 jun. 2020.

PROJECT BREAKTHROUGH. **Digital agriculture: feeding the future**. 2017. Disponível em: <http://breakthrough.unglobalcompact.org/disruptive-technologies/digital-agriculture/>. Acesso em: 1 jun. 2020.

SAIZ-RUBIO, V.; ROVIRA-MÁS, F. From smart farming towards agriculture 5.0: a review on crop data management. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 1-21, Feb 2020. DOI: [10.3390/agronomy10020207](https://doi.org/10.3390/agronomy10020207).

SANTIN, W. O campo em tempo real. **Globo Rural**, n. 418, p. 14-19, ago. 2020.

SATVeg: Sistema de Análise Temporal da Vegetação. Desenvolvido pela Embrapa Informática Agropecuária. Ferramenta de acesso e visualização de perfis temporais dos índices vegetativos NVDI e EVI do sensor MODIS. Disponível em: <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>. Acesso em: 1 jun. 2020.

SHEPHERD, M.; TURNER, J. A.; SMALL, B.; WHEELER, D. Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the 'digital agriculture' revolution. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 14, Sept 2018. DOI: [10.1002/jsfa.9346](https://doi.org/10.1002/jsfa.9346).

SORENSEN, A. G. Smart farming and digitalization. In: GIGR INTERNATIONAL CONFERENCE, 5., 2021, Quebec. **[Proceedings]**. [S.l.]: International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering, June 2020. p. 2-4. Newsletter 121. 2020. Disponível em: [http://cigr.org/documents/CIGR\\_NL121.pdf](http://cigr.org/documents/CIGR_NL121.pdf). Acesso em: 1 jun. 2020.

SPRINGER. **Precision agriculture**. Disponível em: <https://www.springer.com/journal/11119/updates/17240272>. Acesso em: 1 jun. 2020.

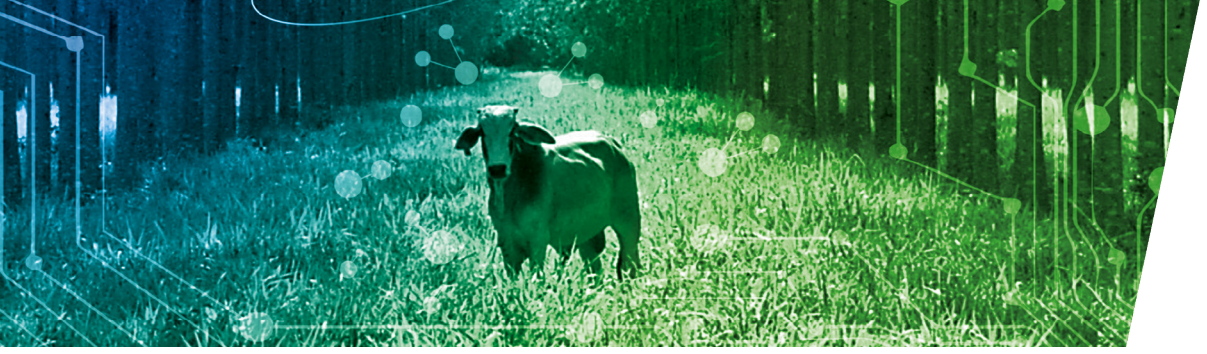
STARTUPBASE. **Encontre todas as startups do Brasil**. Disponível em: <https://startupbase.com.br/home/>. Acesso em: 1 jun. 2020.

VARSHNEY, R. K.; TERAUCHI, R.; MCCOUCH, S. R. Harvesting the promising fruits of genomics: applying genome sequencing technologies to crop breeding. **PLoS Biology**, v. 12, n. 6, e1001883, June 2014. DOI: [10.1371/journal.pbio.1001883](https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001883).

VASCONCELOS, M. J. V. de; FIGUEIREDO, J. E. F. **Tecnologia CRISPR-Cas para edição genômica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 37 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 197).

VAZ, G. J.; APOLINÁRIO, D. R. de F.; CORREA, J. L.; VACARI, I.; GONZALES, L. E.; DRUCKER, D. P.; BARIANI, J. M.; EVANGELISTA, S. R. M.; ROMANI, L. A. S. AgroAPI: criação de valor para a Agricultura Digital por meio de APIs. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11., 2017, Campinas. **Ciência de dados na era da agricultura digital**: anais. Campinas: Ed. Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária, 2017. p. 59-68. SBIAgro 2017.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Digital transformation initiative: executive summary**. Geneva, 2017. Disponível em: [https://www.accenture.com/\\_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/WEF/PDF/Accenture-DTI-executive-summary.pdf](https://www.accenture.com/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/WEF/PDF/Accenture-DTI-executive-summary.pdf). Acesso em: 1 maio 2020.



# 2 Agricultura digital: definições e tecnologias

Kleber Xavier Sampaio de Souza  
Stanley Robson de Medeiros Oliveira  
Carla Geovana do Nascimento Macário  
Júlio César Dalla Mora Esquerdo  
Maria Fernanda Moura  
Maria Angelica de Andrade Leite  
Helano Póvoas de Lima  
Alexandre de Castro  
Sônia Ternes  
Inácio Henrique Yano  
Edgard Henrique dos Santos

## 1 Introdução

Os avanços no processamento da informação e nas áreas de nanotecnologia, biotecnologia e ciência cognitiva estão promovendo uma convergência entre ciências chamada Nano-bio-info-cogno. O relatório *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science* (Roco; Bainbridge, 2003), encomendado da National Science Foundation dos Estados Unidos, foi elaborado por mais de 100 cientistas, que apontaram a sinergia entre nanotecnologia, biotecnologia, tecnologia da informação e ciência cognitiva como o segmento com maior potencial de avanço na inovação. Esse relatório destaca que as abordagens sistêmicas com o uso da matemática e da computação permitirão, pela primeira vez, entender o funcionamento de sistemas complexos existentes no mundo natural, tais como a mente humana, as explosões estelares, as interações sociais e os órgãos do corpo humano e os fenômenos naturais envolvidos com a agricultura.

A agricultura trabalha diretamente com três dessas áreas, a nanotecnologia, a biotecnologia e a tecnologia da informação. De fato, ela tem sido influenciada e alimentada pelo crescimento vertiginoso da capacidade de aquisição de dados, provenientes de diversas fontes, que vão desde a escala da célula, tais como as informações obtidas pela análise no campo das ciências “ômicas” (genômica, proteômica, transcriptômica e metabolômica), até a escala macroscópica, que inclui os dados socioeconômicos e os obtidos por meio de dispositivos de sensoriamento remoto, tais como satélites, passando pela escala da fazenda, com seus equipamentos agrícolas e sensores.

Atualmente tem-se a agricultura digital, que é uma agricultura cada vez mais conectada e remota que vai atuar no levantamento e no processamento dessa grande quantidade de dados coletados em todos os elos das cadeias produtivas, incluindo as fases de pré-produção, produção e pós-produção. Ela envolve, portanto, diferentes tipos de tecnologias digitais: sensores embarcados em plataformas orbitais, suborbitais, aerotransportados ou sistemas autônomos (drones, máquinas agrícolas), instalados diretamente no campo ou em diferentes ‘coisas’ (IoT) ao longo das cadeias produtivas, sistemas de telecomunicação, posicionamento global, software de controle, gestão e análise (*data analytics*) e atuadores.

Os dados provenientes dessas tecnologias passam a ser coletados não somente a partir de meios convencionais, mas também a partir de plataformas colaborativas ou mídias sociais (ciência do cidadão), dentre outros. Seu acúmulo representa um desafio para os sistemas de armazenamento, busca e recuperação, e também impactará os métodos de processamento e obtenção de informação.

Entretanto, se por um lado há uma quantidade de dados abundantes, por outro há grande defasagem no que tange à capacidade de gerência e análise desses mesmos dados e, conseqüentemente, da produção de conhecimento a partir deles. Configura-se, assim, um cenário complexo em que a transformação de dados em informações e conhecimento assume um papel estratégico em todos os setores da economia e na agropecuária, em particular, uma vez que esse setor é estratégico para o Brasil. Todos esses dados necessitam ser integrados, pré-processados e analisados para que deles se extraia conhecimento necessário ao estabelecimento da agricultura digital.

Este capítulo apresenta os conceitos relativos às tecnologias digitais que são utilizadas ao longo dos capítulos do livro, de forma consolidada, para facilitar o entendimento e o acesso por parte dos leitores.

## 2 Tecnologias digitais

As tecnologias digitais aqui apresentadas são divididas em cinco grupos. No primeiro grupo estão as tecnologias vinculadas à organização e à

representação da informação. No segundo estão as técnicas de modelagem matemática e estatística de processos envolvendo fenômenos biológicos, sociais e ambientais. No terceiro, a aplicação de inteligência artificial na agricultura. No quarto grupo, as tecnologias de sensores e robótica. Por fim, no quinto e último grupo, estão as tecnologias cujas aplicações possuem interação com a agricultura, como computação em nuvem e *blockchain*.

## 2.1 Organização, representação e acesso à informação

O volume de informação e a diversidade de formatos (dados de DNA, imagens de satélites, dados de sensores) em que essa informação é apresentada representam um desafio enorme à sua organização e reuso. Torna-se então necessário anotar, classificar, estruturar e prover mecanismos de acesso para que a informação possa ser encontrada e reutilizada no futuro, sendo este o propósito das tecnologias desta seção.

**Tesauros** - De acordo com a norma ANSI/NISO Z39.19-2005 (National Information Standards Organization, 2010), os tesauros são vocabulários controlados, arranjados de uma maneira tal que a relação entre seus termos é claramente identificada e padronizada. Os termos são compostos de uma ou mais palavras e selecionados da linguagem natural para serem incluídos no tesouro. No Thesaurus Agrícola Nacional (Thesagro), por exemplo, a palavra *Ácaro* está relacionada à palavra *Aracnídeo*, de forma que *Aracnídeo* é o termo mais abrangente (BT - *Broader Term* em inglês) e *Ácaro* é o termo mais específico (NT - *Narrower Term*). Existem também outros termos subordinados a *Aracnídeo* e que, portanto, são NT de *Aracnídeo*, tais como *Aranha* e *Escorpião*. BT e NT são formas de relacionamento verticais entre termos usadas nos tesauros; existem também as associações horizontais entre termos, expressas como termo relacionado (RT - *Related Term*). Para esse exemplo, existem no Thesagro os termos *Acaricida* e *Carrapato* associados como RT de *Ácaro*, sendo o primeiro um remédio para *Ácaros*, pertencente à hierarquia que começa com *Pesticida*, e o segundo um termo que pertence à hierarquia de *Parasito de Animal*. Os tesauros formam, portanto, uma teia de relacionamentos entre os termos, e essa teia ajuda a encontrar a informação que se procura. Os termos e a sua hierarquia podem ser usados para organizar o conteúdo de sites na Web e para expandir as buscas que são feitas nos conteúdos. Por exemplo, quando se busca *Ácaro*, podem-se recuperar também documentos que falem de *Carrapato* ou de *Acaricida*.

**Ontologia** - Uma ontologia define formalmente um vocabulário comum para que se compartilhe informação sobre um domínio de conhecimento. A ontologia inclui definições interpretáveis por máquina dos conceitos básicos desse domínio e as relações entre esses conceitos (Noy; McGuinness, 2001).



Nas ontologias, as relações entre os conceitos do domínio são explicitadas, de forma que consigam ser interpretadas por computadores. Cada conceito contém seus atributos, para os quais existem valores possíveis. Por exemplo, o conceito veículo, que é uma classe, contém as subclasses carro e motocicleta. O carro tem geralmente quatro rodas e a motocicleta, duas. Então, o atributo número de rodas seria quatro para veículo e duas para motocicletas. Tanto a motocicleta quanto o carro têm um atributo fabricante e tantos outros atributos quanto se queira usar para enriquecer a informação contida na ontologia e permitir o seu reuso. Como as ontologias disponibilizam uma linguagem comum, processável por máquina, um agente pode percorrer automaticamente vários sites Web que trabalham sobre um mesmo assunto, por exemplo peças de automóveis, e agregar a informação provida por eles, permitindo a comparação de preços. Isto é grandemente facilitado quando os vários sites usam a mesma ontologia para descrever suas peças.

**Big Data** - O termo *Big Data* inclui conjuntos de dados, cujos tamanhos vão além da capacidade que os sistemas gerenciadores de dados possuem de processá-los. Geralmente, são dados provenientes de várias fontes, tais como dispositivos móveis, sensores corporais, mídias sociais, e-mails, registros médicos eletrônicos, dados de genômica e de sensores geoespaciais, entre muitas outras. Essa variedade de fontes, a quantidade de dados e a velocidade com que os dados chegam para processamento geram o que se chama de “os três Vs” do *Big Data*, que são: volume, velocidade e variedade, aos quais às vezes ainda se adicionam “veracidade” e “valor”. A definição engloba dados estruturados, semiestruturados e não estruturados, embora seja muito mais comum o tratamento de dados não estruturados pelos sistemas que processam *Big Data* (Dedić; Stanier, 2017). Aplicações de *Big Data* surgem a todo momento: quando se analisam postagens em redes sociais sobre determinado assunto para ver a sua repercussão; quando se analisam buscas que são feitas no Google para identificar surtos de pandemias de gripe. Diante da inadequação dos sistemas tradicionais gerenciadores de bancos de dados em processar *Big Data*, foram desenvolvidas soluções pelas empresas que tradicionalmente sempre operaram com grandes volumes de dados, como é o caso do Google e da Cloudera, que desenvolveram o MapReduce, o Flume e o Sqoop. O MapReduce (Dean; Ghemawat, 2008) é um algoritmo desenvolvido pelo Google e que possui uma implementação livre desenvolvida pela Fundação Apache, chamada Hadoop (White, 2012). Essa implementação opera distribuindo grandes conjuntos de dados para serem processados em vários computadores em paralelo (possivelmente milhares de computadores) e depois

consolidando as respostas. O Apache Flume<sup>1</sup> foi originalmente desenvolvido pela Cloudera para gerenciar grandes volumes de dados de arquivos de log, mas foi estendido para processar eventos de fontes na Web como Twitter e Facebook. O Apache Sqoop<sup>2</sup> é uma ferramenta para transferir, de modo eficiente, dados entre fontes de dados estruturados, semiestruturados e não estruturados. É uma ferramenta interessante para trazer dados de fontes externas, tais como os bancos de dados relacionais, para dentro do sistema de arquivos distribuídos do Hadoop. MapReduce, Flume e Sqoop são apenas exemplos de sistemas que foram desenvolvidos para tratar *Big Data*, não sendo os únicos sistemas capazes de tratar dados de grande volume, variedade e velocidade.

**API** - Uma API (*Application Programming Interface*), ou interface de programação de aplicativos, em português, é uma forma de duas aplicações conversarem entre si, em que uma aplicação requisitante dispara a execução de uma outra para que sua própria tarefa seja concluída, ou seja, a aplicação requisitante necessita da segunda como provedora para seu funcionamento. O intermediário da comunicação entre as duas aplicações é a API, que define protocolos, rotinas e ferramentas para que a mensagem seja entregue à aplicação provedora e a resposta retorne para a aplicação requisitante. Uma API Web opera na internet usando os protocolos usuais para troca de informações, tais como HTML, XML ou JSON. Como exemplo de API aplicada à área agrícola pode-se citar a plataforma AgroAPI da Embrapa Informática Agropecuária (2020), que disponibiliza uma série de informações e modelos que podem ser usados por empresas, incluindo as startups, e instituições públicas e privadas para serem acopladas aos seus próprios softwares, sistemas Web ou aplicativos móveis. Sua utilização é gratuita para até 1.000 requisições por mês para cada API. Fazem parte da AgroAPI a API Agritec, que reúne informações sobre época de plantio, adubação, produtividade, zoneamentos agrícolas e cultivares para cinco culturas agrícolas; e a API SATVeg, que gera a visualização da evolução no tempo dos índices vegetativos NDVI e EVI para toda a América do Sul, a partir de dados de satélite. Esses índices possibilitam a observação das variações da biomassa verde na superfície terrestre, podendo auxiliar, por exemplo, na implementação do Código Florestal, ou no acompanhamento do ciclo de uma cultura agrícola, dentre outras dinâmicas da cobertura terrestre.

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://flume.apache.org/>

<sup>2</sup> Disponível em: <https://sqoop.apache.org/>

## 2.2 Modelagem matemática e estatística

A representação dos fenômenos da natureza por meio de modelos é parte integrante do método científico. Esta seção dedica-se a conceituar as categorias de representação usadas no método científico por meio de seus modelos. Conceitua também a Ciência de Dados, que surgiu de uma confluência de vários ramos do conhecimento para extrair conhecimento de massas de dados cada vez mais abundantes.

**Modelo matemático** - Um modelo surge da necessidade de se entender um fenômeno do mundo físico e prever o seu comportamento em determinada situação. Um modelo é sempre uma abstração do que ocorre no mundo real, uma simplificação do que ocorre no mundo real, de forma que se possa entender e quantificar um sistema (Torres; Santos, 2015). Em Bassanezi (2002), um modelo matemático consiste na transformação da realidade em problemas matemáticos, que são resolvidos e interpretados à luz do que ocorre no mundo real. A construção de um modelo matemático envolve várias etapas: (a) **conceituação**, que ocorre após observações iniciais sobre o problema, formulação de hipóteses para explicar seu funcionamento e uma primeira seleção de quais variáveis, processos e interações são considerados relevantes. Durante a conceituação ocorre uma importante tarefa, que é a simplificação do modelo em termos de variáveis e interações que são essenciais para a representação do problema, uma vez que os fenômenos do mundo natural, especialmente os biológicos, são excessivamente complexos; (b) **formalização matemática**, que é a tradução do problema em linguagem matemática. Existem muitas abordagens diferentes para se realizar essa tradução, tais como equações diferenciais, equações bayesianas, sistemas estocásticos, equações de diferenças finitas e sistemas baseados em agentes, cada uma com suas vantagens e limitações. Sua escolha depende da natureza do problema que se está modelando; (c) **estimação de parâmetros**, que envolve a descoberta de quais valores numéricos estão guiando a formulação matemática elaborada. A obtenção desses parâmetros pode ser realizada por meio de medidas experimentais, e a adoção de técnicas da estatística experimental lhes agrega maior confiabilidade; (d) **simulação e predição**, que é o momento em que se resolve o sistema de equações analiticamente ou se executa o modelo no computador. Como os problemas biológicos geralmente envolvem mecanismos de controle e regulação, a solução analítica dos modelos é quase sempre impossível, o que faz com que a abordagem computacional seja a mais frequente para a resolução do modelo; (e) **validação do modelo**, na qual se verifica a resposta do sistema para cada cenário dos valores de entrada das variáveis do modelo. Essa resposta tem de coincidir tanto em termos de trajetória do sistema quanto com os valores obtidos nas medições experimentais. Portanto, é nesse momento que se avalia quão próximo o

modelo está representando a realidade e que se mede a sua acurácia. Outra característica desejada do modelo é que ele seja capaz de prever novos fatos e relações não conhecidas que possam ser verificadas no mundo real; (f) **refinamento do modelo**, em que se critica a validade dos resultados do modelo, em termos das trajetórias do sistema sendo modelado, quando confrontado com o mundo real, e avalia-se a sua acurácia. Quando os modelos desviam do esperado, pode ser que alguma hipótese não tenha sido considerada ou seja falsa. Também pode ter havido um erro na obtenção dos dados que alimentaram a construção do modelo ou uma incorreção em sua formulação matemática. Nesse caso, podem ser propostas novas hipóteses e/ou novas variáveis e uma reavaliação do modelo matemático.

**Modelo estatístico** - A Estatística é a base do método científico, que assim pode ser resumido: i) definição do problema a ser estudado; ii) formulação de uma ou mais hipóteses a serem testadas; iii) condução de experimentos para testar as hipóteses formuladas; iv) análise estatística dos dados obtidos; v) interpretação dos resultados e obtenção das conclusões, isto é, obtenção de um modelo estatístico descritivo ou inferencial que comprove ou não as hipóteses originais. Tomemos um exemplo simples (Snedecor; Cochran, 1967): i) o problema a ser estudado era a variabilidade da concentração de cálcio em nabos; ii) as hipóteses diziam respeito ao comportamento da variabilidade do cálcio nas plantas e, especificamente, nas folhas de cada planta; iii) no experimento, quatro plantas foram escolhidas ao acaso e, em seguida, três folhas de cada planta foram selecionadas aleatoriamente e duas amostras de 100 mg foram tomadas de cada folha, determinando-se a quantidade de cálcio de cada amostra através de processos microquímicos; iv) os dados foram submetidos a uma análise de variância de acordo com o modelo das hipóteses formuladas; v) a análise concluiu que, estatisticamente a um nível de significância de 5%, a variabilidade nas folhas de cada planta mostra-se mais importante que a variabilidade em toda a planta, e que o modelo idealizado (as hipóteses colocadas) representa estatisticamente a realidade. Cada um desses efeitos de variabilidade é estimado de acordo com as hipóteses iniciais, as estimativas calculadas mostram se o modelo está adequado ou não às hipóteses formuladas a partir de uma margem de erro aceita, que no caso foi de 5%. Em geral, os processos biológicos são inerentemente complexos e a variabilidade de cada fator observado precisa ser estimada, isto é, o número de variáveis observado é gigantesco e, por vezes, nem todas as variáveis são conhecidas; as não conhecidas introduzirão um maior erro ao modelo estimado; lembrando que o modelo é aceito após as estimativas serem estatisticamente comprovadas e que o modelo como um todo possui um erro, também estimado. Nesse cenário, e em muitos outros, como a teoria

geral dos gases ou a teoria da seleção natural (Fisher, 1934), os argumentos são construídos sobre bases estatísticas.

**Ciência de dados** - Ciência de Dados é um campo interdisciplinar sobre processos e sistemas para extrair conhecimento ou insights de dados em várias formas, estruturados ou não. Incorpora técnicas e teorias das mais diversas áreas de conhecimento como computação, engenharia, matemática, estatística, economia, mineração de dados e inteligência artificial, com o objetivo de coletar dados, processá-los, integrá-los e analisá-los visando à criação de produtos e serviços de dados (Amaral, 2016). A Ciência de Dados não está restrita apenas à análise de grandes volumes de dados (*Big Data analytics*). Pequenos (*Small Data*) e grandes (*Big Data*) repositórios de dados são aspectos importantes desta área de pesquisa. *Small Data* contempla informações simples, que estão no banco de dados de qualquer empresa ou de pequenas propriedades rurais. *Small Data* inclui resultados de pesquisas, dados de consumidores ou produtores rurais, dados sobre propriedades agrícolas, e-mails com informações sobre práticas de manejo, dados contendo volume de produção agrícola por período, entre outros. Em geral, é constituído de dados estruturados, prontos para a análise. Já o *Big Data* refere-se a dados (principalmente) não estruturados, oriundos de múltiplas fontes e que deverão ser coletados, agregados e analisados no intuito de gerar informações de cunho gerencial. Dentre as aplicações de Ciência de Dados estão o marketing digital, que elabora anúncios personalizados a partir de informações obtidas por meio dos perfis de usuário e seu histórico de navegação nas empresas; os sistemas de recomendação, que se baseiam no padrão de páginas visitadas ou produtos comprados para sugerir novos produtos; e os sistemas de avaliação de crédito de clientes bancários, que, baseados em seu histórico e escores existentes em empresas de proteção ao crédito, calculam a probabilidade de o cliente se tornar inadimplente.

### 2.3 Inteligência artificial

As tecnologias de reconhecimento de padrões e aprendizado de máquina, incluindo *deep learning*, são parte integrante de muitos sistemas existentes na atualidade, tais como os carros autônomos e os sistemas de reconhecimento de voz. Trata-se de um rol de tecnologias que surgiram para analisar grandes conjuntos de dados e deles aprender padrões que possibilitem, por exemplo, identificar objetos ou antecipar a próxima palavra a ser falada em uma frase. Por outro lado, quando se deseja explicitar as regras de um sistema diretamente, sem o uso de aprendizado de máquina, mas ainda assim permitindo um certo grau de imprecisão, emprega-se a lógica nebulosa.

**Reconhecimento de padrões** - Um padrão, na forma como é entendido dentro do conceito de reconhecimento de padrões, pode ser a representação de um número escrito à mão, um número escrito em uma casa, uma laranja, um carro, uma palavra pronunciada, sequências de medições de temperatura, pressão e chuva, sequências de valores de ações da bolsa, enfim, muitas outras coisas que queremos que um sistema computacional aprenda a reconhecer. É por essa razão que muitos dos problemas importantes de reconhecimento de padrões podem ser caracterizados seja como classificações de forma de onda (sons, medições de temperatura, valores de ações etc.), seja como classificação de figuras geométricas, como ocorre com as imagens (Fukunaga, 1990). Nosso cérebro é especialmente projetado para reconhecer padrões. Logo nos primeiros anos da nossa existência, aprendemos a diferenciar os sons, as palavras, o que é um gato e o que ele tem de diferente de um cachorro e tantas outras coisas. O que se deseja com o reconhecimento de padrões por um sistema computacional é que ele aprenda a diferenciar os dados que se lhe apresentam, uma atividade que é computacionalmente conhecida como classificação. Para o processamento desses dados, existem várias técnicas que são usadas para reconhecimento de padrões, tais como árvores de decisão, florestas aleatórias, k-vizinhos mais próximos, máquinas de vetores de suporte e redes neurais (Bishop, 2006). A aplicação de técnicas de reconhecimento de padrões pode indicar, por exemplo, que uma dada sequência de valores de temperatura está dentro da normalidade, que uma ação na bolsa de valores está em trajetória de queda, que o número manuscrito em um papel é o 3, ou que o objeto que está em determinada posição em uma imagem é uma laranja.

**Aprendizado de máquina** - Trata-se de um processo intimamente relacionado ao reconhecimento de padrões (tópico anterior), pois o que se deseja durante o aprendizado de máquina é que o computador aprenda com os padrões que lhe foram apresentados. Segundo Bishop (2006), aprendizado de máquina e reconhecimento de padrões são duas facetas de um mesmo campo do conhecimento, tendo o reconhecimento de padrões originado da engenharia e o aprendizado de máquina da computação. Por essa razão, também são compartilhados os algoritmos entre reconhecimento de padrões e aprendizado de máquina. Em geral, é possível dividir o aprendizado de máquina em **supervisionado**, quando a partir de um conjunto previamente definido de dados rotulados deseja-se encontrar uma função que seja capaz de prever rótulos desconhecidos; e **não supervisionado**, em que se busca identificar grupos ou padrões a partir dos dados, sem um objetivo específico a ser alcançado (Russel; Norvig, 2020). Esses dois conceitos estão definidos na sequência.



**Aprendizado não supervisionado** - Nesse tipo de aprendizagem o conjunto de dados utilizado não possui nenhum tipo de rótulo. O objetivo desse tipo de aprendizagem é detectar similaridades e anomalias entre os objetos analisados. O processo de agrupamento de objetos em classes similares é denominado **clusterização**. Esse procedimento é também conhecido como segmentação de dados, pois particiona grandes conjuntos de dados de acordo com a similaridade entre subconjuntos. Os objetos mais similares com relação às características impostas pelo domínio devem ser alocados em um mesmo grupo, ao passo que aqueles menos similares devem ser alocados em grupos distintos. A similaridade entre os objetos deve ser obtida por medidas algébricas, como a distância euclidiana, para valores reais; ou por correspondência simples, para valores nominais. Esses algoritmos podem ser divididos em duas classes mais gerais, de acordo com a heurística empregada para a construção dos grupos.

A primeira classe são os **algoritmos particionais**, que, normalmente com custo computacional de execução linear, operam de maneira iterativa a partir da definição prévia da quantidade de grupos desejada e da definição de objetos representativos de cada grupo, conhecidos como centroides. Em cada iteração, cada objeto é associado ao centroide e, conseqüentemente, ao seu grupo mais similar. Os centroides dos grupos são então recalculados para a próxima iteração. O algoritmo atinge o seu ponto de convergência quando os centroides não são mais alterados entre uma iteração e outra, ou seja, quando os grupos estão bem definidos, considerando a medida de similaridade utilizada. Nessa subclasse de algoritmos encontra-se o *k-means* (Macqueen et al., 1967), considerado um dos dez algoritmos mais influentes em mineração de dados (Wu, 2008).

A segunda classe são os **algoritmos hierárquicos**, que possuem custo computacional de execução normalmente quadrático e não exigem, por sua vez, a identificação de representantes iniciais e nem da quantidade de grupos desejada. Assim, em uma única execução, podem ser gerados  $n$  particionamentos aninhados para o mesmo conjunto de  $n$  instâncias, contendo de 1 até  $n$  grupos cada, constituindo uma hierarquia de agrupamentos (Han; Kamber, 2006). Duas estratégias distintas podem ser utilizadas para a construção dessa hierarquia: a aglomerativa, que considera inicialmente cada instância do conjunto de dados como um grupo, fundindo pares de grupos em cada iteração; e a divisiva, que considera inicialmente todas as amostras pertencentes a um único grupo, dividindo-as em grupos menores em cada iteração (Hastie et al., 2009).

**Aprendizado supervisionado** - O processo de aprendizado supervisionado de máquina (supervised machine learning, em inglês) consiste em apresentar uma grande quantidade de dados previamente classificados a um

computador e fazer com que ele aprenda a partir desses dados. O aprendizado acontece pela modificação dos parâmetros do sistema à medida que mais e mais exemplos lhe são apresentados. Esses parâmetros são números para os quais não se sabe quais deveriam ser seus valores. Então, a tarefa do aprendizado é descobrir quais valores fazem com que o sistema acerte mais vezes. A cada exemplo, verifica-se se o sistema aprendeu a classificar corretamente aquele exemplo. Em caso positivo, o sistema reforça os parâmetros que permitiram essa classificação correta por meio dos seus pesos. Caso contrário, calcula-se qual a correção que o sistema deve sofrer para não cometer esse erro e ajustam-se negativamente os pesos que levaram àquela resposta errada. Pode-se, então, imaginar um sistema com muitos e muitos botões que têm de ser girados na medida certa para que esse sistema acerte a resposta no final. Entretanto, em vez de girarmos nós mesmos os botões, temos algoritmos que o fazem de forma controlada para que o aprendizado aconteça. Os principais paradigmas de aprendizado podem ser enumerados como a seguir:

- a) **simbólico** (árvores de decisão): uma árvore de decisão é uma estrutura semelhante a um fluxograma na qual cada nó interno representa um “teste” em um atributo, cada ramo representa o resultado do teste e cada nó folha representa um rótulo de classe (decisão tomada após computar todos os atributos). Os caminhos da raiz para a folha representam as regras de classificação (Quinlan, 1986).
- b) **baseado em instâncias** ( $k$ -NN ou  $k$  vizinhos mais próximos): a ideia principal do  $k$ -NN é determinar o rótulo de classificação de uma amostra baseado nas  $k$  amostras vizinhas advindas de um conjunto de treinamento. Dentre os  $k$  exemplos, verifica-se a classe mais frequente. Essa classe é atribuída ao novo exemplo (Fukunaga; Narendra, 1975).
- c) **baseado em aprendizado estatístico** (SVM - *Support Vector Machines*): a forma mais simples de particionar um espaço euclidiano de  $n$  dimensões é através de hiperplanos. O classificador SVM baseia-se também nessa estratégia, porém, utiliza um tipo especial, o hiperplano de separação ótima. Trata-se de um hiperplano que divide as classes maximizando a margem de separação entre elas (Vapnik, 1995, 1998).
- d) **baseado em comitê**: é o campo do aprendizado de máquina que constrói um grupo de classificadores, denominados classificadores-base, com o objetivo de ser mais preciso que o melhor dos elementos do grupo. A abordagem mais simples baseada nesse algoritmo é o voto da maioria simples, em que diversos classificadores são combinados em uma estratégia de voto. Como resultado, a resposta que receber o maior número de votos é considerada a resposta do comitê (Han; Kamber, 2006). Um exemplo desse tipo de abordagem é o Random Forest. Trata-se de uma técnica de

classificação e regressão que consiste num conjunto de árvores de decisão combinadas para solucionar problemas de classificação (Breiman, 2001).

- e) **conexionista** (Redes Neurais Artificiais - RNA): são modelos computacionais, inspirados pelo sistema nervoso central (em particular o cérebro), capazes de realizar o aprendizado de máquina, bem como o reconhecimento de padrões. Um exemplo de modelo conexionista é a técnica de *deep learning*, detalhada a seguir.

**Deep learning** - A técnica de *deep learning*, ou redes neurais profundas, é uma técnica de aprendizado de máquina na qual o modelo escolhido para o algoritmo de aprendizado é uma rede neural artificial com muitas camadas. As redes neurais foram inspiradas pela forma como os neurônios funcionam em sistemas biológicos, em que operam de modo paralelo e descentralizado (Marblestone et al., 2016). Tipicamente, uma rede neural pode conter mais de 100 camadas, dispostas uma após a outra ou em paralelo. Cada uma dessas camadas é composta por um ou mais neurônios, interligados entre si de forma que o resultado dos neurônios que estão em uma camada alimenta a entrada dos neurônios que estão na camada posterior. O método de treinamento de redes neurais emprega frequentemente um algoritmo chamado de *backpropagation*. Como associado a cada neurônio existe um peso que aquele neurônio representa na resposta, esse algoritmo compara a resposta do sistema com o valor que deveria ter sido e distribui o erro recalculando os valores dos pesos dos neurônios para trás. Existem muitas arquiteturas de redes neurais disponíveis, como as redes conectadas para frente (*feedforward*), as redes convolutivas, as redes recorrentes e as máquinas de Boltzmann restritas, entre muitas outras (Goodfellow et al., 2016). A arquitetura escolhida para a rede é dependente do problema que se pretende resolver: as redes conectadas para frente são usadas tanto em problemas de classificação quanto de regressão; as redes convolutivas, para problemas de classificação em imagens; as redes recorrentes, para problemas que envolvem sequências, tais como o processamento de linguagem natural; e as máquinas de Boltzmann restritas são aplicadas para redução de dimensionalidade, uma tarefa na qual a quantidade de variáveis de entrada é grande e se busca identificar as mais significativas. Essa lista de problemas para cada rede não é excludente, mas apenas para servir de exemplo, pois uma máquina de Boltzmann restrita pode ser usada para resolver outros problemas, tais como regressão e classificação, assim como também ocorre com as demais arquiteturas de rede neural. A área de *deep learning* tem muito de arte envolvida na seleção de uma dada arquitetura para um problema, bem como na parametrização dos modelos.

**Conjuntos nebulosos e lógica nebulosa:** A teoria de conjuntos clássica define como conjunto uma classe de objetos com pertinência binária, ou seja,

cada elemento pode pertencer ou não ao conjunto ( $\in$  ou  $\notin$ ). Zadeh (1965) fundamentou o conceito de conjuntos *fuzzy* (CF) como sendo uma classe de objetos em que cada elemento possui um grau de pertinência contínuo, admitindo qualquer valor entre zero e um. Tal conceito permite que sejam tratados problemas do mundo real onde os critérios de pertinência e as fronteiras entre classes não são precisamente definidos (ou seja, são nebulosos ou *fuzzy*, em inglês). Um elemento pode ter “graus de pertinência” diferentes para vários conjuntos. Analogamente à teoria de conjuntos clássica, toda uma classe de operações lógicas é derivada dos conjuntos nebulosos, denominada de lógica nebulosa. Os que operam com lógica nebulosa são denominados Sistemas Baseados em Regras Fuzzy (SBRF). São sistemas de inferência cujos componentes lógicos são expressos por meio de CF. Tipicamente é composto por uma base de dados *fuzzy* (variáveis de entrada e saída), um mecanismo de inferência e uma base de regras *fuzzy* do tipo “SE A então B”, cujos termos linguísticos são CF (Klir; Yuan, 1995).

## 2.4 Sensores e estudo da terra

Os sensores e atuadores estão no cerne da agricultura digital, pois por meio deles pode-se perceber o que está ocorrendo no meio ambiente e tomar as ações adequadas. Os sensores podem ser orbitais, como os satélites, que permitem a coleta de dados geoespaciais, ou proximais, como os sensores instalados nas propriedades rurais e interligados aos dispositivos da internet das coisas. Quando a computação está plenamente integrada aos sensores de um ambiente e distribuída nesse ambiente, surge a Computação Ubíqua.

**Computação ubíqua** - O termo Computação Ubíqua foi proposto pelo cientista Mark Weiser (1991), do Centro de Pesquisa de Palo Alto da Xerox (PARC), para denominar um paradigma de computação proposto para o século 21. Nesse paradigma a computação deveria estar em todos os lugares, daí o termo ubíqua, e ser invisível para seu usuário. Para explicar o conceito, Weiser considera que a linguagem escrita foi a primeira tecnologia ubíqua, pois antes dela a informação estava restrita à memória das pessoas. Com sua invenção, qualquer um que saiba ler é capaz de entender o que está escrito, estando, portanto, independente da memória de quem escreveu. O conceito de computação em todos os lugares é diferente da ideia de se levar um notebook a qualquer lugar, pois mesmo nesse caso, o que se leva consigo é o poder computacional e o foco, portanto, continua sendo o computador. Com a computação ubíqua, os computadores operam a distância, sem contato físico com os usuários. A interação com esses computadores que estão no ambiente poderia ser feita por reconhecimento de presença, voz e gestos por sensores instalados no ambiente, displays e projetores. A computação ubíqua também implica mais inteligência por parte do computador, pois seus sensores teriam

de perceber o que está acontecendo no ambiente e tomar as ações para facilitar a tarefa dos usuários que nele estão, ativando inclusive serviços, sem que o usuário os tenha demandado. Por exemplo, ao entrar em seu escritório e procurar por determinado documento guardado em papel, o sistema apontaria onde você guardou esse documento no passado. O sistema também poderia trazer para uma sala de reuniões o projeto em que você estava trabalhando para que pudesse ser apresentado. É claro que a computação ubíqua apresentaria novos desafios em termos de privacidade e segurança, pois o primeiro exemplo significa que o sistema estava observando todos os seus passos quando guardou aquele documento no passado, enquanto o segundo quer dizer que o sistema teria acesso a todos os seus arquivos e transferiria apenas os arquivos necessários para a apresentação. Além de privacidade e segurança, também existem outros desafios, tais como a junção de partes de hardware e software de vários fabricantes, cujos softwares teriam de ser integrados e comandados por um sistema maior. Embora não exista um sistema que implemente completamente a ideia da computação ubíqua, algumas tecnologias tentam se aproximar desse ideal, como os sistemas de caixas de som que ouvem o que se está dizendo e executam tarefas, tais como ajustar a iluminação, tocar uma música preferida ou realizar uma busca na internet. Na agricultura, o conceito de computação ubíqua tem sido usado na aplicação de agroquímicos. Nessa aplicação, sensores existentes próximos às folhas orientariam a eletrônica embarcada nos pulverizadores para se obter uma administração com a maior cobertura possível, gastando o mínimo de líquido.

**IoT** - A internet das coisas (*internet of things* - IoT, em inglês) é definida pela International Telecommunication Union - ITU (2012) como sendo uma infraestrutura global para a sociedade da informação, possibilitando serviços avançados pela interconexão de coisas (físicas e virtuais), baseadas em tecnologias da informação e comunicação interoperáveis, quer sejam essas estruturas existentes ou em evolução. Do ponto de vista da internet das coisas, a ITU define que as coisas são objetos do mundo físico ou do mundo virtual que são capazes de serem identificados e integrados às redes de comunicação. Os objetos virtuais são incluídos à IoT por meio de coisas físicas ligadas a dispositivos, que por sua vez possuem capacidade mandatória de comunicação. A comunicação entre dispositivos pode ser realizada via rede de comunicação (com ou sem *gateway* intermediário) ou diretamente entre os dispositivos, sem uma rede de comunicação, sendo necessário, neste último caso, que haja comunicação direta entre os dispositivos. Quando a comunicação entre dispositivos ocorre via um *gateway*, este deve prover no mínimo duas tecnologias de rede, seja para integrar dispositivos, como ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi ou LoRa, seja para integrar dispositivos à rede de comunicação, como as redes 2G, 3G, LTE, satelitais ou outras. Os dispositivos podem ainda possuir

a capacidade de entrar em repouso e retornar automaticamente para economizar energia. Essa capacidade é especialmente importante para sensores que ficam instalados em locais remotos, que não possuem ligação direta à energia elétrica, como ocorre com alguns sensores de monitoramento agrícola. Os objetos conectados à rede IoT podem ser desde pessoas ou animais com etiquetas RFID até marcapassos e outros dispositivos hospitalares de uso individual, implementos agrícolas, celulares, câmeras de vigilância, sensores de umidade e pressão atmosférica, pluviômetros, automóveis com sensores embarcados e muitos outros. O requerido para todas as coisas conectadas à IoT é que possuam endereço na internet, ou seja, um endereço IP. Tendo esse endereço, as coisas podem ser acessadas por quaisquer máquinas ligadas à internet. Esse acesso a qualquer tempo faz com que as coisas ligadas à IoT estejam vulneráveis em dois pontos: segurança e privacidade. A preocupação com segurança gera a necessidade da implementação de requisitos que procurem assegurar a confidencialidade e a integridade das informações, tanto nos dados quanto nos serviços que processam esses dados. A questão da privacidade também precisa ser suportada pela IoT, pois os dados que trafegam no sistema IoT podem transitar informações sensíveis vinculadas aos proprietários ou usuários das coisas conectadas. A proteção à privacidade desses dados deve ocorrer durante a transmissão dos dados, sua agregação, armazenamento, processamento e mineração. Na agricultura, sensores RFID têm sido usados para a identificação e o rastreamento de animais no campo.

**Robótica** - O termo robô vem da palavra *robot*, que significa servo na língua tcheca. Foi proposta por Josef Čapek ao seu irmão Karel para ser usada na peça de ficção Rossum's Universal Robots, publicada em 1920 (Szabolcsi, 2014). Nessa peça, máquinas com comportamento e aparência humana executam trabalhos. Nos dias atuais, os robôs assumem as mais variadas formas e funções. Na indústria, assumem a forma de braços para executar tarefas repetitivas, como soldagem, ou tarefas perigosas, como descontaminação em instalações nucleares. Os robôs militares, agrícolas e para exploração espacial frequentemente são veículos com rodas ou asas. A robótica é uma área de pesquisa que conjuga esforços de múltiplas áreas, tais como engenharia de computação, engenharia da informação, engenharia mecânica, engenharia eletrônica, biologia, indo até as ciências sociais à medida que os robôs devem assumir comportamentos adequados à interação humana. O grau de autonomia de um robô pode variar do controle remoto à operação totalmente autônoma. Dependendo da tarefa ou do grau de autonomia, o robô precisa: ser dotado de visão computacional para construir uma representação global do ambiente em que se encontra e dos objetos dentro do campo de visão; possuir um sistema de controle para realizar a tarefa desejada, podendo ou não incluir inteligência artificial; possuir atuadores que irão mover as partes de acordo



com o controle e implementar uma interface com o usuário. Pode ainda necessitar de dispositivos que implementem os sentidos de tato, audição e olfato. Existem vários robôs avançados atualmente: o Asimo, desenvolvido pela Honda, é um dos robôs com aparência humanoide mais evoluídos. Ele consegue andar sobre superfícies irregulares, conversar com várias pessoas ao mesmo tempo, abrir garrafas e colocar líquido em copo, além de dominar várias conversas simultâneas com pessoas diferentes. A NASA criou o Robonaut2 e o enviou à estação espacial internacional para auxiliar na realização de tarefas perigosas ou mesmo corriqueiras. Na agricultura, os robôs frequentemente possuem o formato de um veículo para todo-o-terreno (*off-road*), como o robô *See and Spray*, desenvolvido pela Blue River para detectar ervas daninhas e aplicar defensivos agrícolas de forma seletiva, apenas sobre essas ervas, evitando a cultura plantada.

**Dados geoespaciais** - Também denominados dados geográficos, pertencem a uma classe particular de dados que descrevem fatos, objetos e fenômenos do globo terrestre, associados à sua localização sobre a superfície terrestre, num certo instante ou período (Câmara et al., 1996). Os dados geoespaciais distinguem-se essencialmente dos demais por sua componente espacial, que associa a cada entidade ou fenômeno uma localização traduzida por um sistema geodésico de referência terrestre. Geotecnologias é o nome dado a uma categoria especial de tecnologias utilizadas para o processo de aquisição, visualização, processamento, análise e/ou disponibilização de dados geoespaciais. Nesse contexto, tecnologias como o sensoriamento remoto, o *Global Positioning System* (GPS), a topografia, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), os bancos de dados geográficos, entre outras, são classificadas como geotecnologias. Quando uma informação geoespacial é derivada de uma ou mais geotecnologias, ela é denominada geoinformação ou geodado. Por fim, o processo de aplicação de uma ou mais geotecnologias para adquirir, processar, visualizar, analisar e/ou disponibilizar dados espacialmente referenciados, com o intuito de gerar geoinformação, é denominado geoprocessamento. Os dados geoespaciais são usados na agricultura, por exemplo, no monitoramento da safra de uma determinada *commodity*, em que uma sequência de imagens de satélite é analisada ao longo do tempo em uma região para se determinar quanto será produzido.

**SIGs** - Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ou GIS (*Geographic Information System*), em inglês, é uma das principais tecnologias para visualização, análise e tratamento dos dados geográficos. Existem diversas definições sobre o que são SIGs, desde as mais complexas às mais simples. Pires et al. (1994) definem SIG como um sistema que realiza o tratamento computacional de dados geoespaciais, armazenando, gerenciando e recuperando

informações. Esses sistemas são muito utilizados em ambientes de decisão, provendo aos usuários facilidades de combinar as informações de uma determinada região. A principal diferença entre um SIG e um sistema de informação convencional é a capacidade do SIG de armazenar tanto os atributos descritivos dos dados quanto as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos. As principais características de SIGs são: inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais textuais e outras fontes de dados, como imagens de satélite e dados de GPS; e oferecer mecanismos para combinar as várias informações, por meio de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados geográficos. A abordagem tradicionalmente utilizada para a organização de dados geoespaciais em um SIG é a sua distribuição em camadas, também denominadas *layers* ou planos de informação, em que cada uma aborda um tema distinto para uma dada região geográfica. Por exemplo, uma imagem de satélite de uma região é uma camada, assim como os municípios dessa região, sua geomorfologia e sua hidrologia. Cada camada é representada internamente usando estruturas lógicas próprias de cada SIG e é armazenada em arquivos distintos, de acordo com o formato do sistema utilizado. Na agricultura, um SIG pode ser usado para criar um modelo digital de uma propriedade rural, a partir de medições feitas usando-se um GPS em vários pontos da propriedade.

## 2.5 Tecnologias convergentes

A agricultura digital incorpora conceitos que foram originalmente desenvolvidos para outras áreas, como o *blockchain* e a computação em nuvem, que convergem para a solução dos problemas agrícolas. A reutilização dessas tecnologias surgiu da necessidade de armazenamento de dados de forma remota, para que sejam processados com maior resiliência, e também para o atendimento de uma demanda recorrente na agricultura, que é a rastreabilidade de seus produtos e processos.

**Blockchain** (cadeia de blocos, em português) - É um tipo de banco de dados distribuído cujo modelo de armazenamento permite a guarda de registros de modo permanente e inviolável. É mundialmente conhecido por ser a tecnologia sobre a qual se desenvolveu a criptomoeda bitcoin, sendo sua origem datada de 2008, quando seu autor, sob o pseudônimo de Satoshi Nakamoto, publicou um artigo na internet (Nakamoto, 2008) sobre a criação de um sistema de pagamento eletrônico descentralizado, seguro e baseado em uma rede do tipo *peer-to-peer* (p2p). O *blockchain* permite codificar o conteúdo de uma mensagem de comprimento variável para dados de comprimento fixo via protocolos de integridade e autenticação baseados em cifras de uso único, ou função *hash* de mão única, (Castro, 2017; Ethereum, 2019).

Cada transação pode ser entendida como uma ação passível de rastreabilidade, e que é certificada pelos nós da rede, podendo haver sigilo de parte ou de todo o seu conteúdo. Essas transações são agrupadas de maneira semelhante a um livro razão, também utilizado em operações contábeis, e, por essa característica, o conjunto é chamado de *ledger*. Os *ledgers* são a base, dentro de uma estrutura de ferramentas computacionais, para implementação de sistemas de transações com a tecnologia *blockchain* em ambientes corporativos.

Sistemas de rastreabilidade via *blockchain* proporcionam uma forma segura e distribuída para fornecer informações no âmbito de uma cadeia produtiva agrícola, ou de quaisquer outros processos agroindustriais, permitindo rastrear informações como a origem do produto e seus insumos, o uso de agrotóxicos na lavoura, entre outras.

**Computação em nuvem** (*cloud computing*, em inglês) - Refere-se a uma tecnologia que permite o acesso a programas, arquivos e serviços por meio da internet, sem a necessidade de instalação de programas ou armazenamento de dados – daí vem a alusão à “nuvem”. O termo geralmente é usado para descrever centros de dados disponíveis para muitos utilizadores pela internet (Hayes, 2008). Uma vez devidamente conectado ao serviço on-line, é possível desfrutar de suas ferramentas e salvar todo o trabalho que for feito para acessá-lo depois, de qualquer lugar, a partir de qualquer computador que tenha acesso à internet, independentemente de plataforma. O requisito mínimo é um computador compatível com os recursos disponíveis na internet. Por exemplo, um computador pessoal torna-se apenas um *chip* ligado à internet, que neste caso representaria a “grande nuvem” de computadores, sendo necessários somente os dispositivos de entrada teclado, *mouse* e monitor.

A computação em nuvem pode ser vista como um paradigma de infraestrutura que permite o estabelecimento de software como serviço, sendo um grande conjunto de serviços baseados na Web, com o objetivo de fornecer funcionalidades que, até então, necessitavam de grandes investimentos em hardware e software, e que funciona através de um modelo de pagamento pelo uso (Buyya et al., 2009). Um exemplo típico de computação em nuvem são os serviços de sincronização de arquivos, como o Dropbox. Ao copiar ou mover um arquivo nesse espaço, ele será duplicado no servidor do aplicativo e em outros computadores que tenham o programa instalado e nos quais um usuário acesse a sua conta.

A computação em nuvens oferece diversos benefícios, como: 1) **redução de custos**: seja pela diminuição nos gastos com energia, *no-break* ou gerador, ar-condicionado e segurança física dos equipamentos, seja na aquisição de softwares e hardwares; 2) **economia de espaço**: a partir do momento em que se adere aos serviços em nuvem, o armazenamento será totalmente virtual; 3) **flexibilidade**: os serviços são perfeitamente adaptáveis aos diferentes tipos de

uma empresa. Se essa previsão se mostrar subestimada, facilmente pode-se incrementar o serviço, reajustando-o à demanda real; 4) **atualização constante**: a tecnologia avança e igualmente depressa os hardwares tornam-se defasados. Ao migrar para a computação em nuvem, acompanhar os passos do desenvolvimento tecnológico torna-se uma tarefa bem menos exaustiva e dispendiosa, já que serviços contratados são atualizados constantemente; 5) **capacidade de armazenamento**: a possibilidade de realizar backup de uma enorme quantidade de dados, de maneira instantânea, é tão importante quanto a facilidade de recuperação desses dados a qualquer momento, por um custo consideravelmente baixo; 6) **aumento da colaboração**: por permitir o acesso remoto de várias pessoas a um mesmo arquivo, a computação em nuvem estimula o trabalho colaborativo. Como as atualizações acontecem em tempo real, a troca entre membros de uma mesma equipe se dá de maneira muito mais rápida.

No entanto, o armazenamento em nuvens pode gerar desconfiança, principalmente no que se refere à segurança. Afinal, a proposta é manter informações importantes em um ambiente virtual, e não são todas as empresas e pessoas que se sentem à vontade com essa abordagem.

### 3 Considerações finais

Este capítulo apresentou os principais conceitos usados em gestão, processamento e visualização de dados da agricultura digital. Foram apresentadas tecnologias digitais vinculadas à organização e à representação da informação, modelagem matemática e estatística, inteligência artificial, sensores e robótica e tecnologias convergentes, como a computação em nuvem e o *blockchain*. Nos próximos capítulos, essas tecnologias são exploradas nas muitas aplicações, construídas pela Embrapa Informática Agropecuária e seus parceiros, com o objetivo de fornecer soluções para uma agricultura cada vez mais dinâmica e integrada, como é a agricultura digital. Como se pode perceber, pelo rol de tecnologias aqui conceitualizadas, o ferramental utilizado para a resolução de problemas agrícolas situa-se na fronteira do conhecimento tecnológico.

### 4 Referências

- AMARAL, F. **Introdução à ciência de dados**: mineração de dados e big data. Rio de Janeiro: Alta Brooks, 2016.
- BASSANEZI, R. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**. São Paulo: Contexto, 2002.
- BISHOP, C. M. **Pattern recognition and machine learning**. Singapore: Springer Science+Business Media, 2006.

BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, p. 5-32, 2001. DOI: 10.1023/A:1010933404324.

BUYA, R.; YEO, C. S.; VENUGOPAL, S.; BROBERG, J.; BRANDIC, I. Cloud computing and emerging IT platforms: vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. **Future Generation Computer Systems**, v. 25, n. 6, p. 599-616, June 2009. DOI: 10.1016/j.future.2008.12.001.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.; MEDEIROS, C. B.; MAGALHÃES, G.; HEMERLY, A. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Ed. Unicamp, 1996. 193 p.

CASTRO, A. de. Quantum one-way permutation over the finite field of two elements. **Quantum Information Processing**, v. 16, article number 149, 2017. DOI: 10.1007/s11128-017-1599-6.

DEAN, J.; GHEMAWAT, S. MapReduce: simplified data processing on large clusters. **Communications of the ACM**, v. 51, n. 1, p. 107-113, 2008. DOI: 10.1145/1327452.1327492.

DEDIĆ, N.; STANIER, C. Towards differentiating business intelligence, big data, data analytics and knowledge discovery. In: PIAZOLO, F.; GEIST, V.; BREHM, L.; SCHMIDT, R. (ed.). **Innovations in enterprise information systems management and engineering**. Berlin; Heidelberg: Springer, 2017. p. 114-122. (Lecture Notes in Business Information Processing, n. 285). DOI: 10.1007/978-3-319-58801-8\_10.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **AgroAPI**. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 18 jun. 2020.

ETHEREUM. 2019. Disponível em: <https://www.ethereum.org/>. Acesso em: 22 maio 2020.

FISHER, R. A. **Statistical methods for research workers**. 5th ed. Tweeddale Court: Oliver and Boyd, 1934.

FUKUNAGA, K. **Introduction to statistical pattern recognition**. 2nd ed. Boston: Academic Press, 1990. DOI: 10.1016/B978-0-08-047865-4.50007-7.

FUKUNAGA, K.; NARENDRA, P. M. A branch and bound algorithm for computing k-nearest neighbors. **IEEE Transactions on Computers**, v. 100, n. 7, p. 750-753, 1975. DOI: 10.1109/T-C.1975.224297.

GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. **Deep learning**. Cambridge: The MIT Press, 2016.

HAN, J.; KAMBER, M. **Data mining: concepts and techniques**. 2nd ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2006. 770 p.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. **The elements of statistical learning**. New York: Springer, 2009. DOI: 10.1007/978-0-387-84858-7.

HAYES, B. Cloud computing. **Communication of the ACM**, v. 51, n. 7, p. 9-11, Jul 2008. DOI: 10.1145/1364782.1364786.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. **ITU-T Y.2060**. Series y: global information infrastructure, internet protocol aspects and next-generation networks: next generation networks – frameworks and functional architecture models: overview of the Internet of things. 2012. Former ITU-T Y.2060 renumbered as ITU-T Y.4000 on 2016-02-05 without further modification and without being republished. Disponível em: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I>. Acesso em: 17 abr. 2020.

KLIR, G. J.; YUAN, B. **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1995. 574 p.

MACQUEEN, J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: BERKELEY SYMPOSIUM ON MATHEMATICAL STATISTICS AND PROBABILITY, 5., 1967, Oakland.

**Proceedings**. Berkeley: University of California Press, 1967. v. 1, p. 281-297. Disponível em: <https://projecteuclid.org/euclid.bsm/1200512992>. Acesso em: 17 abr. 2020.

MARBLESTONE, A. H.; WAYNE, G.; KORDING, K. P. Toward an Integration of deep learning and neuroscience. **Frontiers in Computational Neuroscience**, v. 10, n. 94, Sept 2016. DOI: [10.3389/fncom.2016.00094](https://doi.org/10.3389/fncom.2016.00094).

NAKAMOTO, S. **Bitcoin**: a peer-to-peer electronic cash system. 2008. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2020.

NATIONAL INFORMATION STANDARDS ORGANIZATION. **ANSI/NISO Z39.19-2005 (R2010)**: guidelines for the construction, format, and management of monolingual controlled vocabularies. 2010. Disponível em: [https://groups.niso.org/apps/group\\_public/download.php/12591/z39-19-2005r2010.pdf](https://groups.niso.org/apps/group_public/download.php/12591/z39-19-2005r2010.pdf). Acesso em: 18 jun. 2020.

NOY, N. F.; MCGUINNESS, D. L. **Ontology development 101**: a guide to creating your first ontology. 2001. Disponível em: [http://protege.stanford.edu/publications/ontology\\_development/ontology101.pdf](http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.pdf). Acesso em: 17 abr. 2020.

PIRES, M. F.; MEDEIROS, C. M. B.; SILVA, A. B. Modelling geographic information systems using an object oriented framework. In: BAEZA-YATES, R. (ed.). **Computer science 2**. Boston: Springer, 1994. DOI: [10.1007/978-1-4757-9805-0\\_18](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9805-0_18).

QUINLAN, J. R. Induction of decision trees. **Machine Learning**, v. 1, p. 81-106, 1986. DOI: [10.1007/BF00116251](https://doi.org/10.1007/BF00116251).

ROCO, M. C.; BAINBRIDGE, W. S. Overview converging technologies for improving human performance: nanotecnologia, biotecnologia, information technology and cognitive science. In: ROCO, M. C.; BAINBRIDGE, W. S. (ed.). **Converging technologies for improving human performance**. Dordrecht: Springer, 2003. p. 1-27. DOI: [10.1007/978-94-017-0359-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-0359-8_1).

RUSSEL, S.; NORVIG, P. **Artificial intelligence**: a modern approach. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2020.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. 6th ed. Ames: The Iowa State University Press, 1967. 286 p.

SZABOLCSI, R. The birth of the term Robot. **Advances in Military Technology**, v. 9, n. 1, jun. 2014.

TORRES, N. V.; SANTOS, G. The (mathematical) modeling process in biosciences. **Frontiers in Genetics**, v. 6, n. 354, Dec 2015. DOI: [10.3389/fgene.2015.00354](https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00354).

VAPNIK, V. N. **Statistical learning theory**. New York: John Wiley and Sons, 1998.

VAPNIK, V. N. **The nature of statistical learning theory**. New York: Springer-Verlag, 1995. DOI: [10.1007/978-1-4757-2440-0](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2440-0).

WEISER, M. The computer of the 21st Century. **Scientific American**, v. 265, n. 3, Sept. 1991. DOI: [10.1038/scientificamerican0991-94](https://doi.org/10.1038/scientificamerican0991-94).

WHITE, T. **Hadoop**: the definitive guide. Sebastopol: O'Reilly Media, 2012.

WU, X.; KUMAR, V.; QUINLAN, J. R.; GHOSH, J.; YANG, Q.; MOTODA, H.; MCLACHLAN, G. J.; NG, A.; LIU, B.; YU, P. S.; ZHOU, Z.-H.; STEINBACH, M.; HAND, D. J.; STEINBERG, D. Top 10 algorithms in data mining. **Knowledge and Information Systems**, v. 14, n. 1, p. 1-37, Jan 2008. DOI: [10.1007/s10115-007-0114-2](https://doi.org/10.1007/s10115-007-0114-2).

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, June 1965. DOI: [10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).



# Aplicações na agricultura



PARTE **2**



# 3 Modelagem agroambiental e a transformação digital da agricultura

Santiago Vianna Cuadra

Daniel de Castro Victoria

Giampaolo Queiroz Pellegrino

Édson Luis Bolfe

José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro

Eduardo Delgado Assad

Aryeverton Fortes de Oliveira

Maria do Carmo Ramos Fasiaben

Geraldo Bueno Martha Júnior

Mateus Batistella

Luís Gustavo Barioni

Alan Massaru Nakai

Fábio César da Silva

Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura

## 1 Introdução

A agricultura é uma atividade de retornos e riscos significativos, com processos produtivos e negócios cada vez mais beneficiados pela disponibilidade e pelo uso de informações. Dimensões técnicas, econômicas, sociais e ambientais interessam a todos os segmentos do agronegócio, que buscam indicadores confiáveis para operações e negócios. Financiamentos, insumos, contratos de comercialização e de seguros, certificações e processos regulatórios passam a depender do desenvolvimento de sistemas inteligentes e de informações a custos razoáveis, que se tornam essenciais para a competitividade e a sustentabilidade, em uma perspectiva de fortalecimento das cadeias de valor da agricultura.

É inegável, por exemplo, que os elementos decorrentes da instabilidade climática, de ocorrências sanitárias e de oscilações dos mercados e dos ambientes de negócios sobressaem nos resultados da agricultura, e que os dados e informações a eles referentes devem ser investigados de maneira interdisciplinar. Um estudo apoiado pelo Banco Mundial indica que o Brasil perde, anualmente, mais de R\$ 11 bilhões devido a riscos que poderiam ser minimizados (Arias et al., 2015). Em muitas regiões, mais de 60% da variabilidade e do risco de produção agrícola são causados por efeitos climáticos, já que os agricultores exercem pouco ou nenhum controle sobre fenômenos naturais como secas, geadas, ondas de calor, vendavais e granizo (Rossetti, 1998) e são dependentes de informações derivadas de processos analíticos mais complexos para serem capazes de contorná-los.

Para reduzir a exposição aos riscos e garantir maior resiliência<sup>1</sup> dos agroecossistemas, é imprescindível compreender e quantificar os riscos climáticos a que estão sujeitos nas diferentes ecorregiões<sup>2</sup> do Brasil. Essa tarefa é complexa, dada a dimensão continental do país, a diversidade de cultivos agrícolas, de sistemas produção e da oferta de recursos naturais – condições de solo, relevo e clima. Exige o conhecimento especializado sobre o funcionamento dos agroecossistemas e a correta alocação de competências e recursos, sobretudo da Embrapa, considerando sua missão, dimensão e capilaridade. A ciência avança no entendimento desses complexos sistemas biofísicos e econômicos com o uso intensivo de dados associados a robustos sistemas analíticos. Nesse sentido, a formulação de políticas, a criação de incentivos e a regulação das atividades econômicas progressivamente incorporaram avanços e, conseqüentemente, passaram a depender dos novos processos de informação. Medidas de riscos, retornos e impactos produtivos, econômicos, sociais e ambientais tornaram-se um essencial aspecto da inovação que a Embrapa, com suas estruturas, operações, equipes e produção de conhecimento, promove na agricultura digital, também chamada de agricultura 4.0.

Lidar com essa complexidade exige a capacidade de processamento de um grande conjunto de dados e informações para a geração de conhecimento e suporte à tomada de decisões mais embasadas e, conseqüentemente, mais acertadas. Para isso, é necessário um grande investimento em tecnologia da informação, garantindo a coleta de dados básicos e primários, usando

---

<sup>1</sup> Resiliência, para a agricultura, pode ser compreendida como a capacidade dos sistemas produtivos de conviver com as variabilidades e os riscos, seja através da melhor seleção de épocas de plantio, cultivares e uso de tecnologias para combate às adversidades (irrigação, uso de defensivos etc.) ou de mecanismos financeiros para absorver os choques causados por efeitos adversos.

<sup>2</sup> Ecorregiões são unidades geográficas com características físicas e biológicas semelhantes, cujos limites são definidos com base em características abióticas (altitude, relevo, solo, geologia, precipitação, ciclo de inundação, efeitos das marés) e bióticas (grupos de plantas e animais presentes).

sensores em campo e remotos; o armazenamento, a organização, o acesso e a interoperação de várias bases de dados; e o desenvolvimento e a adaptação de poderosas ferramentas de processamento e análise de grande volume de dados. Assim, são geradas e divulgadas informações e conhecimentos de forma adequada e compreensível a seus diversos públicos. O avanço das tecnologias de informação e comunicação (TIC) deve contribuir ainda mais para desenvolver conhecimento, políticas públicas e investimentos em uma agricultura altamente tecnicizada e lastreada por conhecimento científico, independentemente de sua escala.

Nesse sentido, a Embrapa Informática Agropecuária investe na geração de soluções baseadas no desenvolvimento e na aplicação de modelos agroambientais, estabelecendo o Grupo de Pesquisa em Modelagem Agroambiental, em que profissionais com competências interdisciplinares têm contribuído para o desenvolvimento de pesquisas, processos, produtos e serviços relacionados à compreensão e à quantificação das interações entre solo-planta-animal-atmosfera. Outra dimensão estratégica da atuação da Unidade consiste em fomentar a sinergia e o trabalho em rede com outras Unidades da Embrapa, universidades e instituições de pesquisa nacionais e internacionais. Ao gerar dados e informações espacialmente explícitas para apoiar a estabilidade e o aumento da produtividade agrícola e diminuir o uso de recursos naturais, a modelagem agroambiental também contribui para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para 2030 (Nações Unidas, 2015) – especialmente no ODS 02 - *Fome Zero e Agricultura Sustentável*, no ODS 12 - *Consumo e Produção Responsáveis*, e no ODS 13 - *Ação Contra a Mudança do Clima*.

Este capítulo apresenta um breve histórico da modelagem agroambiental e de sua importância como elemento essencial da transformação digital da agricultura, sobretudo no que se refere ao planejamento rural e à tomada de decisão estratégica e gerencial nos setores público e privado. Alguns dos conhecimentos e dos produtos gerados são sumarizados ressaltando as contribuições diretas da Embrapa Informática Agropecuária. Destaca-se, ainda, o apoio que a Unidade oferece ao desenvolvimento de soluções perante os desafios e os riscos impostos pela variabilidade histórica e pelas mudanças do clima, bem como ao entendimento das sinergias entre a produção e os serviços ecossistêmicos.

## 2 Evolução da modelagem agroambiental

A modelagem de sistemas agropecuários começou a florescer a partir de meados do século XX, tendo como marcos importantes as contribuições em programação linear e em modelagem econômica de sistemas agropecuários.



Naquela época, os modelos ainda exploravam de modo mais limitado os componentes do sistema agropecuário e suas interações. A partir dos anos 1960 foram desenvolvidos muitos modelos com foco na previsão e na avaliação do desempenho de sistemas agropecuários em resposta às alterações em seus componentes e interações (Jones et al., 2017).

Nas décadas de 1980 e 1990, a modelagem de sistemas agropecuários passou a ser utilizada, progressivamente, para ampliar os conhecimentos sobre aspectos fundamentais do funcionamento do sistema solo-planta-animal-atmosfera, possibilitando simular as variações do estado do sistema, de seus componentes e suas interações, em diferentes escalas espaço-temporais. Tal evolução possibilitou a incorporação de processos físicos (como balanço de absorção de radiação pela vegetação e movimento de água no solo), biofísicos (como os processos de fotossíntese e crescimento das plantas), biogeoquímicos (como o ciclo de carbono no solo) dentro de um único modelo de simulação numérica. Concomitantemente, o desenvolvimento de modelos numéricos pela comunidade de agrometeorologia cresceu significativamente, com o surgimento de vários softwares que incluem modelos para simular o desenvolvimento e o crescimento das culturas agrícolas. A partir dessas análises, os modelos passaram a fornecer elementos importantes para apoiar a previsão sobre respostas potenciais do sistema agrícola frente a alterações nas condições do ambiente, do sistema de produção e do manejo empregado. Portanto, a modelagem agroambiental destaca-se como uma ferramenta para avaliar as respostas da produtividade agrícola às condições climáticas por meio do uso de modelos estatísticos empíricos e modelos baseados em processos biofísicos e socioeconômicos, que simulam a produtividade agrícola e suas interações com o ambiente e práticas de manejo (Jones et al., 2017). Os modelos empregados utilizam formulações matemáticas para representar o funcionamento dos sistemas naturais, seja simulando o crescimento de uma planta em condições meteorológicas específicas, a necessidade de suplementação alimentar para o gado ou outro processo que se queira avaliar.

A ampliação do conhecimento trazida pela modelagem sobre as múltiplas facetas dos sistemas agropecuários e seus componentes passou a apoiar mais extensivamente a tomada de decisão nas propriedades rurais e junto aos formuladores e tomadores de decisões na esfera política. Hoje esses modelos são amplamente empregados em agricultura de precisão, manejo de irrigação, manejo da fertilidade do solo, melhoramento genético das plantas, monitoramento e previsão de rendimento para o manejo de culturas, seguro agrícola, avaliação de impactos e adaptação à mudança climática, quantificação do sequestro de carbono no solo, impactos ambientais de mudanças na cobertura e uso da terra, previsão da produção das safras agrícolas e avaliações de risco de doenças.

### 3 Produtos de modelagem agroambiental para o suporte à tomada de decisão

Diversas tecnologias e produtos que fazem uso da modelagem agroambiental aplicada ao planejamento rural têm sido desenvolvidas, direta ou indiretamente, pelo Grupo de Pesquisa em Modelagem Agroambiental, com os principais eixos de atuação apresentados a seguir. Esses trabalhos podem ser agrupados em quatro vertentes centrais: i) obtenção, organização, armazenamento e distribuição de dados básicos para a modelagem agroambiental; ii) quantificação e análise dos riscos climáticos e resiliência dos sistemas agrícolas; iii) produtos para suporte ao planejamento territorial; e iv) integração de análises socioeconômicas na modelagem agroambiental. Embora essas vertentes sejam apresentadas de forma separada, para que sejam evidenciadas e especificadas, elas se complementam e em vários momentos se fundem no desenvolvimento das análises, na modelagem e na simulação para a geração do conhecimento e dos produtos aplicados ao planejamento rural de forma integrada.

#### 3.1 Bases de dados para a pesquisa agrícola e ambiental

Um dos pré-requisitos para o uso de modelos é a obtenção, o armazenamento, o uso e a distribuição de dados agrometeorológicos. Estes devem ser adequados ao propósito que serão empregados, com as devidas coberturas espaciais e temporais, bem como de qualidade conhecida. Os dados climáticos são imprescindíveis para a modelagem agroambiental. Dessa forma, são desenvolvidas ferramentas voltadas para aquisição, armazenamento, processamento e disponibilização de dados agrometeorológicos para o Brasil.

#### Agritempo

O Agritempo<sup>3</sup>, disponível em portal e por meio dos aplicativos móveis Agritempo mobile e Agritempo GIS, vem oferecendo gratuitamente dados agrometeorológicos para apoiar as atividades agrícolas tanto no âmbito da propriedade rural, pela redução de riscos relacionados ao clima e ao tempo, quanto no suporte a políticas públicas, permitindo ações on-line de monitoramento agrometeorológico.

A principal inovação oferecida pelo sistema refere-se à automação de tarefas, permitida pelo uso das TIC, em que todo o processo de recebimento de dados, incorporação na base e construção de mapas ocorre automaticamente, realizado pelo sistema, sem intervenção humana. Isso proporciona maior rapidez e precisão, além de oferecer maior qualidade à própria base de

---

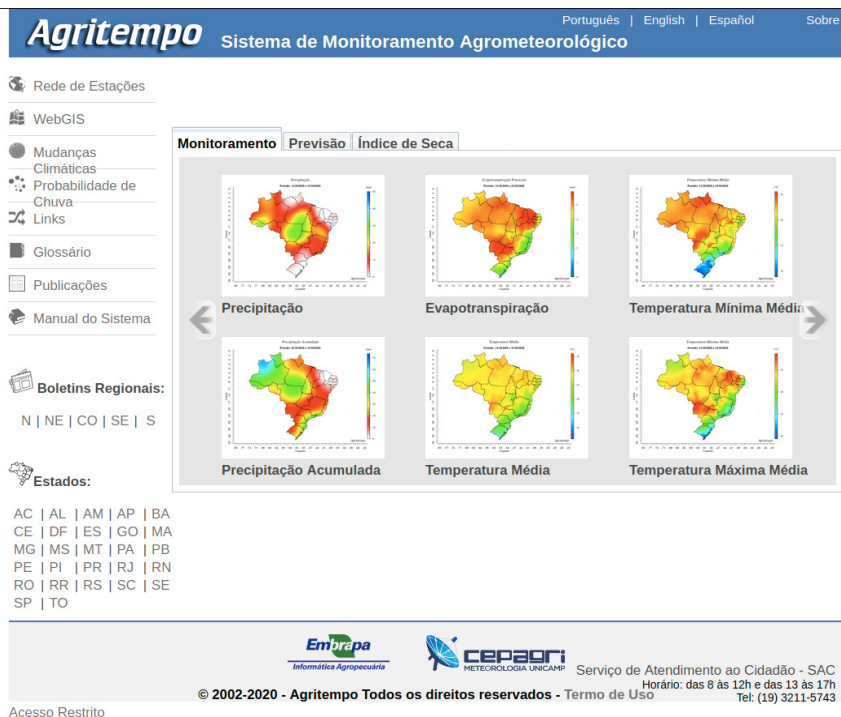
<sup>3</sup> Disponível em: <http://www.agritempo.br>



dados, já que o sistema efetua automaticamente testes nas variáveis coletadas (Alencar et al., 2016).

O Agritempo mobiliza uma rede colaborativa com 40 instituições, envolvendo intercâmbio de dados meteorológicos, ações de pesquisa em agrometeorologia, geração de novas tecnologias como módulos e funcionalidades do sistema e disponibilização de informações como estudos e publicações científicas. O sistema organiza e administra um conjunto de mais de 1.600 estações meteorológicas, número esse em constante expansão. Também contém uma base de dados de pelo menos dez anos de imagens de satélites que podem ser usadas para auxiliar pesquisas em agrometeorologia.

Somente em 2019, o portal do Agritempo (Figura 1) teve 180.950 acessos, e os aplicativos móveis Agritempo mobile e o Agritempo GIS registraram, cada um, mais de 10 mil instalações, mostrando a demanda e a transferência das informações contidas nesses sistemas.



**Figura 1.** Interface do sistema Agritempo – versão 2.0.

Fonte: Agritempo (2020)

## Conprees

Atualmente, a Embrapa Informática Agropecuária conta com sistemas de integração de dados meteorológicos e de sensoriamento remoto de diversas fontes. No entanto, a baixa densidade de estações meteorológicas em vastas

regiões do país, além de falhas inerentes à operação e à manutenção das estações existentes, acarreta ausência de dados confiáveis para muitas regiões produtoras. Mais recente, o CONPREES, acrônimo para dados meteorológicos Consistentes, Preenchidos e Especializados, entrará em fase de testes e operação em 2020. Esse sistema utiliza um número muito maior de fontes de dados provenientes de estações meteorológicas de instituições públicas e privadas, de modelos meteorológicos e de sensoriamento remoto. A partir disso, torna-se possível desenvolver uma base de dados com resolução e precisão suficientes para o monitoramento da ocorrência de eventos adversos e sinistros agrometeorológicos.

A integração de sistemas de monitoramento agrometeorológico e da cobertura vegetal por sensoriamento remoto, como o SATVeg – Sistema de Análise Temporal da Vegetação (detalhamento no capítulo 4), fornecerá informações sobre a biomassa vegetal que permitirão um acompanhamento mais efetivo das áreas monitoradas. Enquanto o acompanhamento agrometeorológico sistemático permite identificar condições desfavoráveis (baixas temperaturas, veranicos, deficiência hídrica etc.), os índices de vegetação obtidos de imagens de satélite podem indicar condições relacionadas ao manejo, como época de plantio, área plantada e vigor vegetativo. Além disso, os índices de vegetação sintetizam o vigor da vegetação durante o processo de desenvolvimento de uma cultura agrícola, ou seja, também representam as condições agrometeorológicas em uma área cultivada analisada ao longo da safra.

### 3.2 Avaliações de risco e resiliência climática

O clima é o principal fator ambiental associado à variabilidade da produtividade na agricultura. Os riscos climáticos, com potencial de causar perdas significativas ou totais à produção, podem ser divididos em dois grupos: i) relacionados a eventos extremos (baixas e altas temperaturas, chuvas muito intensas, ventos fortes, entre outros); e ii) relacionados a eventos cumulativos (secas prolongadas, temperaturas limitantes ao crescimento por longos períodos etc.).

A adoção de boas práticas de manejo agropecuário é considerada um dos meios mais viáveis de agregar resiliência ao sistema produtivo e diminuir a exposição aos riscos climáticos, possibilitando também reduzir as atuais lacunas de produtividade. Nesse contexto de servir ao planejamento rural e agrícola, a modelagem agroambiental focada em avaliação de risco e promoção da resiliência climática tem sido utilizada tanto em relação aos históricos dos fenômenos meteorológicos no desenvolvimento e na produtividade das culturas agrícolas quanto na simulação de cenários agrícolas futuros, em especial decorrentes das mudanças do clima. Dessa forma, o uso da modelagem pode orientar tanto os temas prioritários de pesquisa e desenvolvimento quanto às práticas a serem adotadas ou intensificadas nos

sistemas de produção, caso se constatem maior risco e vulnerabilidade ou redução da capacidade adaptativa.

### 3.2.1 Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC)

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), regido pelo Programa Nacional do Decreto nº 9.841/2019 da Presidência da República, é um dos mais importantes exemplos de aplicação da modelagem agroambiental para a geração de valor e amplos benefícios sociais, econômicos e ambientais. Trata-se de um produto agrometeorológico que delimita regiões e épocas de plantio de acordo com suas probabilidades de perda de produção causada por eventos meteorológicos adversos. Esses estudos fundamentam-se em uma ampla base de conhecimento, dados agronômicos e meteorológicos e técnicas de modelagem, combinados em sistemas de processamento em larga escala para geração e análise de diversos cenários por cultura, possibilitando uma avaliação dos impactos do clima associados com as características físico-hídricas do solo, os ciclos das culturas, as datas de plantio e a sensibilidade das culturas aos efeitos do clima nos diferentes estágios das plantas, dentre outros fatores (Santos; Martins, 2016). Os resultados traduzem-se em níveis de risco por decêndio de plantio para cada município.

O objetivo do ZARC é prover informações para a gestão de riscos climáticos na propriedade rural, bem como para os gestores públicos (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, Banco Central do Brasil - BCB, Conselho Monetário Nacional - CMN), como suporte na tomada de decisão nos programas de seguro do Governo Federal, como o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro) e o Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR). Essas informações são utilizadas para evitar perdas excessivas com indenizações em áreas ou épocas de alto risco para a agricultura, bem como avaliar soluções para sistemas de produção menos suscetíveis às adversidades climáticas. Para fazer jus ao Proagro ou ao PSR, e assim ter acesso ao Crédito Rural, o produtor deve observar as recomendações do ZARC. Além disso, diversos agentes financeiros do setor privado condicionam a concessão do crédito rural aos indicativos do ZARC.

Na Embrapa Informática Agropecuária fica sediada a infraestrutura de nuvem de processamento, com servidores de grande porte dedicados ao ZARC. Neles é utilizado um sistema de gerenciamento de fluxo de trabalho para automatizar as etapas de pré-processamento (armazenamento e processamento dos dados utilizados pelos modelos agrometeorológicos), processamento (execução das simulações) e pós-processamento (cálculos de probabilidade, visualização dos resultados e processamento dos resultados finais), finalizando com a entrega à Secretaria de Política Agrícola (SPA-MAPA).

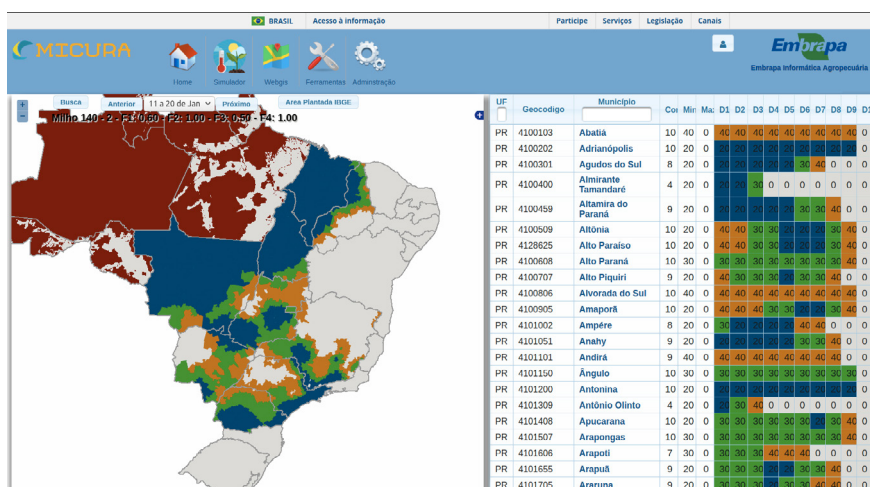
Os resultados gerados são armazenados em bancos de dados, disponíveis às diversas equipes no Brasil através do Micura (Figura 2), disponível

em [www.micura.cnptia.embrapa.br](http://www.micura.cnptia.embrapa.br). Esse sistema possibilita a visualização e a análise dos resultados do ZARC, permitindo que as equipes técnicas realizem validações e investiguem melhores formas de parametrização dos modelos. Após a verificação pelas equipes das culturas agrícolas analisadas, os resultados são apresentados ao público amplo em reuniões de validação em diversos estados do Brasil, por meio do Micura, com a participação de produtores rurais, técnicos, agrônomos, pesquisadores de diferentes instituições, gestores públicos, agentes de financiamento e de seguros e cooperativas. Caso os resultados não sejam aprovados, a equipe identifica e propõe os ajustes necessários e novos cenários são processados e apresentados, até que se obtenham resultados mais coerentes com a realidade do campo.

**Figura 2.**

Visualização de cenário do ZARC no sistema Micura.

Fonte: Micura (2020).

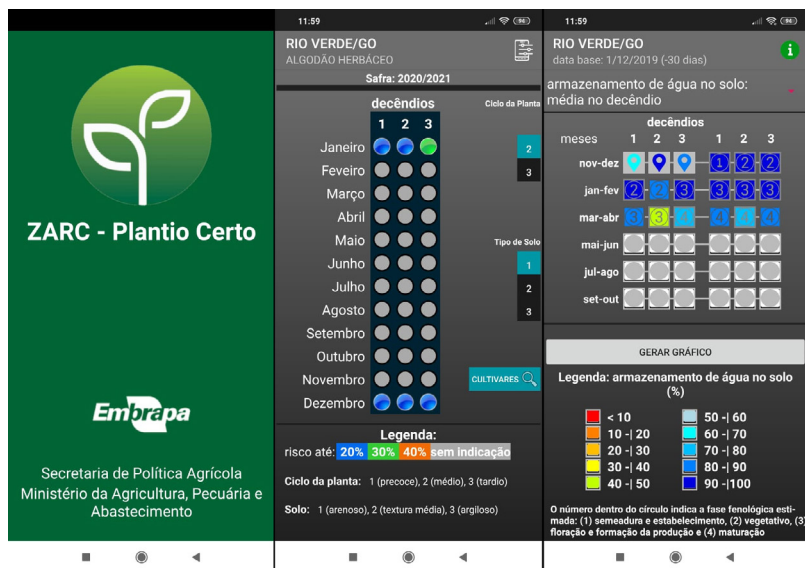


Os resultados são enviados ao MAPA para que este determine as janelas de plantio recomendadas para mais de 44 culturas agrícolas. Essas recomendações são a base dos programas de seguro relacionados ao Governo Federal, como o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (PROAGRO), o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária da Agricultura Familiar (PROAGRO MAIS) e a Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR).

### Plantio Certo

Por se tratar de ferramentas voltadas ao uso acadêmico, os resultados dos modelos muitas vezes carecem de interpretação adequada. Dessa forma, para facilitar o acesso às indicações do ZARC, foi desenvolvido o aplicativo móvel Plantio Certo, disponível na loja de aplicativos da Embrapa em [www.embrapa.br/aplicativos](http://www.embrapa.br/aplicativos). Com ele, agricultores, agentes bancários e pessoas ligadas ao seguro rural conseguem consultar, de forma simplificada, os períodos de plantio recomendados pelo ZARC para diferentes culturas agrícolas em todos

os municípios brasileiros. O aplicativo também permite o monitoramento climático a partir da data de semeadura informada, retornando ao usuário informações de armazenamento de água no solo, precipitação acumulada, número de dias sem chuvas e temperaturas mínima e máxima.



**Figura 3.** Telas do aplicativo Plantio Certo. No exemplo, recomendações de épocas de plantio para algodão herbáceo, no município de Rio Verde (GO), e acompanhamento das condições agrometeorológicas do local.

Fonte: Embrapa (2020)

### 3.2.2 Suporte ao planejamento e ao monitoramento da agropecuária

A disponibilidade de dados de sensores localizados no campo ou de plataformas remotas, com longa série temporal ou obtidos ao longo da safra e prontamente acessíveis à medida que são coletados, abre as oportunidades de monitorar a lavoura em tempo real e melhorar seu manejo. Isso pode ser realizado diretamente a partir dos dados brutos ou de índices derivados de medidas, como medidas de precipitação ou índices de vegetação (ex. SATVeg, descrito no capítulo 4), ou dos resultados de modelos mais complexos, que fazem uso desses dados. O emprego na modelagem pode ser feito de forma direta, em que os dados coletados são utilizados como parâmetros de entrada nos modelos (ex.: dados de temperatura e precipitação em um modelo de balanço hídrico), ou na forma de assimilação de dados, em que os resultados de um modelo são corrigidos ao longo de sua execução, à medida que novas observações de campo são incorporadas.

O auxílio no planejamento da atividade agropecuária e o monitoramento das condições do campo são de interesse tanto dos produtores quanto dos gestores dos mais variados setores, como seguro agrícola, revenda, indústria de processamento, entes governamentais, dentre outros. A Embrapa vem atuando nessa área com ferramentas como o Agritempo e o aplicativo móvel

Plantio Certo, o SATVeg, o Invernada, o WebAgritec, além de outras tecnologias em desenvolvimento.

### Invernada

O Invernada, disponível em [www.invernada.cnptia.embrapa.br](http://www.invernada.cnptia.embrapa.br), é um sistema de apoio ao planejamento da produção de bovinos de corte. Incorpora um banco de dados climáticos e de composição nutricional de pastagens e alimentos suplementares. Possui também modelos dinâmicos de crescimento de pastagens em função do clima e do conteúdo de água no solo, sendo capaz de estimar a distribuição sazonal da produção de forragem. Além disso, leva em consideração a seletividade dos animais em pastejo, o crescimento dos animais e o atendimento ou não das demandas nutricionais. O Invernada incorpora algoritmos para formulação de dietas com várias opções de otimização, sendo utilizado para diferentes aspectos da tomada de decisão na produção, desde o desempenho da pastagem até estratégias de manejo e nutrição dos animais, além de permitir a análise e a comparação de diferentes cenários.

### WebAgritec

O WebAgritec disponibiliza, na forma de um website ou de um conjunto de APIs (*Application Programming Interface*), vários sistemas desenvolvidos na Embrapa Informática Agropecuária. As APIs fornecem um conjunto de funções e procedimentos que permitem a outras aplicações de software, internas ou de terceiros, acessar recursos, dados e funcionalidades dos sistemas desenvolvidos pela Embrapa Informática Agropecuária (detalhamento no capítulo 12). Os principais módulos disponíveis para o usuário são: zoneamento agrícola, previsão do tempo, seleção de cultivares, recomendação de adubação e calagem, identificação de doenças de plantas, estimativa da produtividade atingível para as culturas de soja, milho, arroz, feijão e trigo, além de um apoio assessorio com vídeos e recomendações. O módulo de produtividade utiliza dados meteorológicos da safra corrente como entrada em modelos calibrados para diferentes culturas. Dessa forma, o WebAgritec tem como objetivo principal apoiar os serviços de extensão rural no Brasil, sendo utilizado por instituições como as empresas de assistência técnica e extensão rural EMATER-GO e EMATER-MG. Além disso, considerando as funções de penalização de produtividade, o sistema vem sendo utilizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB-MAPA) para auxiliar na previsão de safra.

### 3.2.3 Avaliações de impactos das mudanças climáticas e ações de adaptação da agricultura baseadas em modelos agroambientais

Ao se incorporar as projeções climáticas futuras nos modelos agroambientais, obtidas de cenários projetados por modelos de clima, é possível avaliar o



impacto das mudanças climáticas nas culturas agrícolas. Por exemplo, podem-se aplicar essas projeções nos modelos do ZARC para avaliar se determinada cultura disporá de mais ou menos áreas de baixo risco.

Os impactos correntes e projetados para as próximas décadas são em geral derivados das tendências observadas no presente, que podem ser, por exemplo, derivadas das séries climáticas observadas. Essas projeções são de extrema importância para os produtores rurais e para o planejamento territorial da produção. Já as projeções dos impactos das mudanças climáticas no longo prazo são de extrema importância na definição de políticas públicas, antevendo as tendências e permitindo o planejamento de ações de adaptação e mitigação.

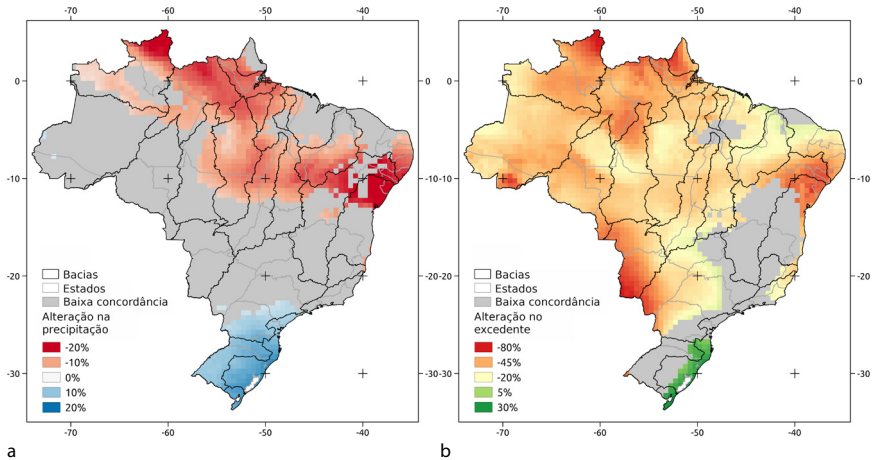
As ações de adaptação em geral buscam a redução da exposição aos riscos projetados ou o aumento da capacidade da resiliência dos sistemas de produção. Já as ações de mitigação têm como principal objetivo a adoção de práticas agrícolas e cultivos que reduzam as emissões ou que aumentem o sequestro de carbono nos sistemas agrícolas. Na agricultura, via de regra, as boas práticas agrícolas que promovem resiliência também apresentam o co-benefício da mitigação das mudanças climáticas, com a redução das emissões e/ou a melhoria do balanço de carbono no sistema agrícola. Nesse contexto, a Embrapa Informática Agropecuária tem dado grande contribuição, através de sua liderança no Portfólio de Mudanças Climáticas da Embrapa, no preparo dos dados e na execução das simulações. Os resultados obtidos vêm servindo de base para importantes políticas públicas, como a definição das linhas estratégicas do Plano ABC e do Plano Nacional de Adaptação - Setor Agricultura.

### Projeções climáticas

Para realizar as avaliações dos impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura, o primeiro passo é o processamento e a análise das projeções climáticas, realizadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês de Intergovernmental Panel on Climate Change) no âmbito global e pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) no contexto nacional. O processamento e tratamento das projeções climáticas é uma tarefa complexa e que demanda alta capacidade de processamento e armazenamento de dados. Atualmente, os cenários climáticos disponibilizados pelo IPCC encontram-se na sua sexta versão. A equipe da Embrapa Informática Agropecuária tem tradicionalmente disponibilizado esses dados para estudos de impactos das mudanças climáticas. Essa etapa envolve não apenas o processamento dos dados, mas sua análise e distribuição para utilização em modelos agroambientais. A Figura 4 apresenta, como exemplo, as alterações esperadas para o balanço hídrico, considerando o resultado das projeções climáticas de 76 realizações de diferentes modelos climáticos.

**Figura 4.**

Alteração na precipitação anual (A) e excedente hídrico (B), resultados da mediana de 76 projeções de modelos climáticos globais. Áreas em cinza indicam menos de 2/3 de concordância entre os modelos.



### Impactos sobre a agricultura

Diversos estudos no Brasil deixam evidente que a concretização dos cenários de mudanças climáticas irá impactar severamente a agricultura brasileira (Assad et al., 2016). Ao contrário das regiões de altas latitudes, as regiões tropicais, exportadoras de commodities agrícolas, deverão experimentar impactos mais severos de mudanças climáticas sobre os rendimentos das culturas agrícolas (Stevanović et al., 2016). O aumento da temperatura média global poderá elevar a ocorrência de estresses térmicos e hídricos e, como consequência, diminuir a produtividade (Zhao et al., 2017). Estima-se que as mudanças climáticas já estejam reduzindo a produção agrícola global de 1 a 5% por década nos últimos 30 anos, e que continuem a representar desafios para as próximas décadas (Challinor et al., 2014).

A Embrapa Informática Agropecuária tem contribuído ativamente na compreensão, na quantificação e na proposição de medidas de adaptação às mudanças climáticas, como exemplo liderando o desenvolvimento do SCenAgri, que já foi utilizado como base de modelagem em alguns estudos no tema (Assad; Pinto, 2008).

### Simulação de cenários agrícolas futuros

O SCenAgri (Simulador de Cenários Agrícolas) é um sistema criado com o objetivo de prover computação de alto desempenho para apoiar os pesquisadores na investigação dos impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira. O sistema foi desenvolvido com base no modelo Bizon (Assad, 1986), e permite simular cenários agrícolas futuros utilizando dados de diversos modelos de projeções climáticas regionalizadas. Sua base inclui mais de 3.000 estações pluviométricas com dados diários de pelo menos 30 anos e está preparada para simular os riscos climáticos para 20 culturas anuais

e perenes. Estão também incorporados ao simulador diversos modelos de projeções futuras do clima, disponibilizados pelos projetos CMIP5 e CMIP6 (*Coupled Model Intercomparison Project Phases 5 e 6*).

### 3.3 Planejamento territorial e uso da terra

Ao pensar em planejamento rural, é essencial compreendermos aspectos do território e suas inter-relações biofísicas e humanas. A integração e a articulação entre as diversas escalas de território e seus atores mostram-se complexas e sensíveis, sendo necessária uma série de considerações preliminares com implicações em âmbito local, municipal e regional. Deve-se levar em consideração que o planejamento rural avançou além do planejamento agrícola e precisa integrar elementos dos diferentes domínios disciplinares. Por exemplo, não considerar apenas a conservação do solo, a irrigação e a drenagem, mas a alocação dos recursos hídricos e o gerenciamento integrado da bacia hidrográfica, envolvendo as populações urbanas e rurais. Deve-se ainda reconhecer a existência de interesses conflitantes e desenvolver processos para lidar com isso.

Nesse sentido, é fundamental a obtenção de dados e informações sociais, econômicas e ambientais para apoiar a tomada de decisão sobre o uso da terra nas diferentes escalas do território. Estudos e aplicação de modelos em bases territoriais permitem a melhor compreensão dos processos de expansão, retração, transição, conversão e intensificação agrícola e podem apoiar as políticas públicas associadas às mudanças climáticas e ao desenvolvimento rural sustentável brasileiro (Bolfé et al., 2016).

Ao aliar à modelagem agroambiental em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) o uso de dados geográficos e de sensoriamento remoto, é possível apoiar o ordenamento territorial a partir de análises espaciais mais complexas, integrando informações de solo, clima, vegetação, agricultura, recursos hídricos e socioeconômicas. Como exemplo, pode-se destacar a geração de modelos e simulações associadas ao potencial de uso das terras, análises e projeções em dinâmica agrícola, zoneamentos agroecológicos e ecológico-econômicos e a avaliações de risco e resiliência climática.

Como na maioria dos produtos e das ferramentas apresentados neste capítulo, essas informações espaciais e temporais apoiam a tomada de decisão gerencial em políticas públicas e ações privadas no planejamento rural de propriedades, microbacias, municípios, estados ou biomas. Dessa forma, favorecem a maior diversificação produtiva e o uso mais sustentável de recursos naturais no meio rural.

#### Agroideal

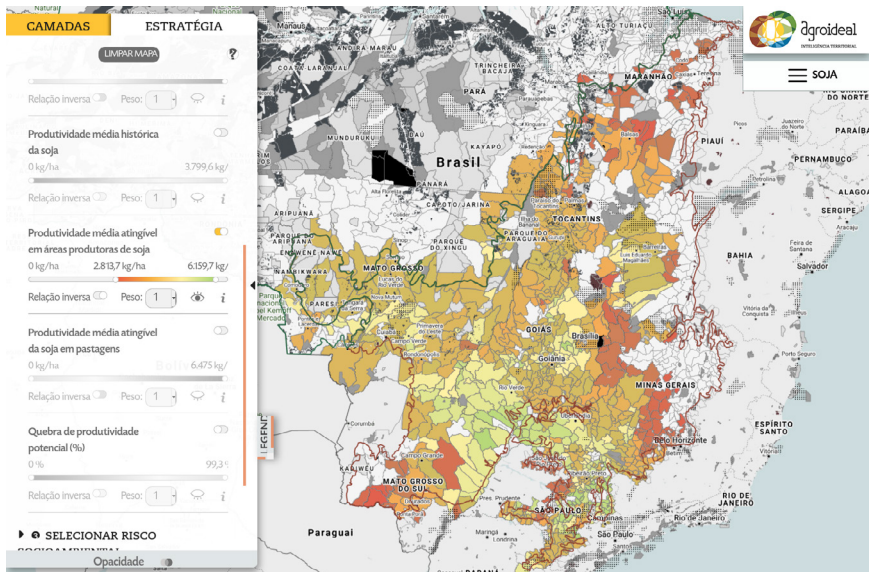
O sistema Agroideal, disponível em [agroideal.org](http://agroideal.org), desenvolvido pela *The Nature Conservancy* (TNC), em parceria com a Embrapa Informática

Agropecuária e empresas comerciais do setor agrícola, representa um exemplo da aplicação de modelos agroambientais na tomada de decisão de ocupação territorial. O Agroideal congrega informações logística (localização de silos de armazenagem), socioeconômica (ocorrência de conflitos de terra) e de legislação ambiental (localização de unidades de conservação) com informações de modelos de crescimento de culturas (produtividade atingível da soja). Dessa forma, o tomador de decisão pode avaliar sua estratégia de atuação, identificando os riscos e as oportunidades das diferentes regiões do Brasil. A estimativa da produtividade atingível de soja (Figura 5) só foi possível graças à organização de uma grande base de dados climáticos englobando todo o território, aliada a um banco de características físico-hídricas dos solos brasileiros, os quais foram utilizados em um modelo de crescimento de culturas agrícolas.

**Figura 5.**

Produtividade média atingível em áreas de produção de soja nos municípios do bioma Cerrado com produtividade atingível acima de 3.000 kg ha<sup>-1</sup>.

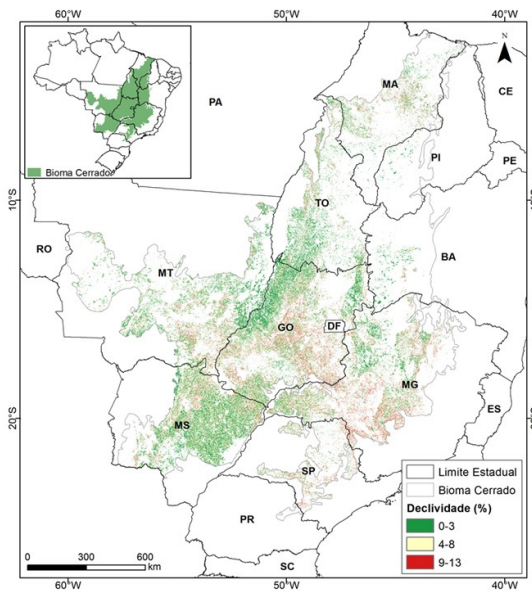
Fonte: Agroideal (2020).



## Dinacer

Outro exemplo de base de dados e informação gerada para o apoio à tomada de decisão pública e privada, que objetiva favorecer o desenvolvimento agrícola em bases geoespaciais de uso da terra, é o Dinacer - Dinâmica Agrícola no Cerrado (Bolfé et al., 2020). Esse bioma possui importância estratégica para os interesses do país no campo da segurança alimentar, da agricultura ambientalmente sustentável e da preservação da biodiversidade. O Dinacer, executado com a colaboração do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

(INPE) e do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), analisou aspectos edafoclimáticos e vegetacionais, políticas públicas, pesquisas, inovações, assistência técnica, dinâmicas agrícolas, produtividade, mudança do clima, projeções e potencialidades para expansão e diversificação agrícola do bioma. As análises consideraram, sempre que possível, o período correspondente às quatro décadas passadas até projeções 20 anos à frente. Uma das análises avaliou o potencial de expansão da agricultura em áreas ocupadas por pastagens cultivadas (Figura 6). Foi identificado que 44,5 milhões de hectares de pastagens apresentam características climáticas e de relevo semelhantes às áreas atualmente ocupadas com agricultura anual de sequeiro (Victoria et al., 2020).



**Figura 6.** Áreas de pastagens cultivadas no bioma Cerrado com potencial para agricultura anual, de acordo com o balanço hídrico, discriminadas em faixas de declividade.

Fonte: Victoria et al. (2020)

### 3.4 Aplicações dos modelos agroambientais para conservação dos serviços ecossistêmicos

Os modelos agroambientais são uma potente ferramenta no planejamento de uma agricultura digital, tecnificada e sedimentada em robusto conhecimento sobre o funcionamento dos agroecossistemas, considerando outras vertentes do relacionamento da agricultura com seu meio de produção, que vão além da geração de alimentos, fibras e energia. Esses aspectos analisam outros benefícios como os impactos dos sistemas agrícolas na manutenção da regulação hídrica (através da avaliação da pegada hídrica), na regulação climática, dentre outros serviços ecossistêmicos usufruídos pela sociedade.

Serviços ecossistêmicos são os benefícios direta e indiretamente apropriados pelo homem a partir do funcionamento de ecossistemas saudáveis.

Sua importância para o sistema econômico e para o bem-estar das gerações futuras é cada vez mais reconhecida, já que fornecem bens (como alimentos) e serviços (como a assimilação de resíduos) indispensáveis.

Segundo Costanza et al. (1997), são exemplos de serviços ecossistêmicos, entre muitos outros: o ciclo de carbono e de nutrientes, o ciclo da água, a formação dos solos, o controle da erosão, a regulação do clima, a conservação e a evolução da biodiversidade, a concentração de minerais, a dispersão ou a assimilação de contaminadores e as diversas formas utilizáveis de energia. Os autores estimaram o valor anual dos fluxos globais de 17 serviços em 16 tipos de ecossistemas. Os resultados mostram que o capital natural do planeta Terra renderia, anualmente, um fluxo médio estimado de US\$ 33 trilhões por ano, cerca de 1,8 vezes superior ao produto bruto mundial à época (US\$ 18 trilhões), a preços de 1994.

A Avaliação Ecológica do Milênio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), conduzida entre 2001 e 2005, teve como objetivo fornecer bases científicas para a gestão sustentável dos ecossistemas, permitindo a provisão contínua dos serviços por eles gerados. Esse trabalho demonstra o reconhecimento, pela comunidade internacional, da necessidade e da urgência de medidas inovadoras para proteger os ecossistemas, dosando a sua preservação com os objetivos de desenvolvimento econômico (Andrade; Fasiaben, 2009).

Apesar da importância dos serviços ecossistêmicos, estes não são atualmente considerados nas transações econômicas, pois são tidos como “gratuitos” ou “presentes” da natureza. O fato de não serem precificados como outros bens ou serviços faz com que não haja incentivos para sua preservação, levando à superexploração e, muitas vezes, à sua perda total (Andrade; Fasiaben, 2009). No entanto, tais serviços e os estoques de capital natural que os produzem são críticos para o suporte da vida na Terra. Eles contribuem para o bem-estar humano, e, portanto, representam parte do valor econômico total do planeta.

À medida que o capital natural e os serviços ecossistêmicos se tornem mais superexplorados e escassos, pode-se esperar que seu valor aumente. Assim, justificam-se plenamente estudos relacionados à sua conservação, buscando garantir a provisão dos serviços ecossistêmicos e o subsídio à formulação de políticas que caminhem nessa direção. Nesse sentido, a modelagem agroambiental prevê instrumentos de suporte à tomada de decisão de agentes públicos e privados.

### WebAmbiente

O WebAmbiente<sup>4</sup>, é um sistema interativo que tem como objetivo facilitar o armazenamento e a busca de informações sobre soluções tecnológicas para uso, recuperação e restauração de ambientes em áreas de reserva legal

---

<sup>4</sup> Disponível em: [www.webambiente.gov.br](http://www.webambiente.gov.br)



e de preservação permanente nos seis biomas. O sistema foi desenvolvido pela Embrapa e pela Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável do Ministério do Meio Ambiente (MMA), em cooperação com especialistas de instituições parceiras. Nele é disponibilizado aos agentes multiplicadores da Assistência técnica e extensão rural (Ater) um conjunto de informações voltadas à recuperação ambiental, em especial um detalhado banco de dados sobre espécies nativas, além de artigos, vídeos e glossário que abordam diversos temas e técnicas, como coleta de sementes, produção de mudas, estratégias de plantio e de restauração ecológica. O sistema fornece ao usuário uma ferramenta amigável que auxilia a geração de um relatório contendo sugestões de espécies nativas (Figura 7), estratégias de recomposição e boas práticas a serem adotadas a partir da caracterização da propriedade rural em termos do bioma, da vegetação anterior, do solo e das condições de risco. O WebAmbiente, alinhado ao Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (Sicar), amplia a integração com o Serviço Florestal Brasileiro (SFB),

**WebAmbiente**

Home | Simulador | Estratégias | Espécies | Biblioteca Digital | Glossário | Perguntas Frequentes | Entrar | Fale conosco

[< Voltar](#)

## Acrocomia aculeata (Jacq) Lodd. ex Mart.

**Identificação**

**Espécie:** *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. ex Mart.

**Nome Popular:** Bocaiuva, Macaúba, Coco-babão, Coco-babosa, Coco-macaúba, Coqueiro-de-espinho, Macajuba, Macaibeira, Palmeira-macaúva, Coquinho

**Sinonímia:** *Cocos aculeata* Jacq.

**Família:** Arecaceae

**Bioma:** Amazônia, Cerrado, Pantanal

**Formação Vegetal:** Campestre, Florestal, Savânica

**Fitofisionomias:** Campo não Inundável, Cerrado Típico, Cerradão, Chaco, Mata Ciliar, Mata Ripária, Mata Seca, Mata Seca (decidua), Mata Semidecídua, Mata de Galeria, Palmeiral, Savana, Terra Firme

**Presença nos estados:** BA, CE, DF, ES, GO, MA, MG, MS, MT, PA, PE, PI, PR, RJ, RO, RR, SP, TO

**Área de Ocorrência**

Google Maps

Indivíduo  
Autor: Iria Ishii

**Produção de Mudas**

**Período de coleta de sementes:** Cerrado - ago-fev ; Pantanal - ago-dez; Amazônia - set-jan

**Figura 7.** Catálogo de plantas nativas do WebAmbiente.

Fonte: WebAmbiente (2020).

sendo uma das suas principais funções apoiar a implementação do novo Código Florestal, ao estimular o uso do Cadastro Ambiental Rural (CAR).

## Recursos hídricos

Apesar de o Brasil ser considerado um país com grande disponibilidade de recursos hídricos, existem diferenças regionais e variações ao longo do ano que fazem com que seja importante estudar seus regimes hidrológicos. Ações humanas, como alterações do uso e cobertura da terra, e oscilações nos padrões climáticos podem afetar a disponibilidade dos recursos hídricos, alterando a vazão natural nos cursos d'água. Essas alterações podem afetar a vazão tanto em pequenas bacias (Bosch; Hewlett, 1982) quanto em grandes áreas (Costa et al., 2003). O mesmo se aplica aos diferentes sistemas de cultivo e culturas agrícolas, com características distintas quanto à interceptação da chuva e de água no solo. Tais alterações podem modificar o total e a taxa de transformação da chuva em vazão, em geral incrementando a porção escoada para os corpos hídricos quando da alteração antrópica (Lima et al., 2014).

Nesse sentido, modelos biofísicos acoplados a modelos hidrológicos permitem avaliar os impactos de ações humanas ou mudanças climáticas nos recursos hídricos. Tais modelos variam em seu grau de complexidade, podendo ser aplicados nas mais diferentes escalas e situações. Como exemplo, pode-se citar a integração dos resultados do balanço hídrico com modelos econômicos de equilíbrio geral, permitindo avaliar os efeitos da expansão da irrigação na demanda hídrica frente à oferta de água (Ferrarini et al., 2020)

## Integração de análises socioeconômicas na modelagem agroambiental

Projetos executados em parceria com outras unidades da empresa<sup>5</sup> e com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) trabalharam no sentido de melhorar o retrato da produção agropecuária brasileira. Dados do Censo Agropecuário do IBGE serviram de base para diferenciar os tipos de sistemas de produção de bovinos de corte e de cana-de-açúcar em uso pelos produtores ao longo do território nacional. A partir desses trabalhos foram escolhidos os tipos de sistemas de produção mais representativos para serem estudados de forma mais aprofundada. A equipe do projeto realizou reuniões com produtores, técnicos e outros agentes ligados à agropecuária regional, nas quais aprofundaram a descrição do comportamento técnico e econômico desses produtos nas propriedades rurais. As informações levantadas permitiram, ademais, associar as diferentes formas de produção com os impactos ambientais, como o cálculo das emissões de gases de efeito estufa.

---

<sup>5</sup> Projeto Siscana, Plano de Ação de Socioeconomia: Embrapa Meio Ambiente, Embrapa Agropecuária Oeste, Embrapa Tabuleiros Costeiros; Projeto Componente de Economia da Rede PECUS: Embrapa Gado de Corte, Embrapa Gado de Leite, Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Pantanal, Embrapa Pecuária Sudeste, Embrapa Pecuária Sul, Embrapa Florestas e Embrapa Suínos e Aves.

Os resultados obtidos foram incorporados a modelos matemáticos de uso da terra – que explicam como se dá a expansão da atividade –, e foram a base para a construção de Inventários de Ciclo de Vida (ICV), que resultaram em estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) de cana-de-açúcar e derivados da produção pecuária. Tais trabalhos contribuem para a melhoria do desempenho ambiental de produtos, possibilitando a redução de impactos ambientais e socioeconômicos. Os coeficientes técnicos gerados contribuíram com os resultados de diversos projetos da Embrapa junto a diferentes parceiros<sup>6</sup>, além de colaborar com a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio).

Como resultado têm-se informações mais fidedignas do desempenho ambiental de produtos agrícolas brasileiros. Essas informações foram inseridas pela Embrapa no mais importante banco internacional de ICV, o ecoinvent, disponível em [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org), por meio do ICVAgroBR, que disponibilizou mais de 400 ICV de produtos agrícolas brasileiros. Tais ações concorrem para o aumento da competitividade dos produtos agrícolas no mercado internacional e para a promoção da sustentabilidade da agricultura brasileira.

A caracterização dos sistemas de produção de cana-de-açúcar foi adotada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) no âmbito do financiamento de Usinas Flex e pelo RenovaBio. A ferramenta para a contabilidade da pegada de carbono de biocombustíveis, RenovaCalc, um dos pilares do RenovaBio, foi desenvolvida pela Embrapa e parceiros. Essa política contribui fortemente para a adoção de um modelo mais sustentável de produção de bioenergia e biocombustíveis e para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) do setor de transportes, colaborando para o atingimento das metas nacionais assumidas no Acordo do Clima de Paris de 2015, bem como para a segurança energética nacional.

Uma outra vertente dos trabalhos da equipe vale-se de modelos que integram as dimensões biológica e econômica, com diferentes graus de complexidade e recortes regionais, para avaliar os efeitos de estratégias de intensificação sobre a sustentabilidade. Mais recentemente, modelos econômicos mais complexos têm sido desenvolvidos, com o objetivo de investigar os impactos potenciais de choques de oferta, como ganhos de produtividade, e de demanda, como aumento da população e da renda *per capita*, sobre mudanças na agricultura brasileira e global, como preços de equilíbrio e dinâmica de uso da terra. Desse modo, amplia-se a capacidade para se

---

<sup>6</sup> Entre tais projetos, podem-se destacar: “Avaliação do Ciclo de Vida da cana-de-açúcar e seus derivados produzidos no Centro-Sul brasileiro, baseada em dados, fatores e modelos adaptados às condições nacionais” (ACV-cana, Embrapa); “A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política” (BNDES) - <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2496>; “Inventários de Ciclo de Vida de produtos agrícolas brasileiros: uma contribuição ao banco de dados ecoinvent” (ICVAgroBR, SECO, Suíça).

investigar cenários futuros de expansão, competitividade e sustentabilidade para a agropecuária brasileira, bem como os impactos potenciais de algumas das políticas públicas de interesse setorial.

### Aplicações para quantificação e estratégias de mitigação das emissões de GEE

Apesar de afetada pelas mudanças climáticas, a agropecuária poderá contribuir para a redução das emissões de GEE e a atenuação dos impactos da mudança do clima. Isso porque as ações de mitigação propostas para o setor também servem como formas de adaptação, ou seja, ao fomentar maior sequestro de carbono, elas também trazem como resultado menores perdas de nutrientes nos agroecossistemas e melhoria da estrutura física e da disponibilidade de água no solo, por exemplo. Portanto, tais ações também promovem melhores índices de produtividade e melhor uso dos recursos naturais. A mitigação das emissões resulta em balanços de GEE mais favoráveis, ajudando na transição para uma produção agropecuária de baixa emissão.

Na definição das tecnologias constantes do Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) aplicaram-se estimativas do balanço do carbono apoiadas na diferença entre emissões e sequestro nos sistemas de produção a partir de dados derivados de experimentos realizados pela Embrapa e uso de modelos simplificados para o cômputo de quanto se poderia tornar esse balanço mais favorável, com a adoção de boas práticas ou tecnologias estimuladas pelo Plano, em relação ao que se faz tradicionalmente no manejo dos sistemas agrícolas, pecuários e florestais. No jargão técnico, essa melhoria do balanço em relação ao que se costuma fazer, i.e., do *business as usual*, é chamada de adicionalidade. Focando na garantia da sustentabilidade na agricultura em todas as suas vertentes, foram consideradas apenas tecnologias e práticas adaptadoras, que além de apresentarem adicionalidade trazem maior eficiência, diversificação ou rentabilidade para o agricultor, aliadas a esse cobenefício da redução das emissões.

Estudos mais complexos sobre o balanço de carbono em sistemas agrícolas, pecuários e florestais, incluindo os sistemas integrados, foram realizados pelos projetos Fluxus, Pecu e Saltus, respectivamente. Estes permitiram aprimorar os modelos de balanço de carbono nos sistemas de produção brasileiros, o conhecimento sobre a emissão de GEE desses sistemas e sua aplicação no inventário nacional de gases para o setor agrícola, que faz parte da comunicação nacional à ONU e que contém um balanço nacional de quanto se emite no setor.

Como forma de monitoramento da efetividade do Plano ABC e suas ações, criou-se a Plataforma Multi-institucional de Monitoramento das Reduções de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Agropecuária. A Plataforma ABC utiliza modelos baseados em dados georreferenciados e parâmetros sobre

as emissões de GEE dos diferentes sistemas de produção para estimar as reduções de emissões durante os dez primeiros anos de vigência do Plano ABC, possibilitando avaliar o cumprimento das metas estabelecidas para suas diferentes tecnologias. Outra ferramenta que contribui nesse sentido são os protocolos para estimativas de balanço de GEE (do inglês, *GHG Protocol*), internacionalmente aceitos como as melhores práticas para a quantificação das emissões de GEE corporativas, de projetos ou de produtos. Esses protocolos procuram oferecer diretrizes técnicas específicas para o setor agrícola nacional, constituindo-se em ferramentas para mensurar e gerir as emissões agrícolas, sobretudo no setor privado, a exemplo do programa implementado pela WRI Brazil<sup>7</sup>.

O **GHG Protocol** vem sendo utilizado no projeto Carbono Araguaia, abrigado pela Liga do Araguaia<sup>8</sup>. A ferramenta foi adaptada ao contexto nacional a partir de parâmetros da agricultura e da pecuária tropicais, desenvolvidos pela Embrapa e pela Unicamp, e permite o monitoramento da redução de emissões de GEE resultantes da adoção de práticas de intensificação em 24 fazendas de pecuária da região, totalizando 89.000 hectares de pastagens.

Para a cadeia dos biocombustíveis, a modelagem contribui significativamente por meio do desenvolvimento da *RenovaCalc*<sup>9</sup>, em parceria com a Embrapa Meio Ambiente. A *RenovaCalc* é uma calculadora da pegada de carbono dos biocombustíveis, ou seja, da intensidade de emissões de GEE no ciclo de vida de biocombustíveis, e permite gerar as estimativas necessárias para o mercado de carbono relacionado ao etanol, ao biodiesel, ao biometano e à bioquerosene de aviação.

Outro bom exemplo prático dessa derivação da modelagem agroambiental é o esforço no sentido de estimar, monitorar, melhor comunicar e destacar boas práticas no setor da carne que estejam de acordo com as recomendações do IPCC e com a legislação socioambiental brasileira e internacional. Trata-se do desenvolvimento de padrões para uma certificação voluntária de produtos pecuários, a Plataforma Pecuária de Baixo Carbono Certificada, liderada pela Embrapa Gado de Corte e com significativa participação de pesquisadores da Embrapa Informática Agropecuária. Está alinhada ao Plano ABC, pois estimula e valoriza o uso de sistemas pecuários com um balanço de carbono mais favorável, como sistemas de ILP, ILPF, silvipastoris e pastagens intensificadas, possuindo os seguintes protocolos: Carne Carbono Neutro (CCN) ou *Carbon Neutral Brazilian Beef* (CNBB), Carne Baixo Carbono (CBC) ou

<sup>7</sup> Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/o-que-fazemos/projetos/ghg-protocolo-agropecuário>

<sup>8</sup> Disponível em: <http://www.ligadoaraguaia.com.br/projetos-da-liga/>

<sup>9</sup> Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/renovabio/renovacalc>

*Low Carbon Brazilian Beef* (LCBB), Carbono Nativo (CN), Bezerra Baixo Carbono (Bezerra-CN) e Couro Carbono Neutro (Couro-CN). O protocolo desenvolvido pela Embrapa permite a parceiros o uso das respectivas marcas-conceito – de maneira simplificada, “selos ambientais” – em suas atividades. Essa certificação permitirá que os consumidores compreendam e reconheçam os esforços de produção dos agricultores para promover sistemas agrícolas sustentáveis, com baixa emissão de GEE e que reforçam a estratégia de uma abordagem integrada da paisagem. Outro ponto importante é a dissociação do desmatamento e a diferenciação da carne produzida pelo Brasil com sustentabilidade, melhorando a visão e a aceitação internacional da carne brasileira num mercado internacional, em que o país é altamente competitivo.

Outra importante iniciativa para apoio à formulação de políticas públicas brasileiras para mitigação das emissões de GEE foi o desenvolvimento do modelo EAGGLE (*Economic Analysis of Greenhouse Gases for Livestock Emissions*). Trata-se de um modelo de otimização detalhado que avalia economicamente estratégias de recuperação de pastagens e mitigação de GEE em sistemas de produção de gado de corte (De Oliveira Silva et al., 2017). Desenvolvido em parceria entre Embrapa, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e Universidade de Edimburgo, o modelo explora cenários mais complexos focados no melhor aproveitamento sustentável da área de produção por meio do aumento da produtividade e da diversidade de técnicas e produtos, ou, no jargão mais técnico, intensificação sustentável da produção animal. Ademais, permite analisar a otimização da taxa de adoção das principais práticas relacionadas à eficiência do desempenho animal (suplementação de pastagem, confinamento) e da pastagem (restauração direta e indireta, irrigação), para mitigação de emissões e economia de terras. Foi usado pelo governo brasileiro para desenvolver políticas nacionais voltadas às ações de mitigação de emissões, particularmente na submissão da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em inglês) (De Oliveira Silva et al., 2018), documento que registra os principais compromissos e contribuições do Brasil para o acordo climático de Paris, e também para a análise consequencial da intensificação da produção de carne no Brasil (De Oliveira Silva et al., 2016).

Todas essas iniciativas têm sido realizadas com a forte colaboração do Grupo de Pesquisa em Modelagem Agroambiental e, também, da presidência do Portfólio de Mudanças Climáticas da Embrapa, sob responsabilidade da Embrapa Informática Agropecuária. Elas representam a contribuição da Embrapa no atendimento de diversas demandas da sociedade no que se refere à interface mudanças climáticas e agricultura, com o uso de ferramentas de simulação para vislumbrar e influenciar, positivamente, as tendências para a agricultura no clima futuro.



## 4 Considerações finais

Modelos e simuladores capazes de retratar com acurácia e precisão as respostas dos agroecossistemas demandam dados em quantidade e qualidade para sua calibração, validação e para a fusão entre modelos e dados. Nessa “era big data”, os dados derivados de estações experimentais, fundamentais para direcionar o desenvolvimento de modelos e simuladores, devem ser complementados pela massiva coleta de dados no campo. Obviamente essa maior capacidade de coleta de dados deve vir acompanhada de capacidade compatível de transferência (*IoT*, computação nas nuvens) e armazenamento (*big data*). E uma vez que se tenha dados em quantidade e qualidade adequadas, os algoritmos e as ferramentas de análise podem ser aperfeiçoados e/ou desenvolvidos, testados, validados e disponibilizados como parte da melhoria no processo de tomada de decisão no âmbito dos estabelecimentos agropecuários, das cadeias produtivas e também na formulação de políticas públicas.

Um dos grandes desafios da era digital é a integração eficiente de dados, informações e conhecimento em modelos e algoritmos. Essa contínua incorporação de novos conhecimentos a modelos matemáticos e algoritmos para assimilação de dados, análises de decisão e otimização, e o uso integrado de dados espaciais multifontes e multitemporais por meio da modelagem agroambiental são essenciais para promover a competitividade e o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira. É necessário intensificar as parcerias público-privadas de modo a possibilitar massiva coleta de dados, no espaço e no tempo, e avanços mais rápidos na pesquisa para assimilação dessas medidas, gerando assim análises, produtos e serviços que possam ser utilizados pelos produtores rurais e pelos tomadores de decisão nas esferas pública e privada.

A eficiência e a sustentabilidade serão demandadas aos produtores de forma crescente, em face do aumento do custo de produção e das demandas não apenas de produtos agropecuários, mas também de serviços ambientais e ecossistêmicos a eles associados. Empresas e prestadores de serviços deverão estar mais interligados nos ecossistemas de inovação via institutos de pesquisa, universidades e extensão rural. Os mercados consumidores, nacionais e internacionais, tendem a demandar cada vez mais alimentos, fibras e energia com certificações que garantam, além da qualidade, a produção sustentável. Portanto, soluções tecnológicas digitais que integrem um amplo espectro de conhecimento serão fundamentais para orientar os diversos atores do agronegócio brasileiro.

Como se exemplificou ao longo de todo este capítulo, a Embrapa Informática Agropecuária tem se empenhado no desenvolvimento direto e no apoio ao desenvolvimento de novas tecnologias, e também em tornar essa tecnologia acessível e capaz de levar inovação a toda a sociedade, potencial usuária da agricultura digital num futuro muito próximo.

## 5 Referências

AGRITEMPO. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>. Acesso em: 25 maio 2020.

AGROIDEAL. Disponível em: <https://www.agroideal.org/>. Acesso em: 25 maio 2020.

ALENCAR, J. R.; ROMANI, L. A. S.; MERLO, T. P.; EVANGELISTA, S. R. M.; OTAVIAN, A. F. Avaliação dos impactos do uso do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo). **Revista de Política Agrícola**, ano 25, n. 1, p. 5-19, jan./fev./mar. 2016.

ANDRADE, C. A.; FASIABEN, M. do C. R. A utilização dos instrumentos de política ambiental para a preservação do meio ambiente: o caso dos Pagamentos por Serviços Ecosistêmicos (PSE). **Economia Ensaios**, v. 24, n. 1, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/23981/1/2223-29258-1-PB-1.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2020.

ARIAS, D.; MENDES, P.; ABEL, P. **Revisão rápida e integrada da gestão de riscos agropecuários no Brasil**. Brasília, DF: Banco Mundial, 2015. 76 p.

ASSAD, E. D. **Simulation de l'irrigation et du drainage pour les cultures pluviales de riz et de mas en sols de bas-fonds à Brasília**. Montpellier: IRAT, 1986. 10 p. (IRAT. Memories et travaux, 13).

ASSAD, E. D.; OLIVEIRA, A. F. de; NAKAI, A. M.; PAVÃO, E.; PELLEGRINO, G. Q.; MONTEIRO, J. E. B. de A. Impactos e vulnerabilidades da agricultura brasileira às mudanças climáticas. In: **MODELAGEM climática e vulnerabilidades setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. p. 127-188.

ASSAD, E.; PINTO, H. S. (coord.). **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. São Paulo: Embrapa: Unicamp, 2008.

BOLFE, E. L.; LOPES, D. B.; CONTINI, E. Territórios & políticas públicas rurais. **Clima com Cultura Científica**, v. 3, p. 1-15, 2016.

BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (ed.). **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, 308 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212381/1/LV-DINAMICA-AGRICOLA-CERRADO-2020.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2020.

BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v. 55, n. 1-4, p. 3-23, Feb. 1982. DOI: [10.1016/0022-1694\(82\)90117-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90117-2).

CHALLINOR, A. J.; WATSON, J.; LOBELL, D. B.; HOWDEN, S. M.; SMITH, D. R.; CHHETRI, N. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 4, p. 287-291, Apr 2014. DOI: [10.1038/nclimate2153](https://doi.org/10.1038/nclimate2153).

COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 283, n. 1-4, p. 206-217, Dec 2003. DOI: [10.1016/S0022-1694\(03\)00267-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00267-1).

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; BELT, M. van den. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253-260, May 1997. DOI: [10.1038/387253a0](https://doi.org/10.1038/387253a0).

DE OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L. G.; HALL, J. A. J.; MATSUURA, M. F.; ALBERTINI, T. Z.; FERNANDES, F. A.; MORAN, D. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 493-497, 2016. DOI: [10.1038/nclimate2916](https://doi.org/10.1038/nclimate2916).

DE OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L. G.; HALL, J. A. J.; MORETTI, A. C.; VELOSO, R. F.; ALEXANDER, P.; CRESPOLINI, M.; MORAN, D. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 201-211 2017. DOI: [10.1016/j.agsy.2017.02.001](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.02.001).

DE OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L. G.; PELLEGRINO, Q. G.; MORAN, D. The role of agricultural intensification in Brazil's Nationally Determined Contribution on emissions mitigation. **Agricultural Systems**, v. 161, p. 102-112, Mar 2018. DOI: [10.1016/j.agsy.2018.01.003](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.003).

EMBRAPA. **Aplicativo Zarc – plantio certo**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/6516/aplicativo-zarc---plantio-certo>. Acesso em: 25 maio 2020.

FERRARINI, A. dos S. F.; FERREIRA FILHO, J. B. de S.; CUADRA, S. V.; VICTORIA, D. de C. Water demand prospects for irrigation in the São Francisco river: Brazilian public policy. **Water Policy**, v. 22, n. 3, p. 449-467, Apr 2020. DOI: [10.2166/wp.2020.215](https://doi.org/10.2166/wp.2020.215).

JONES, J. W.; ANTLE, J. M.; BASSO, B.; BOOTE, K. J.; CONANT, R. T.; FOSTER, I.; GODFRAY, H. C. J.; HERRERO, M.; HOWITT, R. E.; JANSSEN, S.; KEATING, B. A.; MUNOZ-CARPENA, R.; PORTER, C. H.; ROSENZWEIG, C.; WHEELER, T. R. Brief history of agricultural systems modeling. **Agricultural Systems**, v. 155, p. 240-254, July 2017. DOI: [10.1016/j.agsy.2016.05.014](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.014).

LIMA, L. S.; COE, M. T.; SOARES FILHO, B. S.; CUADRA, S. V.; DIAS, L. C. P.; COSTA, M. H.; LIMA, L. S.; RODRIGUES, H. O. Feedbacks between deforestation, climate, and hydrology in the Southwestern Amazon: implications for the provision of ecosystem services. **Landscape Ecology**, v. 29, p. 261-274, 2014. DOI: [10.1007/s10980-013-9962-1](https://doi.org/10.1007/s10980-013-9962-1).

MICURA. Disponível em: <https://www.micura.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 25 maio 2020.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystem and human well-being**: synthesis. Washington, D.C.: Island Press, 2005.

NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 1 jun. 2020.

ROSSETTI, L. A. Seguro rural e zoneamento agrícola no Brasil: novos rumos. **Revista de Política Agrícola**, ano 4, p. 33-43, out./dez. 1998.

SANTOS, W. G. dos; MARTINS, J. I. F. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático e sua contribuição à agricultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 73-94, dez. 2016.

STEVANOVIĆ, M.; POPP, A.; LOTZE-CAMPEN, H.; DIETRICH, J. P.; MÜLLER, C.; BONDSCH, M.; SCHMITZ, C.; BODIRSKY, B. L.; HUMPENÖDER, F.; WEINDL, I. The Impact of High-End Climate Change on Agricultural Welfare. **Science Advances**, v. 2, n. 8, p. e1501452, Ago 2016. DOI: [10.1126/sciadv.1501452](https://doi.org/10.1126/sciadv.1501452).

VICTORIA, D. de C.; BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; ASSAD, E. D.; ANDRADE, R. G.; GUIMARAES, D. P.; LANDAU, E. C. Potencialidades para expansão e diversificação agrícola sustentável do Cerrado. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (ed.). **Dinâmica agrícola no cerrado**: análises e projeções. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, p. 229-258. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212396/1/PL-Dinamica-agricola-cap8-2020.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2020.

WEBAMBIENTE. Disponível em: <https://www.webambiente.gov.br/>. Acesso em: 25 maio 2020.

ZHAO, C.; LIU, B.; PIAO, S.; WANG, X.; LOBELL, D. B.; HUANG, Y.; HUANG, M.; YAO, Y.; BASSU, S.; CIAIS, P.; DURAND, J.-L.; ELLIOTT, J.; EWERT, F.; JANSSENS, I. A.; LI, T.; LIN, E.; LIU, Q.; MARTRE, P.; MÜLLER, C.; PENG, S.; PEÑUELAS, J.; RUANE, A. C.; WALLACH, D.; WANG, T.; WU, D.; LIU, Z.; ZHU, Y.; ZHU, Z.; ASSENG, S. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 35, p. 9326-9331, 29 ago. 2017. DOI: [10.1073/pnas.1701762114](https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114).



# 4 Geotecnologias na agricultura digital

Carla Geovana do Nascimento Macário  
Júlio César Dalla Mora Esquerdo  
Alexandre Camargo Coutinho  
Eduardo Antonio Speranza  
João dos Santos Vila da Silva  
João Francisco Gonçalves Antunes  
Laurimar Gonçalves Vandrúsculo  
Sérgio Aparecido Braga da Cruz

## 1 Introdução

As geotecnologias estão cada dia mais presentes na agricultura brasileira. O monitoramento de culturas agrícolas, o levantamento e a caracterização de recursos naturais, o mapeamento do uso e da cobertura da terra, os zoneamentos e a avaliação de cenários são alguns exemplos nos quais o uso das geotecnologias tem sido presente. Geotecnologia é um tipo específico de tecnologia voltada a aquisição, armazenamento, processamento, visualização e análise de dados geoespaciais, que, por sua vez, permeiam, direta ou indiretamente, uma série de temas relacionados à dinâmica da atividade agrícola. Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informações Geográficas, Sistemas de Posicionamento Global (GPS, do inglês *Global Positioning System*) de navegação por satélite e Banco de Dados Geoespaciais são alguns exemplos de geotecnologias amplamente utilizadas por vários setores nas mais diversas aplicações para a agricultura e o meio ambiente.

A produção e a disponibilização dos dados geoespaciais têm aumentado significativamente nos últimos anos. A proliferação de repositórios de dados e de serviços geoespaciais na internet, os avanços no processamento e no armazenamento de dados em estruturas de nuvens computacionais, a adoção cada vez maior de padrões para representação da geoinformação, o aumento do

número de sensores dos mais variados tipos e finalidades e a presença de GPS nos dispositivos móveis, que favorece a coleta georreferenciada de diferentes tipos de dados, são alguns exemplos que explicam o crescente uso dos dados geoespaciais pela sociedade em geral. Além do enorme volume de informações, o contexto atual na produção desses dados com localização geográfica é caracterizado pela velocidade com que eles são produzidos. Ademais, com os avanços tecnológicos, as informações e os dados georreferenciados estão cada vez mais acessíveis, tornando-se estratégicos na tomada de decisão na agricultura e nas questões relacionadas à gestão dos territórios.

Na agricultura digital, as geotecnologias assumem grande importância, pois permitem verificar a variabilidade temporal e espacial, executar a rastreabilidade da produção em todos os elos da cadeia e o monitoramento das propriedades rurais, entre outras funções.

A Embrapa Informática Agropecuária, em especial por meio de seu Grupo de Pesquisas em Geotecnologias, tem atuado no tema ao longo dos últimos anos, tanto no uso e na aplicação das geotecnologias como em seu desenvolvimento, a partir de um corpo técnico multidisciplinar. Neste capítulo, são abordadas algumas geotecnologias utilizadas pela equipe nas atividades de P&D, sobretudo no atendimento às demandas governamentais relacionadas à agricultura e ao meio ambiente, em especial na gestão territorial e no desenvolvimento de ferramentas computacionais, principalmente para apoio a políticas públicas. Inicialmente, são apresentados os conceitos básicos sobre os dados geoespaciais e sua organização em ambientes computacionais, uma atividade primordial e necessária no desenvolvimento das ferramentas voltadas a esse tipo específico de dado. Em seguida, é apresentada uma breve caracterização de uma importante fonte de informação geoespacial: o sensoriamento remoto, fundamental em diversas atividades de monitoramento da superfície terrestre e presente nos projetos e nas iniciativas de pesquisas utilizando geotecnologias. Por fim, são descritas algumas ferramentas computacionais baseadas em Sistemas de Informações Geográficas na Internet, os chamados “WebGIS”, voltados para a visualização e a análise espacial dos dados geoespaciais e seu uso na gestão territorial.

## **2 Aplicações das geotecnologias no monitoramento agrícola e ambiental**

### **2.1 Dados geoespaciais: conceitos básicos e sua organização**

Dados geoespaciais são usados para representar fenômenos do mundo real associados à sua localização na superfície terrestre. Essa representação é feita por meio de três características: espacial, não espacial e temporal. A

característica espacial diz respeito à localização geográfica do fenômeno que o dado representa e à sua geometria; a não espacial identifica o fenômeno e suas propriedades; e a temporal informa quando o fenômeno ocorreu. Por exemplo, uma colhedora de grãos equipada com um monitor de colheita e um sistema de posicionamento global é capaz de registrar a quantidade de grãos colhidos, a localização geográfica no campo ao longo do deslocamento da máquina e os horários de registro dos fluxos de entrada de grãos na colhedora.

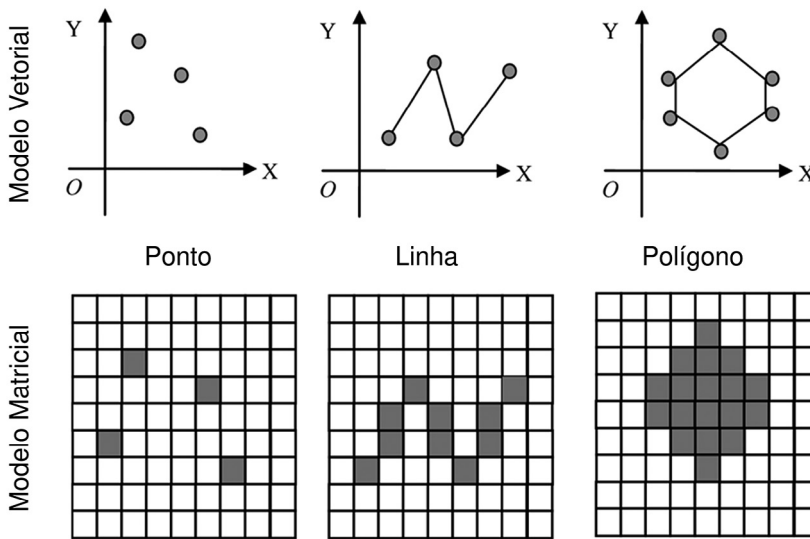
A característica espacial faz com que os dados geoespaciais possuam propriedades topológicas e geométricas. As primeiras baseiam-se nas posições relativas dos objetos no espaço, como conectividade, orientação, adjacência e contenção. As segundas representam a geometria das entidades, obtida a partir de suas feições, como pontos, linhas e polígonos. Tais propriedades permitem definir as relações entre dados geoespaciais, essenciais nas aplicações geográficas.

No contexto agrícola, os dados geoespaciais e seus relacionamentos podem ser utilizados em diversas atividades. Por exemplo, em escala regional, podem ser usados para representar os recursos naturais, como rios, lagos e áreas de proteção próximas a empreendimentos agrícolas ou, ainda, para representar dinâmicas de uso e cobertura da terra em uma mesma região ao longo do tempo. Já em escala local, podem representar características específicas em uma gleba produtiva, como a ocorrência de plantas invasoras e pragas, a fertilidade do solo ou a ocorrência de falhas de plantio.

Para que esse tipo de dado seja utilizado na resposta a questões relacionadas à agricultura, é necessária sua representação computacional, que pode ser feita por meio de estruturas de arquivos. Uma vez que o dado geográfico seja espacializado e computacionalmente representado, considerando suas características e seus relacionamentos espaciais, é possível executar diferentes análises, para prover as respostas desejadas. Dados geoespaciais podem ser computacionalmente representados por dois modelos: o vetorial e o matricial, também chamado de *raster*, conforme ilustra a Figura 1. No modelo vetorial a característica espacial é reproduzida por pontos, linhas ou polígonos no espaço bidimensional, definidos de maneira precisa com relação à sua localização, fronteira, interior e exterior. Grupos de pontos, linhas ou polígonos também podem ser utilizados para representar um único fenômeno. Já no modelo matricial o espaço é considerado como uma superfície regular, dividida em pixels (do inglês *picture element*) ou células com tamanho fixo, significando porções de uma área territorial. Um fator importante nesse modelo é sua resolução espacial, calculada a partir do tamanho de cada célula no mapa e da área de terreno que essa mesma célula é capaz de simbolizar.

Dados em grandes quantidades, sejam eles geoespaciais ou não, precisam ser organizados para sua manipulação eficiente. Nesse sentido, surge o conceito de Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), que





**Figura 1.** Modelos de representação vetorial e matricial.

Fonte: Adaptado de Li e Yan (2020).

são conjuntos de registros dispostos em estrutura regular que possibilita sua organização e a produção de informação. Os Bancos de Dados Geográficos funcionam da mesma forma, tendo como diferencial a capacidade de suportar feições geométricas em suas tabelas. Em geral, SGBD tradicionais podem manipular dados geoespaciais a partir de módulos ou extensões espaciais. Assim, a informação é georreferenciada, as operações sobre ela são espaciais e, geralmente, sua visualização é cartográfica. Exemplos de extensão espacial são o PostGIS, presente no SGBD público e de código aberto PostgreSQL, e a Oracle Spatial, presente no pacote comercial Oracle.

Os SGBD com extensão espacial implementam os tipos e os operadores espaciais, além das operações tradicionais, com independência e acesso eficiente, compartilhamento de dados e redução de redundância, integridade e segurança, administração uniforme, desenvolvimento de aplicações em tempo reduzido e acesso concorrente. Essas características facilitam a tarefa do desenvolvedor de aplicações geográficas, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que serão discutidos no item 2.3 deste capítulo.

Os primeiros SGBD geográficos tratavam de maneira eficiente apenas os dados representados no modelo vetorial, oferecendo formas de armazenamento e operações para sua manipulação. Por outro lado, extensões espaciais para o tratamento de dados no modelo matricial, como as imagens de satélite, foram desenvolvidas e estão presentes em vários sistemas de banco de dados geográficos. Um exemplo é WKT *Raster (Well-Known Text)*, uma extensão do PostGIS, que possibilita armazenar e analisar os dados matriciais de maneira mais eficiente e prática.

A organização computacional dos dados geoespaciais, seja por um banco de dados geográfico, ou por qualquer outro tipo de estrutura, possibilita a sua manipulação por diferentes geotecnologias disponíveis, como SIG, WebGIS e ferramentas para sensoriamento remoto, as quais serão abordadas nos próximos itens deste capítulo.

## 2.2 Sensoriamento remoto

Na literatura podem ser encontradas diversas definições para o termo sensoriamento remoto. A *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS), uma das mais importantes sociedades que reúne pesquisadores do mundo inteiro sobre esse tema, adotou a definição de Colwell (1983), segundo a qual o sensoriamento remoto pode ser entendido como a medição ou a aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno em estudo. De acordo com Jensen (2007), essa medição ou aquisição pode ser realizada *in situ*, por meio de equipamentos levados ao campo, ou de maneira mais remota, a partir de equipamentos instalados em veículos aéreos em nível suborbital, como balões, aviões e drones, e em nível orbital, como os satélites.

Os sensores remotos imageadores são aqueles mais encontrados a bordo das plataformas orbitais, em altitudes que variam entre 200 e 36 mil quilômetros. Esses sensores transformam a energia eletromagnética emitida ou refletida pela superfície terrestre em um sinal analógico, que é processado e convertido para a construção de uma imagem digital. Cada elemento que forma a imagem, o chamado pixel, apresenta um valor relativo à quantidade de energia refletida ou emitida por uma parcela da superfície terrestre. O tamanho dessa parcela da área terrestre observada depende da resolução espacial do sensor, variando desde centímetros a quilômetros, em função do tipo e da finalidade de cada instrumento.

Além da resolução espacial, outras características dos sensores são levadas em consideração na escolha do tipo de imagem a ser utilizada em cada aplicação, como: a resolução temporal, que define o tempo de revisita do sensor a um mesmo local; a resolução espectral, que define as larguras e as quantidades de faixas espectrais que o sensor é capaz de “enxergar”; e a resolução radiométrica, que define a capacidade do sensor de distinguir diferentes níveis digitais, ou seja, a eficiência do sistema em detectar e registrar diferenças na energia refletida ou emitida pelos alvos terrestres.

Atualmente, há uma variedade de sensores em funcionamento, a bordo de plataformas orbitais desenvolvidas por governos ou empresas privadas, gerando produtos com diferentes detalhamentos da superfície, com distintas frequências de passagem e com diferentes custos de aquisição. Em geral, as aplicações de larga escala para fins governamentais fazem uso de dados

públicos disponibilizados de forma irrestrita e gratuita por repositórios oficiais na internet.

O programa governamental mais bem sucedido para a observação remota de recursos terrestres é o ETRS (*Earth Resources Technology Satellite*), implementado na década de 70 pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), a agência espacial americana. Esse programa, que posteriormente passou a se chamar Landsat, é responsável pelo lançamento de oito plataformas orbitais no espaço, munidas de sensores imageadores com média resolução espacial. Lançado em 2013, o Landsat-8 é a mais recente plataforma lançada dessa família de satélites, levando a bordo o sensor OLI (*Operational Terra Imager*), cujas imagens são disponibilizadas numa resolução espacial de 30 metros e passam por processos de correção atmosférica, que reduz a influência de fatores atmosféricos, e de ortorretificação, que remove os efeitos do relevo terrestre, melhorando suas qualidades radiométrica e geométrica, respectivamente. Outra importante missão da NASA é realizada pelo sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo dos satélites Terra e Aqua, em funcionamento desde o início da década de 2000 e que fornecem dados com grande periodicidade e baixo detalhamento espacial. Sua série histórica, que já contempla um período de mais de 20 anos de imagens, está disponível gratuitamente na forma de produtos terrestres, atmosféricos e oceânicos, pré-processados em três resoluções espaciais (250, 500 e 1000 metros), derivados de dados disponíveis a partir de 36 faixas espectrais.

O Brasil também figura entre os países produtores de dados de sensoriamento remoto para o monitoramento de recursos terrestres por meio do Programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), fruto da parceria técnico-institucional com a China, iniciada no final dos anos 80, que envolveu o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Atualmente, a série de satélites CBERS, iniciada pelo CBERS-1 em 1999, conta com outros quatro satélites, o último deles lançado em dezembro de 2019. O CBERS-4A faz parte da segunda geração dessa família de satélites e apresenta sensores imageadores com diferentes características, produzindo imagens com detalhamentos entre 2 e 60 metros de resolução espacial. A série histórica das imagens CBERS está disponível no repositório oficial do INPE, um dos precursores dessa política de disponibilização pública e gratuita de imagens por meio de catálogos na internet.

A disponibilidade de imagens públicas com alta resolução espacial também vem crescendo nos últimos anos. Em 2014, a ESA (*European Space Agency*) lançou o Sentinel-1, um satélite provido de um sensor imageador ativo (radar). Atualmente, a série Sentinel possui seis satélites em órbita. No monitoramento da agricultura, o mais utilizado é o Sentinel-2, lançado em 2015, que conta com o sensor MSI (*Multispectral Instrument*) a bordo, que

gera imagens com resolução espacial de até 10 metros nas bandas do visível e infravermelho, com revisita a cada cinco dias, aliando bom detalhamento espacial e relativa frequência de observação.

O constante avanço das tecnologias na produção de componentes cada vez menores e mais eficientes vem representando uma tendência no mercado geoespacial com a nova geração das constelações de nanossatélites de observação da Terra, como os satélites privados PlanetScope, que oferecem uma combinação sem precedentes de imagens com resolução temporal diária e resolução espacial de três metros. Dessa forma, os nanossatélites podem apoiar o monitoramento de culturas agrícolas que requerem maior detalhamento espacial, como café e citros, bem como os sistemas ILPF, que integram lavoura temporária, pecuária e floresta plantada numa mesma área de produção.

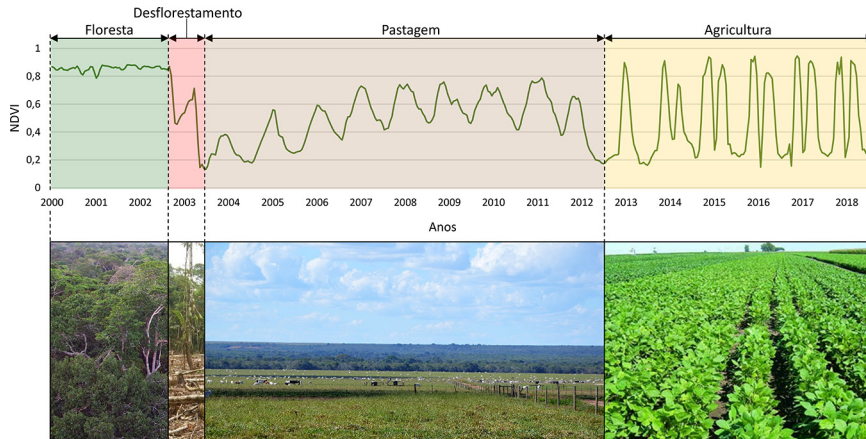
Nos tópicos a seguir são apresentadas algumas iniciativas e projetos da Embrapa Informática Agropecuária e de seus respectivos parceiros, que envolveram diretamente o uso do sensoriamento remoto nos processos de monitoramento da superfície terrestre.

### 2.2.1 Séries temporais de imagens de satélite e o desenvolvimento do SATVeg

Nos últimos anos, as séries temporais de imagens de satélite têm sido cada vez mais utilizadas em uma vasta gama de aplicações para o monitoramento da superfície terrestre. No sensoriamento remoto, a abordagem espectro-temporal explora o curto tempo de revisita de alguns sensores orbitais e visa a aquisição mais frequente de informações espectrais da superfície terrestre, trazendo vantagens em relação ao enfoque tradicional, que se baseia em um conjunto restrito de imagens.

Nas análises multitemporais voltadas ao monitoramento da cobertura vegetal terrestre, são comumente utilizados os índices vegetativos, derivados de combinações matemáticas entre bandas espectrais dos sensores. Estes buscam realçar a presença e o vigor da vegetação e diminuir a influência do solo e de fatores atmosféricos. O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) e o Índice de Vegetação Melhorado (*Enhanced Vegetation Index* – EVI), propostos por Rouse et al. (1974) e Huete et al. (1994), respectivamente, são aqueles mais citados na literatura e que apresentam alta correlação com a biomassa verde e com a área foliar. Quando organizados e observados cronologicamente, esses índices espectrais podem ser utilizados para produzir gráficos temporais, visando representar as variações do vigor vegetativo ao longo do tempo. Entre os sensores orbitais mais utilizados nas análises multitemporais destaca-se o MODIS, cuja série temporal de mais de 20 anos de imagens apresenta boa consistência radiométrica e geométrica. A Figura 2 ilustra um exemplo de

um perfil temporal do índice vegetativo NDVI, obtido do sensor MODIS, e a respectiva interpretação sobre a dinâmica do uso e da cobertura da terra entre os anos de 2000 e 2018.



**Figura 2.** Perfil temporal do NDVI apresentando diferentes padrões decorrentes das transições do uso e da cobertura da terra no período entre 2000 e 2018.

Fonte: Adaptado de Embrapa Informática Agropecuária (2020a).

Neste exemplo é possível identificar diferentes padrões de comportamento do perfil temporal do NDVI ao longo da série histórica, considerando o detalhamento espacial das imagens do sensor MODIS de 6,25 ha (250 x 250 metros). Tais variações decorrem de mudanças da cobertura vegetal em um ponto selecionado no estado de Mato Grosso. Pela Figura 2 observa-se que, originalmente, a área apresentava uma cobertura florestal natural, sendo desflorestada no final de 2002 e ocupada por atividade de pastagem até o final de 2012, quando passou a ser utilizada para o cultivo agrícola temporário, com sucessivos ciclos de safra e safrinha. Cada segmento do gráfico do NDVI reflete as variações fenológicas características de cada tipo de cobertura vegetal, sendo possível identificar as rupturas e as trocas dos padrões, provenientes das transições sofridas ao longo do tempo.

Análises baseadas em séries temporais demandam a aquisição e o processamento de um considerável volume de dados derivados das imagens de satélite e envolvem atividades computacionais robustas. Nesse sentido, em 2011, a Embrapa Informática Agropecuária começou a investir esforços no desenvolvimento de uma plataforma Web capaz de fornecer perfis temporais dos índices vegetativos NDVI e EVI do sensor MODIS para qualquer localidade do território brasileiro, sem a necessidade de o usuário realizar a aquisição de imagens ou a execução de qualquer tipo de processamento. Inicialmente voltada ao apoio de projetos vigentes na Embrapa, essa plataforma Web, que mais tarde passou a ser chamada de Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg), foi desenvolvida para atender a demanda por fornecimento instantâneo de perfis temporais de índices vegetativos pela

internet, a partir de uma plataforma de fácil acesso e visualização (Esquerdo et al., 2020).

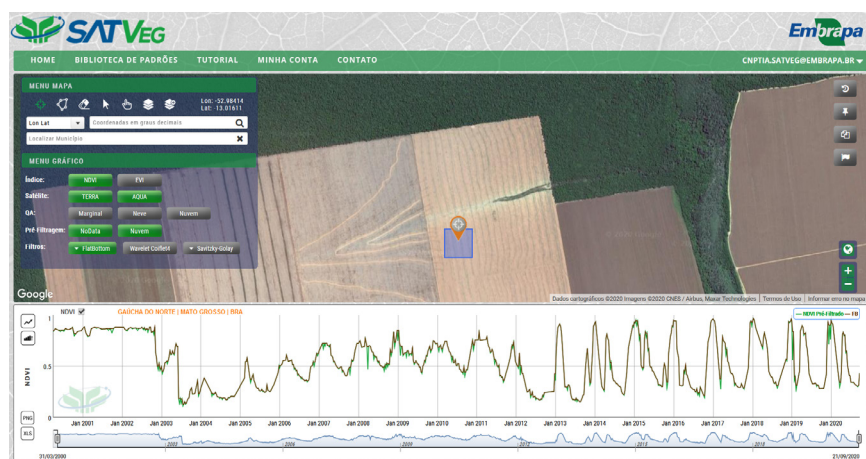
O processo de desenvolvimento do sistema passou por diversas fases e envolveu a adoção de diferentes modelagens de banco de dados, objetivando identificar a melhor forma para armazenar uma extensa série temporal de imagens de satélite e, ao mesmo tempo, permitir a consulta e a extração de dados de forma instantânea, a partir de uma localização geográfica fornecida pelo usuário. Os resultados alcançados nessas etapas mostraram-se promissores e, em 2014, a equipe da Embrapa decidiu tornar o sistema aberto à sociedade, de forma gratuita. O SATVeg passou então a ser acessado por um variado público, com diferentes interesses e finalidades de uso, despertando demandas por novas funcionalidades. Em 2016, foi iniciada uma parceria com a iniciativa privada, com o objetivo de desenvolver novas funcionalidades, expandir a área de cobertura do sistema para toda a América do Sul e criar uma nova identidade visual, resultando na atual versão do sistema, disponível no endereço [www.satveg.cnptia.embrapa.br](http://www.satveg.cnptia.embrapa.br).

O SATVeg funciona de forma bastante intuitiva e pode ser utilizado por públicos pouco familiarizados com o sensoriamento remoto. A Figura 3 ilustra a tela principal do sistema, na qual o usuário interage com uma camada Google Maps para selecionar uma área de interesse e obter o perfil temporal do índice vegetativo escolhido (NDVI ou EVI), que é mostrado logo abaixo do mapa de referência. O sistema também oferece um conjunto de funcionalidades, como filtros de suavização das curvas, sobreposição de camadas ao mapa, biblioteca de padrões, tutorial de utilização, entre outras.

Com mais de sete mil usuários cadastrados atualmente, o SATVeg tem apoiado diversas atividades de monitoramento da superfície terrestre, como projetos de mapeamento do uso e de cobertura da terra em larga escala,

**Figura 3.**  
Tela principal  
do SATVeg.

Fonte: Embrapa  
Informática  
Agropecuária  
(2020a).





monitoramento do potencial produtivo de culturas agrícolas, detecção de desmatamentos, fiscalizações, entre outras. Recentemente, o SATVeg foi incluído na portaria nº 4.796 do Banco Central do Brasil como ferramenta remota para apoio à comprovação de perdas agrícolas no âmbito do Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro), uma vez que o sistema pode dar indicativos sobre a condição da biomassa das lavouras e apoiar as decisões sobre questões relacionadas ao pagamento do seguro agrícola.

Desenvolvido a partir de softwares livres, o banco de dados do SATVeg vem sendo alimentado periodicamente com as novas imagens do sensor MODIS, e os componentes de software têm sido mantidos atualizados pela equipe da Embrapa Informática Agropecuária. Uma API (*Application Programming Interface*) também foi desenvolvida para fornecer os dados do sistema de forma programática, de modo a alimentar sistemas de terceiros que façam uso dos perfis temporais dos índices vegetativos em diversas outras aplicações.

### 2.2.2 Monitoramento do uso e da cobertura da terra - Projeto TerraClass

As bases teóricas do desenvolvimento sustentável pressupõem ações e políticas públicas para a promoção do desenvolvimento econômico, harmonizadas com garantias para a preservação dos ecossistemas naturais, da sua biodiversidade e de seus serviços. No Brasil, um dos países com as maiores extensões de terras agricultáveis ainda não exploradas do planeta, a expansão da fronteira agrícola e o desenvolvimento tecnológico da atividade agropecuária têm sido acompanhados por intensos debates nacionais e internacionais sobre essa temática.

Preocupado com os impactos negativos no mercado de *commodities* agrícolas, gerados pela divulgação de dados que mostravam que a agricultura avançava rapidamente sobre as florestas da Amazônia, o Governo Federal solicitou à Embrapa e ao INPE, instituições públicas com conhecimento acumulado e competência sobre o tema, a produção de uma nova visão, com base em dados científicos e imparciais, sobre o uso e a cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal. Como resultado dessa mobilização institucional, surgiu o Projeto TerraClass Amazônia (Almeida et al., 2016), com o objetivo de produzir, sistematicamente, mapeamentos do uso e da cobertura da terra na região, viabilizando o monitoramento dos impactos das ações e das políticas públicas do Governo Federal focadas tanto no desenvolvimento e na intensificação da atividade agrícola quanto na preservação dos sistemas naturais.

Desenvolvido e implementado por instituições da esfera federal, o TerraClass gera dados oficiais sobre a dinâmica do uso e da cobertura da terra, ampliando fundamentalmente a capacidade de gestão no território

amazônico e reforçando a soberania nacional sobre uma região de disputas explícitas entre setores, agentes e atores, nacionais e internacionais, cujos interesses são movidos por questões econômicas, sociais e ambientais, entre outras.

Atualmente, estão disponíveis sete mapeamentos, referentes aos anos-base 1991, 2000, 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014, executados pelas equipes técnicas da Embrapa Informática Agropecuária, Embrapa Amazônia Oriental e Centro Regional da Amazônia (CRA/INPE). Para organizá-los, armazená-los e torná-los acessíveis aos usuários, a Embrapa Informática Agropecuária desenvolveu um portal de acesso público e gratuito, apresentado no tópico 2.3.2 deste capítulo.

A área de abrangência dos mapas compreende toda a extensão da Amazônia Legal, embora a identificação das classes temáticas seja realizada somente nas áreas desflorestadas mapeadas pelo Programa de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES). As classes temáticas contempladas pelo TerraClass são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.**  
Classes temáticas mapeadas pelo TerraClass.

Fonte: Projeto TerraClass.

Classes	Descrição
Cultura agrícola temporária	Culturas agrícolas que apresentam um ou mais ciclos de produção no ano-safra de referência do mapeamento, tais como soja, milho, algodão, entre outras.
Cultura agrícola semiperene	Culturas agrícolas que apresentam ciclo de produção superior ao ano-safra de referência do mapeamento, representadas, principalmente, pela cana-de-açúcar.
Cultura agrícola perene	Culturas agrícolas permanentes, apresentando diferentes estádios de maturidade e cobertura vegetal, tais como plantações de café, citros, seringueira, entre outras.
Pastagem cultivada arbustiva arbórea	Pastagens com predomínio de vegetação lenhosa, composta por espécies arbustivas ou arbóreas, além das espécies herbáceas cultivadas.
Pastagem cultivada herbácea	Pastagens com predomínio de vegetação forrageira herbácea, composta por espécies cultivadas.
Silvicultura	Culturas de espécies florestais de interesse comercial, representadas por formações arbóreas monoespecíficas, tais como eucalipto e pinus.
Vegetação natural florestal secundária	Formação vegetal natural em processo de regeneração, caracterizada pelo adensamento de espécies arbóreas que já tenham sofrido supressão total da vegetação original, desde o início do monitoramento de desflorestamento da Amazônia.

Continua...

Classes	Descrição
Mineração	Áreas de extração mineral caracterizadas pela presença de solos expostos e alterações da paisagem local.
Área urbana	Manchas urbanas decorrentes da concentração populacional formadora de lugarejos, vilas ou cidades que apresentam infraestrutura diferenciada da área rural, apresentando adensamento de arruamentos, casas, prédios e outros equipamentos públicos.
Outras áreas urbanizadas	Áreas com infraestrutura diferenciada, com menor adensamento de arruamentos, casas e outros equipamentos industriais, tais como galpões, usinas, armazéns, entre outros.
Corpos d'água	Corpos d'água naturais, tais como rios, lagos, açudes e represas.
Outros	Áreas que não se enquadram nas demais classes temáticas, tais como afloramentos rochosos, praias fluviais, bancos de areia, entre outras.
Não observado	Áreas não mapeadas em função da presença de nuvens ou queimadas nas imagens de satélite utilizadas.
Desflorestamento do ano	Áreas cuja cobertura vegetal natural foi suprimida durante o ano de referência do mapeamento.

Tabela 1.  
Continuação.

Os mapeamentos foram realizados na escala 1:100.000 (cada centímetro no mapa em papel equivale a um quilômetro no mundo real) a partir das imagens públicas com detalhamento espacial variado. A principal base de imagens é formada por cenas do satélite Landsat, com resolução espacial de 30 metros. Séries temporais de imagens do sensor MODIS, com resolução espacial de 250 metros, também foram usadas no processo de mapeamento da classe de agricultura temporária.

Diferentes métodos foram empregados nas atividades de mapeamento das classes temáticas, de acordo com a complexidade dos alvos e o conhecimento técnico das instituições envolvidas. Esses métodos envolveram diversos tipos de abordagens, desde as mais complexas, baseadas em técnicas de aprendizado de máquina, até as mais simples e laboriosas, como a interpretação visual de imagens. A agricultura temporária, que apresenta elevada dinâmica espectral e ocorre em períodos específicos do ano, foi mapeada a partir da abordagem espectro-temporal, tratada no item 2.2.1 deste capítulo. Nesse caso, classificadores baseados em aprendizado de máquina foram treinados com amostras de campo e aplicados a séries temporais de índices vegetativos para a detecção de alvos com comportamentos temporais específicos. Já as áreas de vegetação secundária foram mapeadas com base em um Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) aplicado às áreas de desflorestamento para identificar as frações de vegetação, solo e sombra e separar as áreas de

vegetação secundária das demais. Já para outros tipos de classes temáticas, como pastagens, silvicultura, mineração, áreas urbanas, entre outras, a identificação e o mapeamento foram feitos a partir de interpretações visuais das imagens Landsat, por conta da grande variação de padrões e da dificuldade de se automatizar um método de classificação.

Em função do caráter estratégico das informações produzidas pelo TerraClass ao longo da série histórica de mapeamentos para a Amazônia Legal, o Governo Federal solicitou a ampliação da área de cobertura dos mapeamentos para o bioma Cerrado, outra porção territorial fortemente pressionada pela expansão da atividade agrícola e monitorada por organismos nacionais e internacionais. Para o atendimento dessa demanda, uma nova articulação institucional, envolvendo instituições de pesquisa, de desenvolvimento e de inovação, universidades e órgãos governamentais, foi consolidada para a execução de um mapeamento do uso e da cobertura da terra do bioma Cerrado, referente ao ano base de 2013. Atualmente, novas versões do TerraClass Cerrado, referentes aos anos base 2016, 2018 e 2020, vêm sendo executadas para a atualização dos mapeamentos e para a formação de uma série histórica que permita análises das dinâmicas de uso e cobertura da terra nesse bioma.

Desde a primeira demanda originada pelo Governo Federal, houve um constante e significativo avanço na área de tecnologia de informação, tanto no que diz respeito a novos sensores embarcados em satélites, aviões, drones, entre outros quanto a novos dispositivos de armazenamento, processamento, análise e distribuição de dados e informações digitais. Nesse sentido, grande parte dos esforços e do foco da equipe de coordenação e de execução do TerraClass tem sido direcionada para a atualização dos dados das séries históricas dos mapeamentos da Amazônia e do Cerrado, a expansão dos mapeamentos para os demais biomas brasileiros e a promoção de uma maior automatização dos processos de mapeamento, de forma a proporcionar reduções significativas no custo e no tempo de execução dos trabalhos.

### 2.2.3 Projeto GeoMS

Entre 2007 e 2012 o Governo do Estado de Mato Grosso do Sul desenvolveu com a Embrapa Informática Agropecuária e parceiros o projeto GeoMS, cujo objetivo geral foi estruturar um sistema de informação georreferenciada para monitoramento do espaço rural. Com isso esperava auxiliar os governos estaduais a melhorar sua eficiência na tomada de decisão sobre a implantação de projetos estratégicos, utilizando como estudo de caso o estado de Mato Grosso do Sul. Essa demanda surgiu a partir de necessidades específicas do estado, como mitigar problemas associados às mudanças climáticas, evitar o desperdício de recursos naturais e reduzir desmatamentos e emissões de carbono. A iniciativa também foi originada pela preocupação com as

questões inerentes ao desenvolvimento sustentável e à conservação do meio ambiente, além de visar melhorar o sistema de gestão ambiental do estado, tornando mais eficazes e transparentes os processos e os procedimentos de licenciamento ambiental.

Ao longo de sua vigência, as equipes do GeoMS desenvolveram e implantaram o Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (Sisla), uma plataforma Web de informações geográficas para organização de dados geoespaciais do estado de Mato Grosso do Sul e apoio à decisão, que é apresentada no tópico 2.3.2 deste capítulo. Para que o sistema pudesse fornecer informações confiáveis para o apoio ao licenciamento ambiental, foi necessária a execução do mapeamento do uso e da cobertura da terra e o detalhamento das informações sobre recursos hídricos no estado, atividades fortemente baseadas no uso do sensoriamento remoto.

O mapeamento do desmatamento e da cobertura vegetal e do uso da terra foi realizado na escala de 1:100.000 para o ano de 2007, considerado o marco zero no processo de monitoramento desse tipo de informação no estado de Mato Grosso do Sul. As atividades foram realizadas pela equipe da Embrapa Informática Agropecuária a partir de imagens do satélite CBERS, oriundas da Câmera Imageadora de Alta Resolução (*Charge Coupled Device* – CCD), com resolução espacial de 20 metros, a bordo da plataforma CBERS-2B. O mapeamento foi individualizado em 64 classes (Silva et al., 2011a) no nível III, de acordo com o sistema brasileiro de classificação da vegetação, podendo ser agregadas em 15 classes de fitofisionomias, considerado o nível II, a saber: 1-Vegetação Ciliar (arbórea, arbustiva, herbácea); 2-Floresta Estacional Semidecidual; 3-Floresta Estacional Decidual; 4-Savana Cerrado; 5-Savana Estépica (chaco); 6-Formações Pioneiras (arbórea, arbustiva e herbácea); 7-Contatos Florísticos (ecótono e enclave); 8-Refúgios Vegetacionais (comunidades relíquias); 9-Vegetação Secundária; 10-Agricultura Anual; 11-Agropecuária; 12-Agricultura Semiperene; 13-Silvicultura; 14-Pecuária (pastagem plantada); e 15-Outras Áreas Antrópicas (influência urbana, mineração, várzeas ocupadas).

Atenção especial foi dada à identificação e ao mapeamento das pastagens cultivadas, que no estado de Mato Grosso do Sul representavam 16 milhões de hectares. Destes, cerca de 57% encontravam-se em diferentes estados de degradação, afetando sensivelmente a economia pecuária, necessitando de um processo de recuperação, por meio da realização de trabalhos de revegetação ou mesmo enriquecimento da área (Silva et al., 2011b). Assim, foram identificados e mapeados, na escala de 1:50.000, quatro níveis de pastagem em função de sua degradação, em áreas amostrais: não degradada (I), degradação moderada (II), degradação forte (III) e degradação muito forte (IV). Nessa atividade foram empregadas imagens fusionadas dos sensores HRC

(*High Resolution Camera* ou Câmera Pancromática de Alta Resolução) com 2,5 metros de resolução e CCD, ambas a bordo do satélite CBERS-2B.

As informações sobre recursos hídricos do estado de Mato Grosso do Sul também foram atualizadas e aprimoradas a partir de dados do sensoriamento remoto, na escala de 1:100.000. Esse processo contou com a atualização da rede de drenagens e o detalhamento dos limites territoriais das Unidades de Planejamento e Gerenciamento de recursos hídricos, bem como com a criação de mapas de declividade, com base nas classes definidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Tais informações, além de apoiarem a análise espacial do entorno do empreendimento cujo licenciamento foi requerido, também auxiliam outros setores ou áreas do governo. Por exemplo, dados de altimetria e declividade auxiliam na aplicação do Código Florestal Brasileiro em relação às Áreas de Preservação Permanente (APP) de encostas e de topos de morro; a delimitação das bacias hidrográficas ou das unidades de planejamento e gestão e a atualização da rede de drenagem auxiliam na aplicação do plano estadual de recursos hídricos. Ambas também são insumos para a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do estado.

Outro importante resultado do projeto GeoMS foi o treinamento da equipe do Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul (Imasul), tanto no uso do Sista quanto na utilização de imagens de satélite e mapeamento da cobertura vegetal e do uso da terra. Os resultados são amplamente utilizados por gestores, consultores, fiscais ambientais, analistas ambientais, empreendedores, pesquisadores, professores, estudantes, entre outros.

### 2.3 Sistemas de informações geográficas na web

Os SIG são utilizados há muitos anos em ambientes de decisão, provendo aos usuários facilidades de visualização, armazenamento e análise de dados geoespaciais. Esta é sua principal diferença em relação aos sistemas de informações convencionais: sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos quanto as geometrias dos diferentes tipos de dados inseridos (Casanova et al., 2005). Por meio dos SIG é possível inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais textuais, imagens de satélites, dados obtidos de GPS, malhas vetoriais e mapas temáticos, além de oferecer mecanismos para combinar essas informações e prover análises espaciais, cujos resultados podem nortear a tomada de decisão em diversas aplicações. Esse ferramental está disponível a partir de vários pacotes computacionais, com opções comerciais e gratuitas, compatíveis com diversos dados matriciais e vetoriais.

Ao longo dos anos, os SIG incorporaram novas tecnologias e adotaram arquiteturas inovadoras, acompanhando a evolução das áreas de computação e de desenvolvimento de sistemas. A partir desse processo evolutivo,



surgiram os WebGIS (do inglês *Web Geographic Information System*), cuja finalidade é a mesma dos SIG convencionais, mas que podem ser acessados por meio de um navegador de internet. No WebGIS o sistema de informação é implementado na arquitetura cliente-servidor, na qual a parte “servidor” é responsável pelo tratamento e pelo armazenamento dos dados geoespaciais e a parte “cliente” corresponde a um navegador Web, que apresenta uma interface para visualização dos dados e interação com o sistema (Smith et al., 2020). Uma importante característica de um WebGIS é a forma como se executa a comunicação entre a interface gráfica do cliente e o SGBD geográfico do servidor, que armazena as informações geoespaciais. Para tanto, é utilizada uma camada intermediária entre a aplicação e o SGBD geográfico, composta essencialmente pelos servidores de mapas. Esses servidores podem ser vistos como APIs capazes de coletar os dados diretamente de SGBD geográficos e entregá-los à aplicação acessada pelo usuário final de maneira padronizada, por meio de serviços, como os que são implementados pelo *Open Geospatial Consortium* (OGC). Desse modo, os servidores de mapas permitem a utilização de um mesmo conjunto de dados geográficos por diferentes aplicações.

Com a adoção dessa arquitetura cliente-servidor, o WebGIS possibilita o acesso aos seus recursos por qualquer usuário conectado à internet, sem precisar instalar programas específicos em seu computador ou mesmo adquirir bases de dados geoespaciais. Um WebGIS pode ser caracterizado tanto como uma ferramenta para tratamento genérico de dados geoespaciais, de forma semelhante a um SIG tradicional, quanto como um ambiente para exploração de um conjunto de dados pré-definido, sobre o qual é possível realizar operações projetadas para atender perfis de usuários específicos.

Neste tópico, apresentamos algumas soluções de WebGIS desenvolvidas sob coordenação da equipe técnica da Embrapa Informática Agropecuária para o atendimento de demandas governamentais relativas ao monitoramento do uso e da cobertura da terra, o licenciamento ambiental e a organização de informações geoespaciais para o ZEE dos estados da Amazônia.

### 2.3.1 GeoPortal e WebGIS TerraClass

A atual coleção de mapas do Projeto TerraClass, apresentada no item 2.2.2, serve de apoio à formulação de políticas públicas, à gestão territorial e a ações relacionadas à preservação da biodiversidade nacional e à manutenção da qualidade dos serviços ecossistêmicos, provenientes dos diferentes setores da sociedade civil e do Governo Federal. Os mapeamentos já estavam disponíveis na internet desde seu lançamento, mas em formato bruto, o que exigia dos usuários baixá-los no computador e utilizar um SIG para processá-los, para então realizar os seus estudos. Além disso, considerando o público bastante diversificado de usuários desse tipo de informação, nem sempre familiarizados com o geoprocessamento, havia uma crescente demanda pelo

desenvolvimento de ferramentas amigáveis que pudessem fornecer mecanismos simples de análise das dinâmicas territoriais na Amazônia Legal.

Diante do grande volume dos dados geoespaciais existentes, bem como das dificuldades operacionais que exigiam um trabalho prévio de processamento computacional para organizar e adequar os dados às áreas de interesse dos usuários, foi desenvolvido o GeoPortal TerraClass (Figura 4). Essa plataforma digital consiste de: uma página de entrada com uma apresentação geral do Projeto TerraClass; a descrição e a caracterização da legenda das classes temáticas de mapeamento; um mecanismo para obtenção dos dados geoespaciais de uso e cobertura da terra, em diferentes recortes geográficos, no formato matricial ou vetorial; e o acesso ao WebGIS TerraClass, que é uma tecnologia para facilitar as análises na tela do computador.

O WebGIS TerraClass (Figura 5) é um sistema Web de geoinformações que provê ferramentas interativas para visualização, análise e interoperabilidade dos dados geoespaciais sobre o uso e a cobertura da terra identificados em áreas desflorestadas da Amazônia Legal. O sistema é voltado desde ao usuário comum até ao técnico com conhecimentos avançados em

**Figura 4.**

Página de entrada do GeoPortal TerraClass.

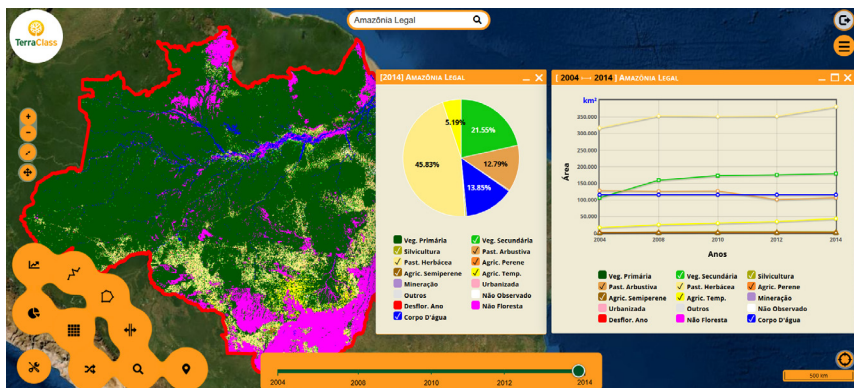
Fonte: GeoPortal TerraClass (2020).



**Figura 5.**

WebGIS TerraClass apresentando o gráfico de setores do mapeamento de 2014 e o gráfico de evolução de 2004 a 2014 da Amazônia Legal.

Fonte: GeoPortal TerraClass (2020).



geotecnologias, propiciando comparações simples e análises espaciais complexas em toda a série histórica dos mapeamentos disponíveis. Para utilização das ferramentas, deve-se selecionar um objeto associado aos recortes territoriais disponíveis, que podem ser da Amazônia Legal, das Unidades da Federação, dos Municípios ou das Unidades de Planejamento Hídrico (UPH).

As ferramentas de visualização permitem: selecionar o ano de mapeamento do uso e da cobertura da terra; comparar mapeamentos lado a lado entre pares de anos percorrendo o mapa com um controle deslizante que mostra cada ano em um dos lados de uma linha vertical; e observar detalhes no mapeamento aumentando a aproximação numa determinada área de interesse.

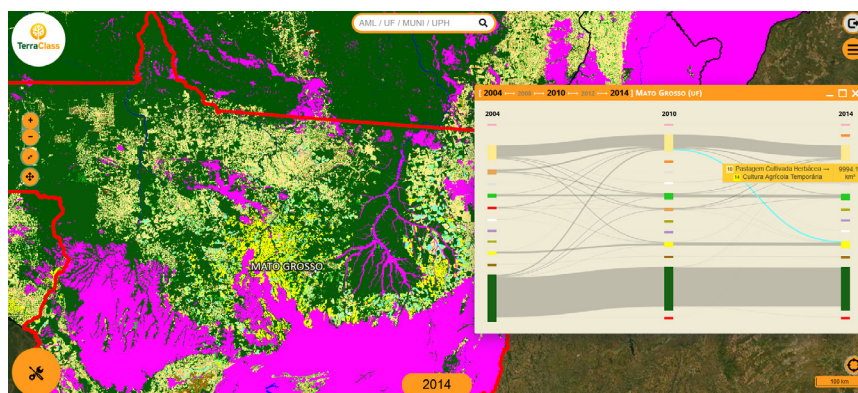
As ferramentas de análise geram: gráficos de setores de um mapeamento em que os setores representam todas as classes de uso e cobertura da terra por fatias proporcionais às respectivas frequências; matriz de transições que apresenta as probabilidades das classes de uso e cobertura da terra de permanecerem nas mesmas classes ou mudarem para outras, mostrando a dinâmica temporal em qualquer combinação entre pares de anos do mapeamento; diagrama de transições baseado no fluxograma de Sankey (Schmidt, 2008), em que os nós constituem a área de uma determinada classe de uso e cobertura da terra num ano e as arestas representam o fluxo de transições de áreas entre as classes ao longo dos anos, possibilitando a espacialização das áreas de mudança sobre os mapas; e o gráfico de evolução que mostra a variação da área de todas as classes de uso e cobertura da terra em toda a série histórica dos mapeamentos.

A Figura 6 exemplifica o diagrama de transições de Sankey do estado de Mato Grosso a partir da seleção dos anos 2004, 2010 e 2014, possibilitando uma análise detalhada das transições de uso e cobertura da terra no período. Posicionando-se o cursor sobre as linhas, pode-se observar os valores das transições entre classes temáticas de interesse. No exemplo ilustrado na Figura 6, a linha realçada na cor ciano representa a mudança de 9.948,18 km<sup>2</sup> da classe temática Pastagem Cultivada Herbácea em 2010 para a classe temática Cultura Agrícola Temporária em 2014, que também aparece espacializada sobre o mapeamento de 2014 na mesma coloração, indicando o aumento das áreas agrícolas associado à conversão de áreas antes destinadas à pecuária.

O WebGIS TerraClass possui interoperabilidade com SATVeg, acessado por meio da seleção de um ponto a partir de um mapeamento de uso e cobertura da terra, o que automaticamente aciona uma ponte de integração da aplicação e exibirá no SATVeg o perfil temporal do índice vegetativo do sensor MODIS da respectiva localização geográfica, expressando as variações da biomassa vegetal ao longo do tempo.

**Figura 6.** Diagrama de transições de Sankey gerado para os anos 2004, 2010 e 2014 do estado de Mato Grosso.

Fonte: GeoPortal TerraClass (2020).



O GeoPortal TerraClass está disponível para acesso livre no endereço [www.terraclass.gov.br](http://www.terraclass.gov.br) e tem como público-alvo usuários de dados que necessitam conhecer e analisar a dinâmica de uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal, com foco em gestão territorial, tais como gestores públicos, pesquisadores, professores, alunos, profissionais liberais, extensionistas, associação de produtores, sindicatos rurais, entre outros.

### 2.3.2 Sistema interativo de suporte ao licenciamento ambiental (Sisla)

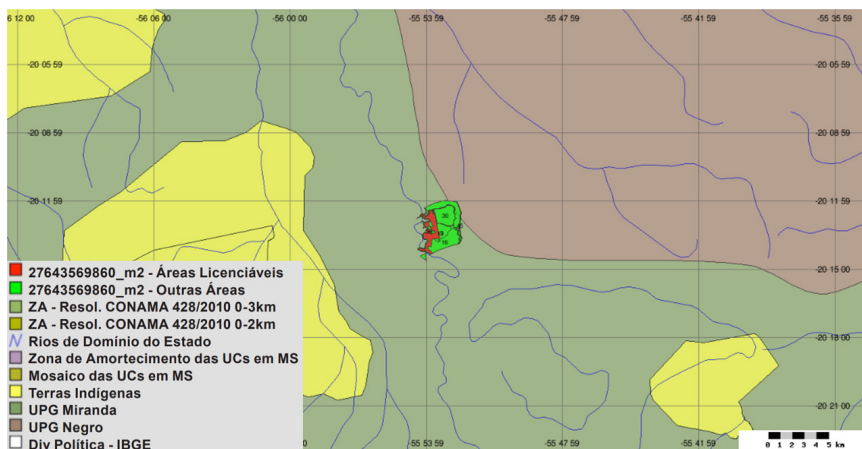
O Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (Sisla) é uma aplicação WebGIS que permite a coleta, a organização, a integração e o gerenciamento de informações georreferenciadas relacionadas a processos de licenciamento ambiental por parte de órgãos governamentais. O principal objetivo dessa aplicação é possibilitar aos órgãos governamentais o monitoramento completo do processo de licenciamento ambiental em suas diversas etapas, que vão desde a análise georreferenciada do entorno do empreendimento solicitante de licenciamento até o suporte à tomada de decisão para deferimento do processo. O maior benefício proporcionado pelo uso de aplicações como o Sisla para esse tipo de atividade é a capacidade de prover maior agilidade, transparência e segurança na tramitação dos processos, pois as análises são baseadas em dados oficiais do governo e ficam disponíveis gratuitamente na própria aplicação. Assim, o próprio empreendedor solicitante do licenciamento ambiental pode verificar, pela internet, se o seu empreendimento está ou não em conformidade geográfica e ambiental, antes mesmo de submeter o processo ao órgão governamental responsável.

O Sisla ([sisla.imasul.ms.gov.br](http://sisla.imasul.ms.gov.br)) foi implantado no estado de Mato Grosso do Sul em outubro de 2008, quando os processos relacionados a pedidos de licenciamento ambiental para atividades em setores como infraestrutura, agropastoril, mineração, turismo, indústria, saneamento, pesca, fauna e florestas passaram a ser analisados pelo estado com o suporte do WebGIS.

Especificamente para o setor agropastoril, são passíveis de licenciamento ambiental no estado de Mato Grosso do Sul atividades como construção de barragens, estabelecimento de infraestrutura de irrigação, confinamentos para bovinos, equinos, ovinos e caprinos e construção de silos, armazéns e tanques para aquicultura, conforme definido pelo Imasul.

No desenvolvimento do Sisla foram utilizados softwares livres voltados para a temática de geotecnologia, como o I3Geo (Software Público Brasileiro, 2020; Speranza et al., 2011). Isso permite sua adaptação, com baixo custo, às demandas e às necessidades locais de cada governo, e até mesmo sua integração a sistemas corporativos para tramitação de processos. O principal módulo do sistema – a análise e a geração de relatório de entorno de empreendimento – permite ao empreendedor solicitante de licenciamento ambiental realizar o envio dos mapas georreferenciados de sua propriedade, contendo os limites do empreendimento, áreas de proteção permanente e afins, conforme regulamentado pelo órgão governamental. A partir desses mapas, o Sisla realiza consultas geoespaciais para verificar a proximidade ou a intersecção das áreas do empreendimento com relação a áreas protegidas pelo governo, tais como terras indígenas e unidades de conservação, além de análises de declividade para as áreas que compõem o empreendimento (Figura 7), gerando relatórios de análise espacial (Figura 8).

Outros módulos do Sisla foram desenvolvidos para acesso interno e exclusivo dos técnicos dos órgãos governamentais, como o cadastro e a consulta de andamento de processos por atividade solicitada; a consulta geoespacial para a geração de relatórios gerenciais contendo a distribuição espacial e a tramitação dos processos; e a análise técnica visual e individual de processos que permite ao especialista emitir um parecer sobre o deferimento ou não do processo (Figura 9).



**Figura 7.** Mapa contendo os limites da propriedade onde deverá ser instalado o empreendimento e as áreas protegidas pelo governo.

Fonte: Silva et al. (2011b).



**Figura 8.**

Exemplo de relatório gerado pelo Sisla, com a identificação de áreas protegidas internas ou próximas à propriedade.

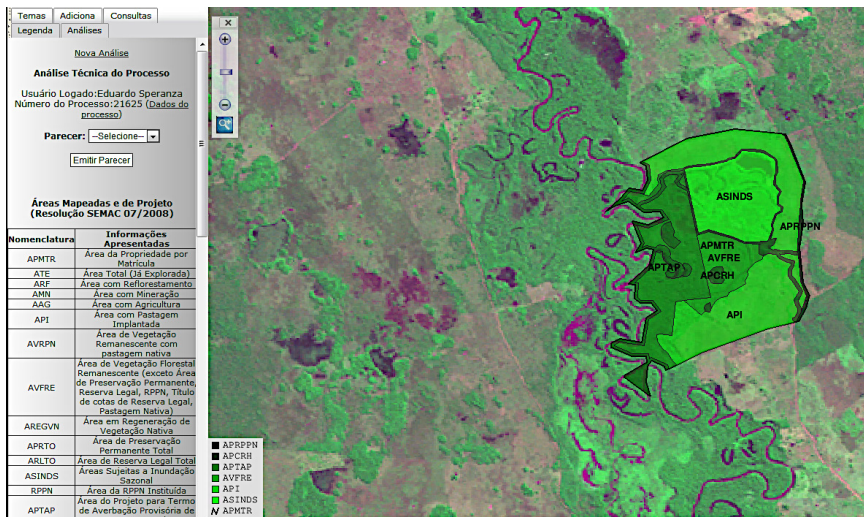
Fonte: Silva et al. (2011b).

Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Zonas de Amortecimento, ZAs (Resolução Conama 428 0-2km) e ZAs (Resolução Conama 428 0-3km) internas à Propriedade		
	Nome	Distância
Nada encontrado		
Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Zonas de Amortecimento, ZAs (Resolução Conama 428 0-2km) e ZAs (Resolução Conama 428 0-3km) que contém totalmente a Propriedade		
	Nome	Distância
Nada encontrado		
Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Zonas de Amortecimento, ZAs (Resolução Conama 428 0-2km) e ZAs (Resolução Conama 428 0-3km) próximas até 15 km da Propriedade		
	Nome	Distância
<b>Unidades de Conservação encontradas</b>		
Nada Encontrado		
<b>Terras Indígenas encontradas</b>		
Taunay-Ipegue	36 - Área do Projeto para Termo de Averbação Provisória de Reserva Legal (APTAP)	11,012 km
Taunay-Ipegue	36 - Área do Projeto para Termo de Averbação Provisória de Reserva Legal (APTAP)	7,061 km
<b>Zonas de amortecimento encontradas</b>		
Nada Encontrado		
<b>ZAs (Resol. CONAMA 428 0-2km) encontradas</b>		
Nada Encontrado		
<b>ZAs (Resol. CONAMA 428 0-3km) encontradas</b>		
Nada Encontrado		

**Figura 9.**

Exemplo de análise técnica visual e individual de processo de licenciamento ambiental disponibilizada pelo Sisla.

Fonte: Silva et al. (2011b).



Nos quase 12 anos de funcionamento no estado de Mato Grosso do Sul, o Sisla possui, dentre os seus usuários cadastrados, profissionais de diversos órgãos governamentais, empresas privadas, consultores, universidades e bancos, que fazem uso do sistema para a solicitação de licenças ambientais, bem como para o acesso às suas informações geoespaciais. Diversas normativas publicadas pelo governo estadual, relacionadas ao licenciamento ambiental, incluem as análises realizadas pelo Sisla como pré-requisito, em todas as fases do processo de licenciamento ambiental. Desse modo, é possível afirmar que



a sua implantação no estado de Mato Grosso do Sul obteve êxito, podendo ser estendida a outros órgãos municipais, estaduais e federais.

### 2.3.3 SIAGEO Amazônia - Sistema Interativo de Análise Geoespacial da Amazônia Legal

A Amazônia Legal é uma região do Brasil que foi instituída por lei federal com o objetivo de viabilizar o planejamento econômico e a definição de políticas públicas e de proteção de biodiversidade dessa parte do território nacional, a qual abrange os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do estado do Maranhão, com área total de 5.217.423 km<sup>2</sup>, ou seja, quase 60% do território do país.

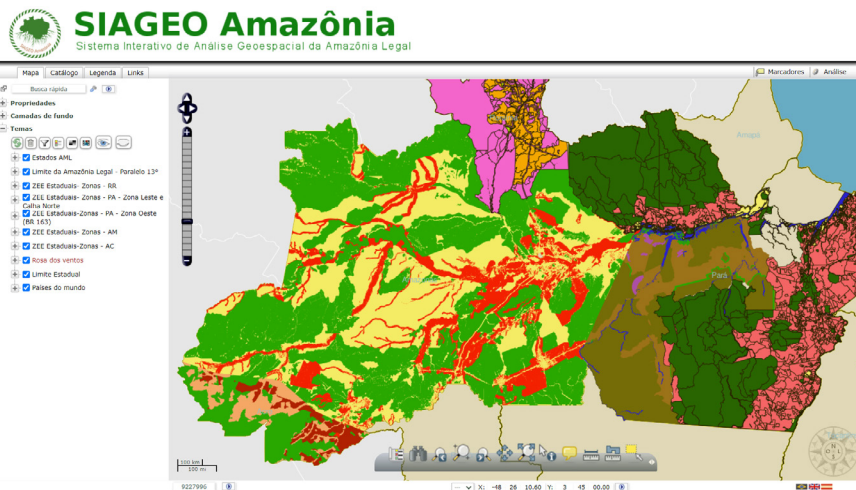
A ocupação desse território intensificou-se de forma desordenada a partir da década de 70, por meio da implantação de sistemas de produção incompatíveis com a sustentabilidade dos recursos naturais da região. O ZEE, instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente, foi então estabelecido pelo Governo Federal com o objetivo de viabilizar o desenvolvimento sustentável a partir da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico com a proteção ambiental. Sua elaboração é baseada no diagnóstico dos meios físico, biológico, socioeconômico e jurídico-institucional e no estabelecimento de cenários exploratórios para a proposição de diretrizes para cada unidade territorial identificada, considerando, inclusive, ações voltadas à correção de impactos ambientais danosos existentes. As especificidades econômicas, sociais, ambientais e culturais, as vulnerabilidades e as potencialidades de cada estado, resultam na obtenção de diferentes diretrizes e orientações, em seus ZEE, para planejamento da ocupação e do uso de seus territórios (Brasil, 2020).

O projeto “Uniformização do Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal e Integração com Zoneamentos Agroecológicos da Região (UZEE)” foi realizado pela Embrapa com o objetivo de integrar os diferentes ZEE estaduais e fornecer uma caracterização global da Amazônia Legal, capaz de subsidiar a construção de políticas públicas macrorregionais de forma consistente e independente dos limites estaduais. A liderança desse projeto foi conduzida pela Embrapa Amazônia Oriental, contando com a participação da Embrapa Informática Agropecuária, com o apoio do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e dos estados cobertos pela Amazônia Legal para acesso e validação dos dados utilizados na construção dos ZEE estaduais. O projeto contou com apoio financeiro da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI).

Para suprir a necessidade de organização, armazenamento e disponibilização das informações geoespaciais relativas ao projeto e às informações dos ZEE estaduais e dos respectivos dados básicos utilizados para construí-los, foi desenvolvido o Sistema Interativo de Análise Geoespacial da Amazônia Legal (SIAGEO Amazônia), mostrado na Figura 10. O SIAGEO Amazônia,

**Figura 10.**  
Tela do SIAGEO  
Amazônia.

Fonte: Embrapa  
Informática  
Agropecuária  
(2020b).



disponível no endereço [www.amazonia.cnptia.embrapa.br](http://www.amazonia.cnptia.embrapa.br), possibilita a visualização e a obtenção de mapas georreferenciados e de dados tabulares de modo interativo, por meio da manipulação de diferentes níveis de informação de acordo com o interesse e a necessidade do usuário. Do mesmo modo, permite ao usuário efetuar análises espaciais tendo por base um dado vetorial de referência, na forma de um ponto, linha ou polígono, e um conjunto de mapas temáticos que se encontram estruturados no WebGIS, além de também disponibilizar o acesso aos documentos técnicos e aos marcos legais referentes a cada iniciativa de zoneamento.

Atualmente, o sistema conta com um total de aproximadamente sete mil camadas de dados geoespaciais, tanto na forma vetorial quanto matricial, devidamente catalogados e organizados, de forma que possam ser visualizados diretamente na ferramenta, baixados para consumo pelos usuários ou adotados como parâmetros para análises espaciais sobre regiões de interesse.

O SIAGEO foi desenvolvido com base em softwares livres, sendo que suas funcionalidades básicas são derivadas do software I3Geo. O sistema possui módulos para a geração de dois tipos de relatórios de entorno, que permitem a caracterização da vizinhança de uma região de interesse. O primeiro deles é o Módulo de Análise Espacial, que possibilita que um usuário envie os dados geoespaciais de sua área de interesse e obtenha um relatório da vizinhança com relação a um conjunto de temas selecionados dentre aqueles já catalogados no sistema. Já o Módulo Bancário oferece uma abordagem semelhante, porém os temas utilizados para a análise de vizinhança estão pré-selecionados e fixados naqueles determinados pelas instituições bancárias como relevantes para análises de financiamento de empreendimentos.

### 3 Considerações finais

Nas últimas décadas, a agricultura brasileira vem passando por intensos processos de transformações estruturais, tecnológicas, econômicas, sociais e ambientais, os quais têm reconfigurado as atividades do setor e suas dinâmicas territoriais. Neste capítulo apresentamos algumas iniciativas e produtos da Embrapa Informática Agropecuária que atendem, direta ou indiretamente, a demandas relacionadas ao tema da gestão territorial no Brasil, no qual a agricultura assume amplo protagonismo pela sua característica dinâmica e pela destacada contribuição no resultado do Produto Interno Bruto nacional. Todas as soluções tecnológicas citadas, desenvolvidas a partir de softwares livres, são públicas e de uso irrestrito, garantindo seu acesso e utilização por toda a sociedade.

As geotecnologias são ferramentas essenciais para a geração de dados e informações que contribuam nas discussões e nos posicionamentos oficiais dos governos em diferentes fóruns relacionados à gestão estratégica do território nacional, bem como no enfrentamento de crises e de questionamentos determinantes para a defesa e a manutenção da soberania nacional.

Novos desafios científicos se colocam para o tratamento, a organização e a disponibilização de volumes de dados geoespaciais, produzidos em velocidade e quantidade cada vez maiores a partir da evolução e do surgimento das novas geotecnologias. As perspectivas futuras indicam que, no processo da transformação digital, os dados geoespaciais estarão cada vez mais presentes no dia a dia das pessoas, aumentando a demanda por serviços geoespaciais e soluções para a melhoria dos processos produtivos e de tomada de decisões relacionadas à inteligência territorial e à gestão da dinâmica da paisagem.

### 4 Referências

ALMEIDA, C. A. de; COUTINHO, A. C. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 3, p. 291-302, jul./set. 2016. DOI: [10.1590/1809-43922015055504](https://doi.org/10.1590/1809-43922015055504).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Zoneamento ecológico-econômico**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/gestao-territorial/zoneamento-territorial.html>. Acesso em: 8 maio 2020.

CASANOVA, M.; CÂMARA, G.; DAVIS, C.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. (ed.). **Bancos de dados geográficos**. Curitiba: MundoGeo, 2005. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/>. Acesso em: 3 out. 2014.

COLWELL, R. N. (ed.). **Manual of remote sensing: interpretation and applications**. 2nd ed. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1983. v. 2, 2440 p.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg)**. 2020a. Disponível em: <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 4 ago. 2020.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Sistema Interativo de Análise Geoespacial da Amazônia Legal (SIAGEO Amazônia)**. 2020b. Disponível em: <https://www.amazonia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 4 ago. 2020.

ESQUERDO, J. C. D. M.; ANTUNES, J. F. G.; COUTINHO, A. C.; SPERANZA, E. A.; KONDO, A. A.; SANTOS, J. L. SATVeg: a web-based tool for visualization of MODIS vegetation indices in South America. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 175, 105516, Aug 2020. DOI: [10.1016/j.compag.2020.105516](https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105516).

GEOPORTAL TERRACCLASS. **O projeto TerraClass**. Disponível em: [www.terraclass.gov.br](http://www.terraclass.gov.br). Acesso em: 4 ago. 2020.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 3, p. 224-234, Sept. 1994. DOI: [10.1016/0034-4257\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90018-3).

Jensen, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2007. 592 p.

LI, Z.; YAN, H. Transformation in scale for continuous zooming. In: GUO, H.; GOODCHILD, M. F.; ANNONI, A. (org.). **Manual of digital earth**. Singapore: Springer Singapore, 2020. p. 279-324. E-book. DOI: [10.1007/978-981-32-9915-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9915-3_8).

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington, DC. **Proceedings**. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, 1974. v. 1: technical presentations, p. 309-317. Compiled and edited by S.C. Freden, E. P. Mercanti, M. A. Becker. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022592>. Acesso em: 4 ago. 2020.

SCHMIDT, M. The Sankey diagram in energy and material flow management: part II: methodology and current applications. **Journal of Industrial Ecology**, v. 12, n. 2, p. 173-185, 2008. DOI: [10.1111/j.1530-9290.2008.00015.x](https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00015.x).

SILVA, J. dos S. V. da; POTT, A.; ABDON, M. de M.; POTT, V. J.; SANTOS, K. R. dos. **Projeto GeoMS: cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011a. 64 p.

SILVA, J. dos S. V. da; SPERANZA, E. A.; VENDRUSCULO, L. G.; ESQUERDO, J. C. D. M.; MAURO, R. de A.; BIANCHINI, S. L.; FLORENCE, R. de O. **Projeto GeoMS: melhorando o sistema de licenciamento ambiental do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011b. 64 p.

SMITH, M. J. de; GOODCHILD, M. F.; LONGLEY, P. A. **Geospatial analysis – a comprehensive guide to principles techniques and software tools**. Disponível em: <https://spatialanalysisonline.com/>. Acesso em: 28 maio 2020.

SOFTWARE PÚBLICO BRASILEIRO. **I3Geo**. Disponível em: <https://softwarepublico.gov.br/social/i3geo>. Acesso em: 8 maio 2020.

SPERANZA, E. A.; ESQUERDO, J. C. D. M.; SILVA, J. S. V.; ANTUNES, J. F. G.; LOURENCO, F. V.; CEZAR, V. M. SISLA- Interactive system for environmental licensing support. **Geografia**, v. 36, p. 57-72, 2011.





# 5 Computação científica na agricultura

Sônia Ternes  
Maria Fernanda Moura  
Kleber Xavier Sampaio de Souza  
Glauber José Vaz  
Stanley Robson de Medeiros Oliveira  
Roberto Hiroshi Higa  
Helano Póvoas de Lima  
Celina Maki Takemura  
Enilda Coelho  
Francisco Ferraz Laranjeira Barbosa  
Marcos Cezar Visoli  
Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes  
Luiz Otávio Campos da Silva  
Sandra Aparecida Santos  
Sílvia Maria Fonseca Silveira Massruhá  
Urbano Gomes Pinto de Abreu  
Balbina Maria Araujo Soriano  
Suzana Maria Salis  
Márcia Divina de Oliveira  
Walfrido Moraes Tomas

## 1 Introdução

O desenvolvimento recente de tecnologias digitais tem estimulado um crescimento vertiginoso da capacidade de aquisição de grandes volumes de diferentes tipos de dados, provenientes das mais variadas fontes. Na agricultura, ao longo de sua cadeia de geração de valor, esses dados podem compreender: (i) dados ômicos (genômica, proteômica, transcriptômica e metabolômica); (ii) atributos físico-químicos com localização espaço-temporal adquiridos



por meio de sensores (iii) imagens aéreas e de satélites com localização espaço-temporal; (iv) dados socioeconômicos; dentre outros.

De forma similar ao que ocorre com dados oriundos de fontes mais tradicionais, a utilização desse grande volume de dados, seja no desenvolvimento de um novo ativo biotecnológico, no monitoramento de uso da terra ou no controle de um processo de produção por um controlador, pressupõe sua análise por meio de modelos e algoritmos capazes de extrair informação útil ao processo de tomada de decisão. Assim, a computação científica, entendida como uma coleção de técnicas, ferramentas e teorias que englobam matemática, estatística, física e computação e abrangem conhecimentos específicos de subáreas, tais como estatística aplicada, econometria, matemática aplicada, inteligência computacional, visualização científica e biometria, continuará a ser central no desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas, agora no contexto da emergente Agricultura Digital. Nas últimas décadas, inclusive, a computação científica tem sido apontada como o terceiro pilar da pesquisa científica, junto com a experimentação e a teoria (Souza et al., 2017).

Nas seções seguintes apresentamos exemplos de aplicações que utilizam algoritmos e técnicas de computação científica para contribuir com a solução de problemas do setor agropecuário. Na Seção 2 são apresentadas duas aplicações que, de modo geral, partem da observação de um grande conjunto de dados brutos visando reconhecer padrões embutidos nos mesmos e derivar conhecimento e ações a partir dos padrões observados que podem, inclusive, ser utilizados por um Sistema Especialista. Na Seção 3 são apresentadas três aplicações baseadas na construção de modelos matemáticos e estatísticos, a partir dos quais podem ser realizadas previsões e análises baseadas em cenários de simulação hipotéticos, para auxiliar a tomada de decisão do poder público. Por meio dessas diferentes aplicações é possível observar que a computação científica é uma área de pesquisa eminentemente transversal a outras.

## 2 Inteligência artificial

Inteligência Artificial é uma área ampla, que teve seu início na segunda metade da década de 1940, quando foi concebida uma rede neural artificial descrevendo como os neurônios humanos deveriam aprender a executar cálculos. A área passou por muitas modificações e intersecções com outras áreas, especialmente a modelagem estatística e vários métodos de reconhecimento de padrões. Essas intersecções formam um grupo de técnicas conhecidas como sistemas inteligentes, que são baseados em aprendizado de máquina.

Um modelo de aprendizado de máquina é apoiado em dados observados previamente, provenientes de bases de dados, experimentos, imagens ou textos. Os dados possuem atributos, que precisam ser descritos para cada

observação. Por exemplo, se coletamos dados de uma pastagem em diferentes locais da propriedade, teremos os mesmos atributos para cada coleta de dados, tais como: local de coleta, tipo de capim, data da coleta, situação do pasto (degradado, não degradado, em degradação), posição geográfica da coleta, percentual de cobertura do solo, tipo de solo, altura do pasto, etc. Com esses atributos e os dados coletados, pode-se construir um modelo de classificação da situação da pastagem. Se os dados observados fossem textos, os atributos poderiam ser os vocábulos presentes nos textos; se fossem imagens, os atributos poderiam ser essas imagens divididas em pedaços bem pequenos, chamados *pixels*, considerando-se, por exemplo, a cor de cada pixel.

Nos itens 2.1 e 2.2 são apresentados, respectivamente, exemplos de classificação automática de solos e de exploração de informações em textos, fazendo uso de diferentes técnicas de Inteligência Artificial.

## 2.1 Classificação automática de solos

Para classificar um perfil de solo, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) considera uma ampla gama de atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos, além de aspectos ambientais como clima, vegetação, relevo, material originário, condições hídricas, características externas ao solo e relações solo e paisagem (Santos et al., 2013).

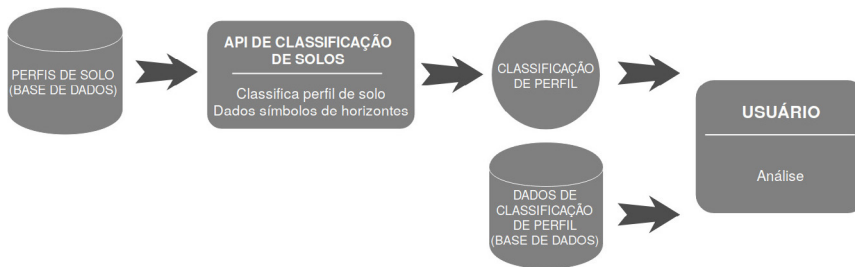
Visando auxiliar nesse desafio, que é um processo laborioso, a Embrapa Informática Agropecuária e a Embrapa Solos conceberam duas ferramentas inteligentes para classificação automática de solos. A primeira refere-se ao desenvolvimento de um Sistema Especialista que contém as regras do SiBCS de forma automática para classificação de solos. A segunda iniciativa diz respeito ao sistema Web (SoloClass) para classificação de perfis de solos, por meio de um comitê de soluções inteligentes baseadas em algoritmos de aprendizado de máquina. Essas ferramentas inteligentes foram desenvolvidas dentro do escopo do projeto “Uso de dispositivos móveis inteligentes na classificação de solos brasileiros – SmartSolos”, liderado pela Embrapa Solos. Ambas as ferramentas são apresentadas nas subseções a seguir.

### 2.1.1 Sistema especialista baseado no SiBCS

O sistema especialista baseado nas regras do SiBCS simula o raciocínio de um profissional especialista do domínio ao realizar a classificação de perfis de solo. Dessa forma, pode ser usado para classificar perfis de solos ainda não conhecidos e para validar perfis previamente classificados (Vaz et al., 2018).

Vaz et al. (2019a) usaram o sistema especialista para analisar dados de solos disponibilizados pelo IBGE. Mostraram que se trata de importante ferramenta para a curadoria dos dados de solos brasileiros, pois permite executá-la de forma mais eficiente e com menos erros, beneficiando a governança de solos no Brasil.

Também foram mostradas as vantagens de se disponibilizar o sistema especialista por meio de uma API e a importância dessa ferramenta para facilitar a curadoria dos dados de solos e orientar um registro mais adequado desses dados (Vaz et al., 2019b). A Figura 1 mostra que, disponibilizando-se o sistema especialista por meio da API, o usuário pode obter as classificações de perfis de solo do sistema especialista e compará-las com classificações previamente conhecidas. Assim, podem-se analisar possíveis erros nos dados de solos e corrigi-los, tornando a ferramenta poderosa para melhoria da qualidade de dados de solos do Brasil.



**Figura 1.** Esquema da análise de classificação de perfis de solo.

Fonte: Vaz et al. (2019b).

O grande desafio desse sistema está em codificar todas as regras do SiBCS para tratar seus quatro primeiros níveis categóricos. A taxonomia de classificação conta com mais de mil classes entre o primeiro e o quarto nível categórico. Além disso, as regras são bastante complexas, de maneira que é fundamental o trabalho conjunto e muito empenho de cientistas da computação e de solos para viabilizar o desenvolvimento de tal sistema.

Embora um aplicativo específico esteja sendo desenvolvido pela Embrapa para utilizar essa API de classificação de solos, instituições parceiras também podem utilizá-la para criar novas soluções que contem com a classificação de solos, desde que seus dados estejam codificados de acordo com os padrões estabelecidos pelo sistema.

Em relação aos padrões de dados de solos do Brasil, há diferentes iniciativas que buscam organizá-los. No entanto, nenhuma delas se consolidou como um padrão, nem atende às necessidades do sistema especialista desenvolvido, de maneira que muitas observações puderam ser realizadas ao longo deste trabalho em relação à organização desses dados no Brasil. É comum, por exemplo, observar redundância de dados em diferentes campos, ausência de campos necessários para o registro de informações importantes para a classificação de solos e representações de dados que dificultam o processamento computacional e sua recuperação. A próxima etapa deste trabalho é, portanto, consolidar uma série de recomendações para a estruturação de dados de solos brasileiros a fim de tornar mais simples a manipulação computacional desses

dados, garantir maior qualidade dos dados armazenados e facilitar a criação de novas soluções que dependam deles.

Pesquisas futuras estão na possibilidade de automatizar outros processos que normalmente tomam muito tempo do profissional ou aumentam muito a incerteza dos dados coletados no campo. Por exemplo, cor, textura, limites das camadas de solos e outros atributos são determinados de uma maneira subjetiva, de acordo com interpretações pessoais realizadas no momento do trabalho em campo. A coleta desse tipo de informação pode ser facilitada e automatizada por meio de ferramentas computacionais que extraiam características de imagens tiradas no campo.

### 2.1.2 Sistema inteligente de classificação de solos

Uma alternativa promissora para classificação automática de solos é a combinação de algoritmos de aprendizado de máquina (AM) com métodos de seleção de atributos. Algoritmos de AM operam construindo um modelo a partir de amostras de treinamento a fim de fazer previsões guiadas pelos dados, contendo observações de perfis de solos previamente classificados por pedólogos. Por sua vez, os métodos de seleção de atributos têm como objetivo principal encontrar um subconjunto de variáveis relevantes para uma tarefa-alvo, tornando o processo de aprendizado mais eficiente, por meio da simplificação do custo operacional dos modelos, possibilitando um melhor entendimento sobre os resultados encontrados (Guyon; Elisseeff, 2003).

O SoloClass é um sistema inteligente desenvolvido para classificação de perfis de solos. Esse sistema permite que um usuário forneça como entrada um conjunto de variáveis de um ou mais perfis de solo, e receba como resultado a classificação de cada perfil de acordo com o SiBCS, com uma probabilidade associada à classe prevista.

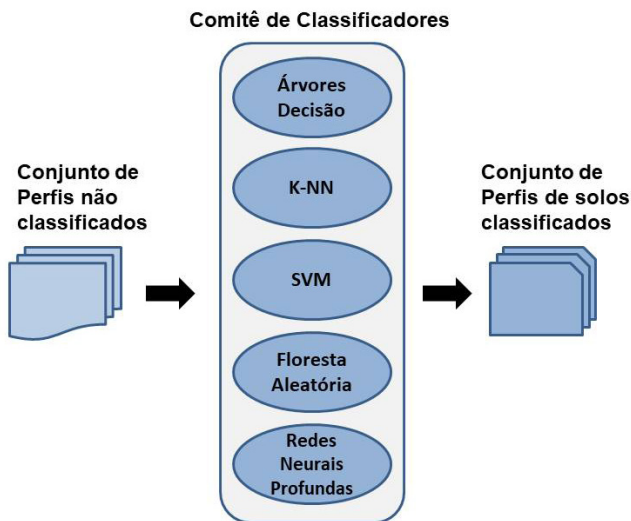
Cinco classes de algoritmos de AM foram utilizadas para a classificação inteligente de solos: i) simbólica: árvores de decisão; ii) baseada em instâncias:  $k$ -NN ou  $k$  vizinhos mais próximos; iii) aprendizado estatístico: SVM - *Support Vector Machines*; iv) *bootstrap aggregating: Random Forest*; e v) conexionista: Redes Neurais Profundas. Todos esses algoritmos foram treinados para os quatro níveis categóricos (ordens, subordens, grandes grupos e subgrupos) adotados pelo SiBCS.

A arquitetura do sistema SoloClass é baseada em um comitê de classificadores, conforme pode ser visto na Figura 2.

Ao receber um conjunto de perfis de solos, com números diferentes de horizontes, o usuário pode selecionar um ou mais classificadores que foram treinados a partir de uma base de dados pré-classificada por pedólogos (processo de indução). Em seguida, o sistema dispara os classificadores selecionados e armazena os resultados apresentados individualmente. Ao final do processo de dedução, o comitê de classificadores (Figura 2) atribui o resultado

da classificação ao perfil de solo por votação, isto é, a classificação associada ao perfil é aquela que obteve maior frequência ou votação majoritária.

Essa arquitetura baseada em comitê de classificadores tem algumas vantagens como: a) aumento do poder de predição do sistema em função do uso de vários classificadores ajustados aos dados e combinados para esse aumento; b) redução da variância e do viés quando comparada ao uso de apenas um método de aprendizado de máquina; c) arquitetura extensível, isto é, outros classificadores podem ser adicionados.



**Figura 2.** Arquitetura do SoloClass baseada em um comitê de classificadores.

Os principais benefícios do sistema SoloClass são: a) auxiliar projetos e programas nacionais de levantamento de solos, como o Pronasolos (Polidoro et al., 2016), atuando como uma ferramenta facilitadora nos trabalhos de classificação de solos; b) facilitar o entendimento da classificação de solos para agricultores, estudantes, professores, extensionistas e pesquisadores; e c) minimizar eventuais erros humanos durante a atividade de classificação de solos.

Por se tratar de um Sistema Web, o SoloClass<sup>1</sup> pode ser acessado por meio de dispositivos móveis ou computadores pessoais, sem nenhuma restrição de sistema operacional, contribuindo para ampliar o acesso e a inclusão de um maior número de usuários. O SoloClass possui interface responsiva, isto é, pode ser caracterizado pela adaptação visual de uma página ou interface a qualquer dispositivo em que seja visualizada, sem a necessidade do uso de versões específicas para cada modelo.

<sup>1</sup> Disponível em: [www.soloclass.cnptia.embrapa.br](http://www.soloclass.cnptia.embrapa.br)

## 2.2 Mineração de textos em publicações técnico-científicas

O processo de aprendizado humano é baseado em observações e formação de padrões, hipóteses e inferências a partir dessas observações. Nos dias de hoje, sobram observações: há um volume excessivo de dados, tanto organizados em bases de dados quanto publicados no formato textual. A mineração de dados usa processos de análise estatística, cujos algoritmos são implementados em programas computacionais que conseguem lidar com um grande volume de dados, para encontrar padrões e auxiliar a formatação de hipóteses e modelos que permitam descrever esses padrões.

Pode-se afirmar que a mineração de textos (MT) é uma especialização do processo de mineração de dados. A principal diferença entre os dois processos é que, enquanto a mineração de dados convencional trabalha exclusivamente com dados estruturados (pré-organizados em bases de dados ou alguma representação, como uma planilha), a mineração de textos lida com dados inerentemente não estruturados. Logo, na MT o primeiro desafio é estruturar os dados com seus respectivos atributos, a partir dos textos, para que se possa utilizar algoritmos de mineração de dados.

A estruturação dos textos depende do problema abordado. Por exemplo, se queremos conhecer ou relacionar quais os tipos de tecnologias agrícolas estão ligados ao uso da água na agricultura brasileira, pode-se delimitar um conjunto de publicações técnico-científicas sobre o tema e dele extrair essas informações. Nesse caso, uma opção é o uso de ferramentas linguísticas que permitam identificar o vocabulário de interesse (por exemplo: irrigação, colheita, recursos hídricos, pivô, etc.) e delimitar e desambiguar localizações geográficas (tais como: Rio São Francisco, Igreja de São Francisco, Cidade São Francisco, etc.) nos textos.

Para problemas similares a esse, na metodologia proposta por Moura et al. (2017) encontra-se um passo a passo semiautomatizado, com o uso de ferramentas de software desenvolvidas especificamente para isso, contendo as seguintes etapas: 1) delimitação das publicações de interesse; 2) extração e desambiguação de topônimos com a ferramenta TopExtract (Takemura et al., 2013); 3) formatação de um dicionário dos termos de interesse, que é uma atividade manual, realizada por especialistas do domínio; 4) uso da ferramenta ExtracTrans (Extração de Transações) para: i) extração de termos dos textos, por similaridade e sinonímia; ii) criação das transações presentes nos textos (todo o vocábulo de interesse que apareceu no texto); e iii) eliminação de dados redundantes, que não contribuem para os resultados; 5) extração de padrões, utilizando algoritmos de aprendizado de máquina, como os de regras de associação, ou mesmo colocando os resultados em uma planilha Excel ou outro software semelhante. Por exemplo, em Moura et al. (2017) foram encontradas para a região Nordeste 40 regras de associação, dentre as quais:



*Se tecnologiaClasse = engenharia agricola & cultura = uva & culturaClasse = frutíferas & regioao = NE ==> tecnologia = irrigacao.*

Uma outra aplicação de interesse bem específico foi descrever quais métodos quantitativos e de computação científica foram citados nas publicações científicas da Embrapa, dentre as consideradas de mais alto nível, segundo o indicador Qualis CAPES (A1, A2, B1 e B2), entre os anos de 2000 e 2018. A Embrapa possui um sistema próprio de catalogação de todas as suas publicações e tecnologias (Embrapa, 2020), cujos metadados, dos quais as palavras-chave fazem parte, são auditados, o que mostra sua altíssima qualidade. Porém, dois grandes problemas apresentam-se para o estudo: i) a grande quantidade de publicações nesse intervalo, aproximadamente vinte e dois mil artigos; e ii) o fato de que as palavras-chave dos artigos cobrem termos de agricultura, e não necessariamente termos de métodos quantitativos e computação científica. Ou seja, as palavras-chave de interesse dessa análise de dados não faziam parte do repertório de palavras-chave convencionais desses artigos e, portanto, não poderiam ser localizadas apenas por resultados de busca e muito menos lendo-se cada um dos vinte e dois mil artigos, o que seria uma tarefa muito extensa. Dessa forma, a metodologia de Moura et al. (2017) foi adaptada da seguinte forma para utilização nesse processo: 1) já se encontravam selecionados os 22 mil artigos de interesse; 2) o processo de geolocalização não foi necessário e em seu lugar foi criado um processo para realizar o *download* dos artigos e convertê-los para texto plano; 3) os especialistas do domínio, de métodos quantitativos e computação científica, organizaram o dicionário de termos necessário à área; 4) foi adaptada uma ferramenta (a partir da ExtracTrans) para extrair, por similaridade, os vocábulos de interesse da coleção de textos e, na sequência, colocar os dados em uma planilha; e 5) a partir das planilhas de dados, em formato Excel, foram aplicadas as técnicas de cruzamento de tabelas dinâmicas, agregação de dados de outras fontes, agrupamentos, seleção e filtros para facilitar a exploração dos dados em diferentes visões.

Algumas aplicações exploratórias sobre um grande volume de textos fazem uso de um processo semelhante ao utilizado pelas máquinas de busca, como Google, Yahoo, etc. Indexa-se a coleção textual, na qual cada texto (dado) corresponde a uma linha de uma tabela e cada vocábulo (atributo) a uma coluna, nem sempre sendo necessário o conhecimento da língua na qual o texto esteja escrito, muito menos se há dependências entre os vocábulos. Em cada célula coloca-se a frequência do vocábulo no texto, ou alguma medida derivada desta. Então, como essa tabela tem um número exagerado de colunas e muitas células com o valor zero, procura-se diminuir o número de colunas, selecionando-se os vocábulos ou a composição de vocábulos estatisticamente mais significativos.

Existem muitas técnicas para diminuição do número de colunas da tabela, sendo todas dependentes do que se quer responder em relação à coleção de

textos. Para formatar uma coleção de textos em uma tabela como essa, tem-se a ferramenta I-PreProc (Pereira; Moura, 2015). Uma aplicação comum para essa formatação é agrupar os textos com conteúdos semelhantes de modo que eles devam corresponder a tópicos específicos, isto é, ficar subdivididos em assuntos mais correlatos, como realizado no projeto “CRITIC@ - Compilação e Recuperação de Informações Técnico-científicas e Indução ao Conhecimento”, desenvolvido pela Embrapa, que também utiliza outras ferramentas como a TopExtract, já citada.

Na Figura 3 observa-se, à esquerda, que a partir de uma expressão de busca na base de publicações, os resultados da busca são organizados hierarquicamente em grupos de documentos, para os quais são encontrados termos mais estatisticamente significativos no grupo, que são considerados “tópicos”; no meio tem-se a distribuição de frequências acumuladas no tempo para o grupo representado por “Trator, Efeito, Termo, Diferença, Aplicada, Folha, Poda” e, à sua direita, os locais no país citados nesses documentos. Esse resultado, que é fruto de exploração dos dados, nos traz pistas de: i) como esses documentos poderiam estar organizados de acordo com os grupos; ii) quais seriam os tópicos ou o conjunto de palavras-chave desse grupo, por exemplo “trator, poda, poda aplicada à folha”, ou seja, o que um especialista da área julgar mais importante no resultado apresentado; e iii) localização geográfica, isto é, onde esses grupos aparecem de modo mais significativo.

**Figura 3.**  
Exemplo de resultado do projeto CRITIC@.



Como visto nas aplicações citadas, processos de mineração de textos, sejam quais forem as técnicas, auxiliam a exploração e a identificação de informação em um grande volume de textos.

### 3 Modelagem matemática e estatística

A modelagem matemática é uma área ainda mais ampla que a de Inteligência Artificial, que usa um pequeno arcabouço de soluções matemáticas, o mesmo ocorrendo com a modelagem estatística. A ideia geral do processo de modelagem é a interpretação simplificada de um fenômeno, que passa a ser descrito em linguagem matemática, permitindo posteriormente a realização

de simulações por meio do computador. Assim, o usuário do modelo posiciona-se como um experimentador do mundo real, pois a partir dos resultados de diversas simulações computacionais, pode compreender detalhes do fenômeno em situações não vivenciadas na prática. Na pesquisa agropecuária, por exemplo, modelos matemáticos e estatísticos são essenciais para complementar os experimentos biológicos, permitindo, entre outros, o estudo da dinâmica de doenças no campo a partir de simulações computacionais, ou seja, sem impacto ambiental e com economia de recursos. Como exemplo, no item 3.1 é apresentado um modelo de simulação para análise da dispersão intrapomar da doença conhecida como HLB do citros.

Para entender a diferença entre modelos matemáticos e estatísticos, consideremos um exemplo simples como a equação matemática que representa uma reta no plano cartesiano  $(x, y)$ , dada por " $y = a + bx$ ", onde " $a$ " é a inclinação da reta e " $b$ " o fator que correlaciona cada valor de  $x$  a exatamente um valor de  $y$  no plano, dada a inclinação " $a$ ". Por outro lado, se observarmos os valores de peso e altura de um grupo de pessoas, sabemos *a priori* que o comportamento dos pontos observados (peso, altura) é linear, ou seja, pode ser representado por uma reta, mas não corresponde exatamente à relação de peso e altura de toda a população, ou seja, esse conjunto de pontos é apenas uma amostra dessa população. Uma boa amostra deve ser aleatorizada, isto é, sorteia-se aleatoriamente cada pessoa para se medir o peso e a altura, e ter um tamanho estatisticamente razoável. Assim, com essa amostra coletada, estima-se o comportamento da população para o problema em estudo (peso, altura), que é uma reta composta por valores estimados da inclinação da reta (média dos valores observados de peso), e do fator que correlaciona a altura ao peso, considerando os erros do modelo, no qual as estimativas dependem de distribuições de probabilidade. No item 3.2 é apresentado um modelo linear multivariado, isto é, várias variáveis dependentes (que entrariam no lugar do peso) e várias variáveis independentes (que entrariam no lugar de altura), e ainda: i) efeitos fixos, que são os dos fatores que podem ser observados, assim como a altura no nosso exemplo; e ii) efeitos aleatórios, que não são observados na coleta da amostra, mas precisam ser estimados pelo modelo.

Um outro arcabouço dentro de modelagem matemática são os modelos lógicos indutivos, por exemplo, "*se A é um haras então A possui cavalos*". Dentre esses modelos estão os de lógica *fuzzy* (lógica nebulosa ou difusa). Por exemplo, se temos um copo com água, este pode estar cheio, meio cheio, meio vazio ou vazio, de acordo com a interpretação de cada pessoa que olha para o copo. Então, podem-se formar regras, tais como o copo está vazio se tem de 0 a 20 mL de água, está meio vazio se tem de 10 a 100 mL de água, está meio cheio se tem de 50 a 160 mL de água e está cheio se tem mais de 140 mL de água. Para resolver uma classificação de como está cada copo, desenvolve-se um sistema baseado em regras *fuzzy*. O item 3.3 mostra uma aplicação de

sistemas baseados em regras *fuzzy* para auxiliar a tomada de decisão relativa à sustentabilidade em fazendas pantaneiras, considerando ponderações entre valores ambientais, sociais e econômicos.

### 3.1 Modelagem da dinâmica de dispersão do “HLB do citros”

O Brasil é o maior produtor mundial de laranja, sendo a safra 2020/21 estimada em quase 288 milhões de caixas (40,8 kg) (Fundecitrus, 2020). A doença conhecida como Huanglongbing (HLB) ou Greening, identificada no país em 2004, é atualmente a de maior importância para a citricultura nacional. O HLB do citros é causado pela bactéria *Candidatus Liberibacter asiaticus* e transmitida no Brasil principalmente pelo psilídeo *Diaphorina citri*, que adquire as bactérias ao se alimentar da seiva de plantas infectadas, transmitindo-as posteriormente para plantas sadias.

Devido à sua importância para a economia nacional, desde 2012 a Embrapa vem desenvolvendo ferramentas biomatemáticas para auxiliar no monitoramento, na amostragem, na detecção e na erradicação do HLB do citros. Inicialmente foi desenvolvido, entre outros, um modelo matemático compartimental determinístico (Vilamiu et al., 2013) para avaliar o impacto na diminuição dos níveis populacionais do inseto vetor *D. citri* no Recôncavo baiano, em áreas onde são plantados citros e hospedeiros alternativos (murta-de-cheiro - *Murraya paniculata*) em diferentes proporções, objetivando colaborar com políticas públicas para o setor. Nesse estudo as populações de citros e murta foram divididas em compartimentos (plantas suscetíveis, expostas, infectadas e recuperadas) e as características gerais de cada compartimento foram expressas por meio de equações matemáticas para análise da dinâmica temporal de propagação do HLB.

Mais recentemente (Barbosa, 2015), uma nova abordagem de modelagem foi usada para avaliar, entre outros aspectos, o papel da murta como fator de repulsão (*push*) ou atração (*pull*) de insetos vetores nas áreas de cultivo, a partir de cenários de simulação com diferentes configurações espaciais de murta e citros. Para tal utilizou-se a modelagem baseada no indivíduo (MBI) (Grimm; Railsback, 2005), que considera no modelo a presença e a particularidade de cada indivíduo das populações envolvidas e observa o sistema final como sendo resultante das interações entre os indivíduos das diferentes populações. A abordagem MBI mostra-se adequada para os objetivos do estudo porque permite explorar conjuntamente os aspectos temporais e espaciais do sistema “hospedeiro-inseto vetor-HLB”, de modo mais intuitivo e flexível do que os modelos matemáticos clássicos como os usados em Vilamiu et al. (2013).

O MBI foi desenvolvido em linguagem de programação Python e considera uma paisagem agrícola padrão do Recôncavo Baiano, contendo 9 talhões com 20 x 42 plantas em cada talhão (total de 840 plantas hospedeiras

por talhão ou 7.560 plantas na paisagem), espaçamento entre linhas de 6m e espaçamento entre colunas de 4m, totalizando uma área de 120m (largura) x 168m (comprimento), pouco mais de 2ha.

Para análise da dispersão intrapomar do inseto vetor e propagação do HLB foram testadas e comparadas 3 diferentes paisagens: a) Cenário 1: somente citros; b) Cenário 2: citros e murta ao redor da área toda; c) Cenário 3: citros e murta nas bordas de cada talhão. Assim, as populações consideradas no MBI e envolvidas nas simulações computacionais são: a) planta hospedeira principal (citros); b) planta hospedeira alternativa (murta) para teste do efeito de repulsão e atração; c) inseto vetor *D. citri* no estágio de ninfa; d) inseto vetor adulto.

De modo geral, na execução das simulações do modelo, o usuário do simulador pode escolher diferentes valores para os seguintes parâmetros biológicos, obtidos a partir de estudos e experimentos biológicos realizados nos campos experimentais da Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, Bahia):

- tempo da fase de incubação da doença na planta: 180 a 540 dias;
- tempo de duração da fase de latência da doença na planta: 30 ou 60 dias;
- proporção de insetos por planta: 0,41 a 5;
- tempo de simulação: 1, 2, 5, 10 ou 20 anos;
- modo de simulação: 1 (*single*) ou 2 (*multi*);
- probabilidade de infecção primária (PIP), conforme incidência na região: 0,01 (baixa), 0,15 (média) ou 0,30 (alta);
- probabilidade de detecção da doença no campo pelo fiscal de inspeção: 0 ou 0,476.

As simulações se iniciam com todas as plantas sadias e a chegada de certa proporção de insetos infectivos, conforme os valores de PIP. As populações evoluem estocasticamente no tempo (conforme a probabilidade de ocorrência) a partir de processos do tipo nascimento e morte de ninfas e insetos adultos, infecção de plantas hospedeiras, aquisição da bactéria por ninfas e insetos adultos, reprodução e voo de insetos adultos.

Ao final das simulações computacionais são gerados dois tipos de resultados: a) para simulação do tipo “single”: a cada 10 dias de execução da simulação é gerado um arquivo em disco contendo o status das populações em cada posição da área de plantio (tipo do hospedeiro, status de infecção, número de insetos na posição); b) para simulação do tipo “multi”: ao final de 100 execuções automáticas (processo de Monte Carlo) são gerados gráficos do número de plantas suscetíveis, infectadas e sintomáticas ao longo do tempo.

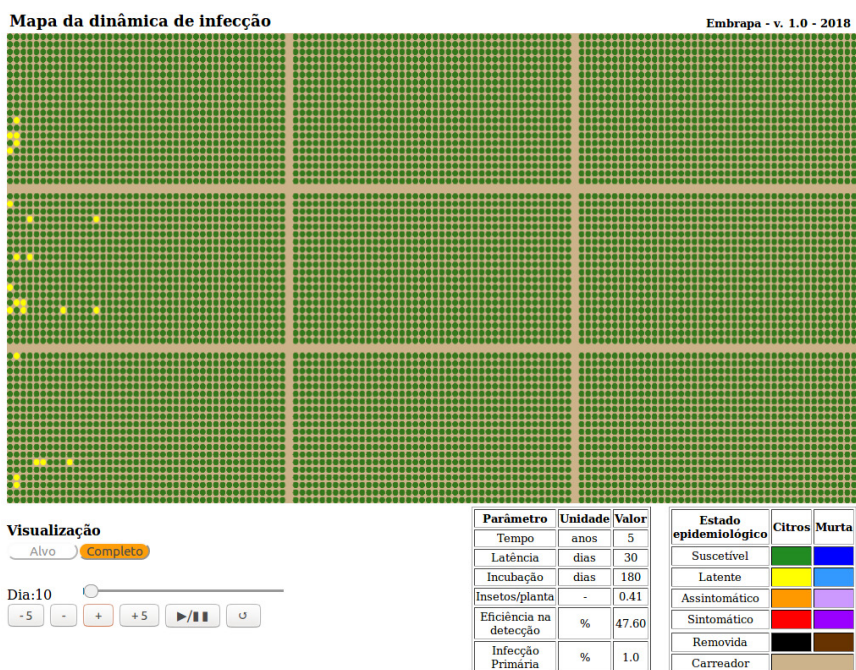
Os resultados do MBI são gravados em disco, e um software, desenvolvido em linguagem Java, permite a visualização dos resultados do modelo via Web, conforme os exemplos mostrados nas figuras 4, 5 e 6, relativos aos 3 cenários de simulação que representam diferentes paisagens agrícolas (distintas configurações e proporções de citros e murta), para as simulações do tipo “single”.

Nas figuras 4, 5 e 6 é visualizada a dinâmica do espalhamento do HLB, depois de um determinado número de dias após o início da simulação, que se dá a partir da chegada de insetos em plantas aleatórias das duas primeiras colunas dos talhões da esquerda. A quantidade de insetos infectivos que chegam à área depende da proporção de insetos por planta e do valor de PIP escolhidos pelo usuário. Por exemplo, para a proporção de 0,41 insetos por planta, tem-se 1.033 insetos no início da simulação, dos quais: a) para PIP = 0,1%: 1 inseto infectivo; b) para PIP = 1%: 10 insetos infectivos; c) para PIP = 15%: 154 insetos infectivos.

**Figura 4.**

Imagem da simulação após 10 dias para o Cenário 1.

### HLB Biomath2 - Simulador MBI



Para análise de técnicas de repulsão e atração, os cenários 1, 2 e 3 foram testados separadamente para inúmeras combinações dos parâmetros anteriormente citados. Não foram encontradas diferenças visuais nos gráficos gerados pela execução “multi”, bem como para as dinâmicas observadas nas execuções “single”. Na sequência das análises optou-se por comparar os cenários dois a dois, e foram executadas várias simulações para cada cenário. Testes estatísticos foram realizados para comparar o tempo de chegada da doença no talhão-alvo, e em todas as comparações entre cenários, considerando diferentes probabilidades de infecção primária, verificou-se que, estatisticamente, não há diferença (comparações entre PIP igual a 1% e 15%) com relação ao tempo de chegada da doença no talhão-alvo.



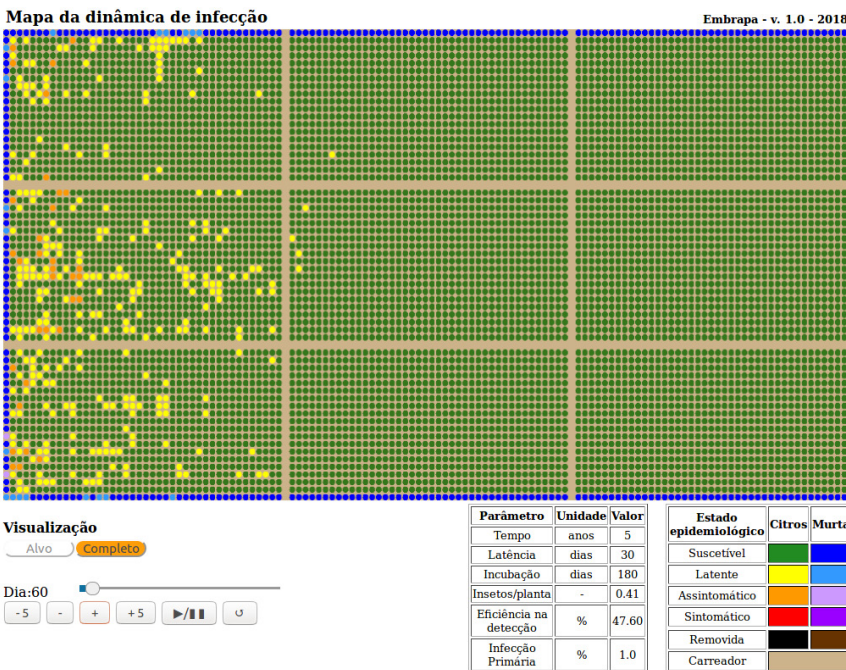
Os resultados das simulações comprovam observações realizadas em experimentos de campo ao longo da execução deste estudo: a infecção primária possui muito mais peso na dinâmica de propagação da doença do que as diferentes configurações espaciais de murta e citros consideradas nos cenários de simulação.

Dessa forma, a principal conclusão obtida é que a simples presença do hospedeiro alternativo (murta) não influencia significativamente o processo epidêmico. Isso nos leva a questionar como seria a interação do sistema “HLB-inseto vetor-citros” com o uso de métodos de controle populacional do inseto vetor, como a aplicação de inseticidas, que poderia afetar significativamente a infecção primária.

Ao mesmo tempo, a busca de um valor limiar (*threshold*) de infecção primária pode nos levar a estimar o esforço do manejo regional para estabilizar o processo epidêmico. Além disso, a determinação de níveis de infectividade dos vetores pode ser um indicador, a ser usado no futuro, da efetividade de medidas de controle do manejo regional. Esse indicador pode ser obtido mais facilmente do que extensos levantamentos com plantas infectadas.

Atualmente (Barbosa, 2019) o MBI encontra-se em evolução, com a inclusão de novos hospedeiros alternativos para avaliação em configurações de repulsão e atração, bem como para testar estratégias de controle periódico de inseticidas, minimizando o efeito da infecção primária nas paisagens em estudo.

**HLB Biomath2 - Simulador MBI**



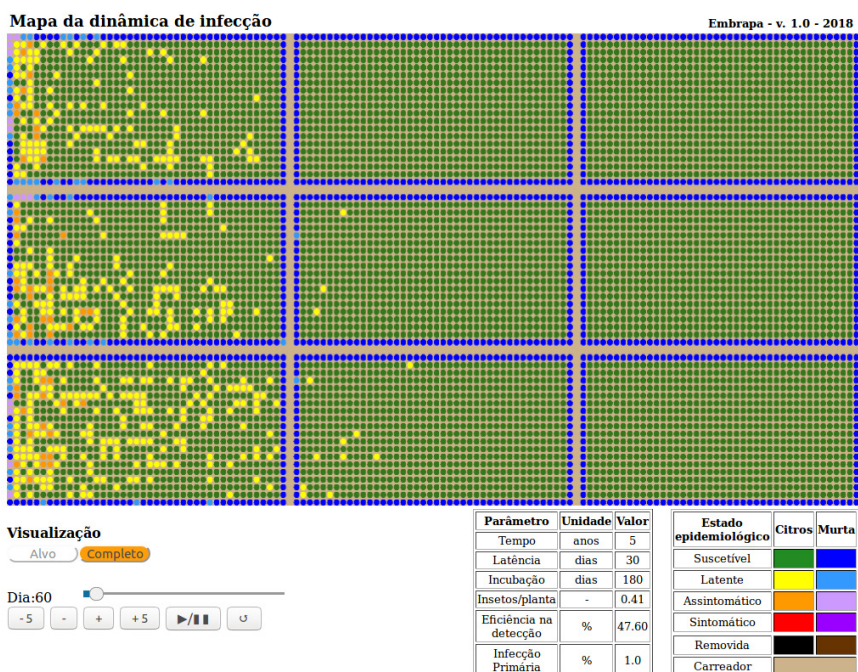
**Figura 5.** Imagem da tela após 60 dias de simulação para o Cenário 2.

A partir da observação da dinâmica espaço-temporal do HLB do citros representada no modelo é possível simular cenários de disseminação complexos e realizar a seleção de configurações de repulsão e atração mais promissoras para o controle da disseminação do inseto vetor, que poderão ser testadas em experimentos futuros, assim como obter indicadores de eficácia com potencial para estudos mais detalhados em outros projetos.

**Figura 6.**

Imagem da tela após 60 dias de simulação para o Cenário 3.

### HLB Biomath2 - Simulador MBI



## 3.2 Avaliação genética de animais

Programas de melhoramento genético de animais têm por objetivo incrementar geneticamente a população quanto a características econômicas demandadas pelo mercado, adotando índices apropriados para o sistema de produção. Como linhas básicas, consideram a identificação e a discriminação genética dos indivíduos da população, a seleção dos superiores para reposição, quer machos ou fêmeas, e o acasalamento entre eles. Parte integrante desses programas são os processos de avaliação genética, que consistem em coletar contínua e cumulativamente dados biométricos e genealógicos da população em melhoramento e, periodicamente, utilizar um modelo genético-estatístico para prever os valores genéticos de cada animal. Os dados coletados incluem a observação da expressão dos atributos

físicos ou comportamentais de interesse do mercado, denominados fenótipos, e os dados de pedigree, ou seja, as relações que definem a genealogia da população.

Atualmente a metodologia usada em avaliações genéticas de animais é baseada na teoria dos modelos mistos (Henderson, 1963), conhecida como BLUP (Best Linear Unbiased Prediction). Consiste, basicamente, na predição dos valores genéticos, ajustando-se os dados, concomitantemente, para os efeitos fixos e um número desigual de observações por classe (Lopes, 2005). Dentre as vantagens de uma avaliação genética usando BLUP estão: inclusão da informação completa de família por meio da matriz de parentesco; comparação de indivíduos de diferentes níveis de efeitos fixos; avaliação simultânea de reprodutores, fêmeas e progênes; avaliação de indivíduos sem observações, com observações perdidas e com observações em apenas algumas características (Lopes, 2005). O BRBLUP (Higa, 2020) é um software para avaliação genética de animais desenvolvido pela Embrapa, baseado na plataforma de desenvolvimento da linguagem de programação Python e nas bibliotecas associadas de computação científica denominadas Scipy/Numpy e PyTables. Ele suporta a especificação de equações de modelos mistos, tal que diferentes modelos genético-estatísticos podem ser especificados, incluindo o modelo animal multivariado (MAM), que simultaneamente avalia os efeitos fixos e aleatórios para um conjunto de fenótipos quantitativos, levando em consideração as correlações tanto entre os fenótipos quanto entre os efeitos aleatórios, tais como os efeitos de origem genética.

Para ilustrar a utilização do BRBLUP, utilizamos um exemplo didático (exemplo 5.4 de Mrode (2014)). Nesse exemplo é considerado um modelo animal com 2 fenótipos (bivariado): (i) FAT1: rendimento de gordura no período de lactação 1; (ii) FAT2: rendimento de gordura no período de lactação 2. Associado a cada fenótipo também é considerada a presença de um efeito fixo referente ao grupo de contemporâneos ou *herd-year-season* (HYS1 e HYS2). O conjunto de dados é apresentado na Tabela 1: são 8 animais, numerados de 0 a 7, sendo que apenas aqueles que possuem fenótipos observados (os animais 0, 1 e 2) aparecem no pedigree (colunas Sire e Dam). As variâncias residuais são 65 para o fenótipo FAT1 e 70 para o fenótipo FAT2, com a covariância entre eles igual a 27; já as variâncias genéticas são 35 para o fenótipo FAT1 e 30 para o fenótipo FAT2, com a covariância entre eles igual a 28.

Para resolução do modelo, o software BRBLUP é executado por meio de linha de comando, passando como parâmetro um arquivo de configuração com a especificação do modelo, sendo o resultado armazenado em um arquivo de saída.

**Tabela 1.**

Conjunto de dados (colunas 0, 1, 2: pedigree – colunas 0, 3, 4, 5, 6: dados observados).

Fonte: Adaptado de Mrode (2014).

Animal	Pai	Mãe	HYS1	HYS2	FAT1	FAT2
3	0	1	0	0	201	280
4	2	1	0	1	150	200
5	0	4	1	0	160	190
6	2	3	0	0	180	250
7	0	6	1	1	285	300

A Tabela 2 apresenta o conteúdo do arquivo de saída gerado. Ele contém 4 colunas (*Trait*: coluna no arquivo de dados correspondente a um fenótipo; *Effect*: efeito especificado no modelo; *Level*: nível do efeito no arquivo de dados; *Sol*: solução obtida). Neste exemplo, a primeira linha do arquivo significa que a solução para o nível 0 do efeito 1 (HYS1) para o fenótipo na coluna 3 é igual a 175.73126996362862. Já a sétima linha significa que o nível 1 (animal 1) para o efeito 0 (valor genético) para o fenótipo na linha 3 é igual a -2.999142788478058.

**Tabela 2.**

Resultado da avaliação genética.

Característica	Efeito	Nível	Solução
3	1	0	175.73126996362862
3	1	1	219.61329398893875
4	2	0	243.23908674216108
4	2	1	240.54972646633607
3	0	0	8.969159144237393
4	0	0	8.840288629082728
3	0	1	-2.999142788478058
4	0	1	-2.7772802747175986
3	0	2	-5.970016355758499
4	0	2	-6.063008354365654
3	0	3	11.75424243135119
4	0	3	11.657587566164255

Continua...

Característica	Efeito	Nível	Solução
3	0	4	-16.252956614066754
4	0	4	-15.823507978243187
3	0	5	-17.31429689333114
4	0	5	-15.719126003080525
3	0	6	8.690473723985185
4	0	6	8.137644915235219
3	0	7	22.702139483291525
4	0	7	20.930688340763133

Tabela 2.  
Continuação.

Neste exemplo não foram apresentados os correspondentes valores de acurácia, que representam a confiabilidade da solução obtida para o valor genético e são sempre utilizados em conjunto. Finalmente, outro aspecto não abordado refere-se ao fato de que, atualmente, os programas de melhoramento genético animal estão desenvolvendo esforços para inclusão de informações genômicas no processo de avaliação genética, com implicações diretas na construção e na resolução do modelo genético-estatístico empregado.

### 3.3 Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS)

Nas últimas décadas, diante da globalização da economia e da criação de mercados competitivos, intensificaram-se as pressões para aumento de produtividade das fazendas pantaneiras, comprometendo a sustentabilidade de seus sistemas de produção, dada a fragilidade dos ecossistemas. Diante desse cenário, um grupo multidisciplinar de pesquisadores da Embrapa Pantanal, utilizando experiência anterior voltada para a caracterização das fazendas pantaneiras (Santos et al., 2017), elaborou projeto em parceria com a Embrapa Informática Agropecuária para desenvolver uma ferramenta para avaliar a sustentabilidade de sistemas de produção de gado de corte em regiões complexas e dinâmicas, como é o caso do Pantanal, de modo que fosse possível verificar os pontos fracos do sistema e buscar boas práticas de manejo para obter a sustentabilidade.

O Pantanal está localizado na região Centro-Oeste do Brasil (80%), abrangendo parte da Bolívia e do Paraguai. Constitui uma extensa planície periodicamente inundável, com variabilidade temporal e espacial de diversidade controlada pelo pulso de inundação, o que torna a região um sistema complexo, dinâmico e incerto (Santos et al., 2017). Pelo fato de possuir extensas áreas de campos naturais com predominância de forrageiras, o Pantanal



apresenta vocação para a criação extensiva de gado de corte com baixa utilização de insumos externos, o que tem contribuído para a sua conservação há mais de dois séculos. Essa tem sido a atividade econômica principal nas fazendas pantaneiras, consistindo num importante setor socioeconômico em nível regional e nacional. Considerando que as fazendas compreendem cerca de 95% da planície pantaneira, o principal desafio dos tomadores de decisão é definir sistemas de produção de gado de corte que não causem grandes impactos ambientais e que tragam benefícios econômicos e sociais para a população local, garantindo a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais.

Para compreender as fazendas pantaneiras de maneira holística foram definidos, de forma hierárquica, os aspectos e os indicadores necessários para avaliar o sistema de produção de gado de corte em nível de fazenda e região (Figura 7). Esses aspectos e indicadores foram selecionados em função da praticidade em representar e simplificar fenômenos complexos e sistêmicos. Alguns dos indicadores foram definidos a partir dos estudos científicos desenvolvidos pela equipe multidisciplinar, enquanto outros foram determinados por meio da realização de diversas oficinas participativas, envolvendo tomadores de decisão para validação dos indicadores. Alguns desses indicadores devem ser avaliados diretamente no campo, enquanto outros podem ser estudados por meio de análise de imagens e cálculos matemáticos ou definidos no próprio sistema de inferência adotado. Para guiar a avaliação em campo e a coleta de informações necessárias para os cálculos, foram elaborados e publicados vários protocolos (Soares et al., 2014; Santos et al., 2014a, 2014b, 2015; Abreu et al., 2015; Amâncio et al., 2016). Esse processo hierárquico (Figura 7) permite avaliar cada aspecto da sustentabilidade de forma isolada ou em conjunto.

**Figura 7.**  
Estrutura  
hierárquica da FPS.



Análises Opcionais:

**Viabilização da Pecuária** | **Aptidão Produtiva Natural para a Pecuária**



### 3.3.1 O software FPS

Alguns problemas surgem na avaliação da sustentabilidade, sendo preciso levar em conta o nível de abstração envolvido no conceito, bem como a existência de variabilidades naturais em alguns fenômenos implicados. A síntese dos indicadores levantados em um dado “grau de sustentabilidade” exige uma metodologia robusta para tratar incertezas, exprimir inter-relações complexas e, ao mesmo tempo, ser interpretável e transparente para garantir confiança na avaliação.

Um arcabouço matemático e computacional capaz de lidar com essas dificuldades são os originários da teoria de conjuntos *fuzzy* (CF), lógica *fuzzy* e sistemas baseados em regras *fuzzy* – SBRF. Tais sistemas têm sido aplicados em áreas como engenharia, modelagem e controle, entre outras. Historicamente, seu sucesso deve-se à habilidade de modelar o conhecimento baseando-se em linguagem natural e à boa capacidade de generalização, além da notável competência dos SBRF em “explicar” a elaboração do resultado a partir dos valores de entrada fornecidos.

O software FPS foi construído como um sistema de suporte à decisão baseado em modelos expressos em SBRF. A sustentabilidade é avaliada pela dimensão ambiental, econômica e social, em nível de fazenda e regional. Para cada avaliação (Figura 7) foram definidos modelos cujas variáveis de entrada são os próprios indicadores com suas escalas definidas em linguagem natural (como Bom, Moderado e Ruim). As relações entre os indicadores são expressas como um conjunto de regras definidas pelos especialistas de domínio. Os resultados da avaliação (índices e subíndices), por sua vez, além de fornecerem um valor numérico comparativo (1 a 10), têm uma saída qualitativa correspondente. Cada modelo (índice) mais abaixo hierarquicamente alimenta os modelos mais gerais, culminando no modelo de sustentabilidade da fazenda.

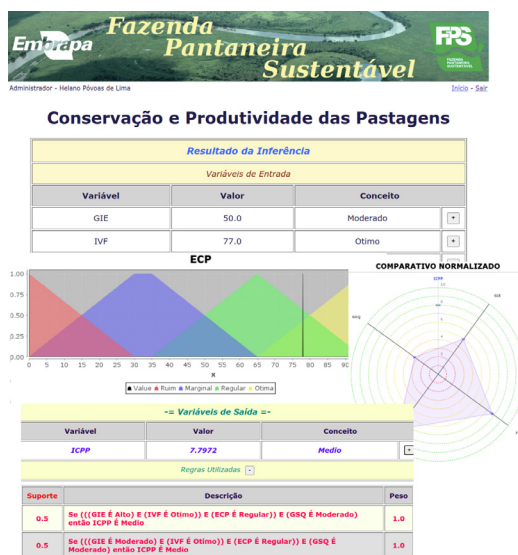
A interface da FPS para a Internet<sup>2</sup> (Figura 8) constitui um sistema interativo em que o usuário, dados os valores dos indicadores fornecidos, é capaz de inferir conceitos qualitativos e valores numéricos sobre ela, bem como comparar o quão bons são os valores em relação ao desejável. É possível também, através de gráficos, visualizar quais indicadores tiveram mais influência no resultado. Ao usuário também são enumeradas as regras que foram utilizadas para a conclusão apresentada, garantindo interpretabilidade e transparência. O sistema também permite que o usuário simule cenários para planejar quais deles levam ao nível de sustentabilidade que ele deseja. O software FPS possui ainda uma segunda interface, voltada para dispositivos móveis como *tablets* e *smartphones* (Figura 9) que utilizam sistema operacional Android (disponível

<sup>2</sup> Disponível em: <https://www.fps.cnptia.embrapa.br/>

na loja de aplicativos Google Play). Essencialmente ela fornece as mesmas funcionalidades e é baseada nos mesmos modelos matemáticos, mas, dada uma restrição regional do Pantanal e em geral, das fazendas, essa versão não precisa de conexão com a internet para funcionar, pois tem embutido no aplicativo o próprio mecanismo de inferência.

**Figura 8.** Elementos da interface do software FPS para a internet.

Fonte: Fazenda Pantaneira Sustentável (2020).



A ferramenta FPS é passível de adoção por diversos tomadores de decisão (pesquisadores, proprietários, técnicos, políticos, legisladores, certificadoras, entre outros). Seu principal uso está relacionado com o diagnóstico (grau de sustentabilidade) do sistema de produção de bovinos de corte na planície pantaneira, por meio da avaliação de impactos ambientais, sociais e econômicos da atividade para, assim, auxiliar na gestão eficiente mediante seleção de tecnologias e boas práticas de manejo. Porém, sua aplicação pode ser muito mais ampla por meio de subsídios aos programas de financiamento, certificação e estratégias de marketing que valorizem os produtos provenientes da região, podendo também oferecer subsídios necessários para a reformulação da legislação vigente e de políticas públicas de incentivo à produção sustentável na região. Pretende-se inserir, no futuro, o aspecto da multifuncionalidade e dos serviços ecossistêmicos, essenciais para a sustentabilidade dos sistemas de produção. A ferramenta está sendo implantada em 15 fazendas no Pantanal do Mato Grosso, com apoio da FAMATO, da ACRIMAT, do SENAR, do IMEA e de sindicatos rurais, e em seis fazendas no Pantanal do Mato Grosso do Sul, com apoio da FAMASUL, do SENAR e de sindicatos rurais. Melhorias serão incorporadas ao longo do tempo, em conjunto com técnicos, produtores e pesquisadores.

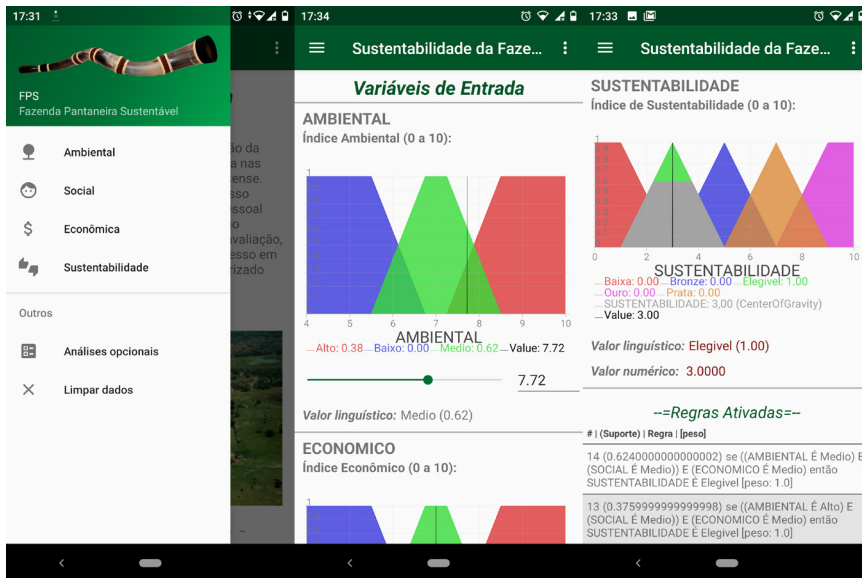


Figura 9. Interface do aplicativo Android da FPS.<sup>3</sup>

## 4 Considerações finais

Neste capítulo apresentaram-se várias técnicas de computação científica aplicadas na resolução de problemas do setor agropecuário. Na área de Inteligência Artificial, técnicas da lógica clássica foram aplicadas ao desenvolvimento de um sistema especialista para classificação de solos. O mesmo problema foi abordado também por uma técnica completamente diferente, com o uso de algoritmos de aprendizado de máquina, que são fundamentalmente interligados à estatística. A análise estatística é também a base das técnicas de mineração de textos usadas para agrupar documentos com conteúdos semelhantes na área agrícola.

Outra área da computação científica, a modelagem matemática, foi explorada de três formas distintas. Na primeira delas, o Modelo Baseado no Indivíduo fundamentou uma modelagem totalmente computacional, por meio de um sistema de simulação que compara três configurações de plantio envolvendo citros e murta para avaliar estratégias de controle da propagação do HLB dos citros. Na segunda aplicação, modelos de preditores lineares, compostos de equações matemáticas clássicas, foram usados para avaliar

<sup>3</sup> A tela (em validação) estará disponível pelo endereço: <https://play.google.com/store/apps/details?id=br.embrapa.cnptia.fps>

os valores genéticos dos animais, com o objetivo de descobrir quais deles reforçam as características desejadas pelo mercado. No terceiro modelo, os cálculos matemáticos foram realizados internamente a um sistema de inferência, baseado na lógica *fuzzy*, para avaliar a sustentabilidade de fazendas pantaneiras. Explora-se, nesse caso, a vantagem da lógica *fuzzy* em aliar a linguagem natural na construção de um modelo lógico cuja resposta seja explicável ao tomador de decisão.

As técnicas de computação científica são essenciais para a análise do grande volume de dados que vêm sendo produzidos no processo de transformação digital da agricultura. Por meio dessas técnicas será possível, a partir dos dados coletados, extrair informações e conhecimentos que auxiliarão no processo de tomada de decisão em todos os elos das cadeias produtivas, tornando-se centrais no desenvolvimento de novas soluções e tecnologias agrícolas no contexto da Agricultura Digital. As aplicações apresentadas neste capítulo ilustram a variedade de problemas que podem ser abordados pelo arcabouço metodológico da computação científica, incluindo a modelagem matemática e estatística, os sistemas de lógica clássica e nebulosa, os modelos de simulação e os modelos de aprendizado de máquina.

Considerando essas aplicações, é válido ressaltar que o constante crescimento da disponibilidade de dados, o avanço tecnológico e a ampliação da dimensionalidade e da complexidade das demandas da sociedade brasileira impõem enormes desafios e oportunidades para pesquisa e desenvolvimento em computação científica aplicada à agropecuária.

## 5 Referências

ABREU, U. G. P.; LIMA, H. P.; SANTOS, S. A.; MASSRUHÁ, S. **Protocolo**: Índice Financeiro (IF) para a Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS). Corumbá: Embrapa Pantanal, 2015. 12 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 134).

AMÂNCIO, C. O. G.; ARAÚJO, M. T. B.; SANTOS, S. A.; NARCISO, M.; OLIVEIRA, M. D. **Protocolo**: Índice de Bem-Estar Social (IBS) para a Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS). Corumbá: Embrapa Pantanal, 2016. 16 p. (Embrapa Pantanal. Documentos 139).

BARBOSA, F. F. L. **HLB BioMath fase 2**: abordagem biomatemática como suporte a defesa fitossanitária e avaliação ex-ante de tecnologias de manejo. Cruz das Almas: Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 2015. 26 p. (Embrapa. Macroprograma 2 - Código SEG 02.13.03.007.00.000).

BARBOSA, F. F. L. **HLB BioMath fase 3**: biomatemática aplicada à otimização de tecnologias de interposição de barreiras, modificação microambiental e exclusão para manejo do huanglongbing dos citros. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2019. 40 p. (Embrapa. Tipo II - Código SEG 20.18.03.044.00.00).

EMBRAPA. **Bases de Dados da Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 19 maio 2020.

FAZENDA PANTANEIRA SUSTENTÁVEL. Disponível em: <https://www.fps.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 19 maio 2020.

FUNDECITRUS. **Sumário executivo:** estimativa da safra de laranja 2020/21 do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro: cenário em maio de 2019. Disponível em: [https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes\\_relatorios/2020\\_05\\_11\\_Sumario-Executivo-da-Estimativa-da-Safra-de-Laranja-2020-2021.pdf](https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2020_05_11_Sumario-Executivo-da-Estimativa-da-Safra-de-Laranja-2020-2021.pdf). Acesso em: 19 maio 2020.

GRIMM, V.; RAILSBACK, S. F. **Individual-based modeling and ecology**. Princeton: Princeton University Press, 2005. DOI: [10.1515/9781400850624](https://doi.org/10.1515/9781400850624).

GUYON, I.; ELISSEEFF, A. An introduction to variable and feature selection. **Journal of Machine Learning Research**, v. 3, p. 1157-1182, 2003.

HENDERSON, C. R. Selection index and expected genetic advance. **Statistical Genetics and Plant Breeding**, v. 982, p. 141-163, 1963.

HIGA, R. H. **Tutorial:** introdução ao software brblup. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2020. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 168). 2020. No prelo.

LOPES, P. S. **Teoria do melhoramento animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005. 118 p.

MOURA, M. F.; TAKEMURA, C. M.; SILVA, I. L. C.; TÁPIAS, L. M.; OLIVEIRA, C. T. de; BASSOI, L. H.; OLIVEIRA, S. R. de M. Metodologia para a construção de portfólios tecnológicos agrícolas a partir de publicações técnico-científicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11., 2017, Campinas. **Ciência de dados na era da agricultura digital:** anais. Campinas: Ed. Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária, 2017. p. 537-546. SBIAgro 2017.

MRODE, R. A. **Linear models for the prediction of animal breeding values**. 3rd ed. CAB, 2014. DOI: [10.1079/9781780643915.0000](https://doi.org/10.1079/9781780643915.0000).

PEREIRA, R. G.; MOURA, M. F. I-Preproc: uma ferramenta para pré-processamento e indexação incremental de documentos. In: MOSTRA DE ESTAGIÁRIOS E BOLSISTAS DA EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA, 11., 2015, Campinas. **Resumos expandidos**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 17-23.

POLIDORO, J. C.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CARVALHO FILHO, A. de; MOTTA, P. E. F. da; CARVALHO JUNIOR, W. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; CURCIO, G. R.; CORREIA, J. R.; MARTINS, E. de S.; SPERA, S. T.; OLIVEIRA, S. R. de M.; BOLFE, E. L.; MANZATTO, C. V.; TOSTO, S. G.; VENTURIERI, A.; SA, I. B.; OLIVEIRA, V. A. de; SHINZATO, E.; ANJOS, L. H. C. dos; VALLADARES, G. S.; RIBEIRO, J. L.; MEDEIROS, P. S. C. de; MOREIRA, F. M. de S.; SILVA, L. S. L.; SEQUINATTO, L.; AGLIO, M. L. D.; DART, R. de O. **Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos)**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2016. 53 p. (Embrapa Solos. Documentos, 183).

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, S. A.; CARDOSO, E. L.; CRISPIM, S. M. A.; SORIANO, B. M. A.; GARCIA, J. B.; BERSELLII, C. **Protocolo:** Índice de Conservação e Produtividade das Pastagens (ICPP) para a Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS). Corumbá: Embrapa Pantanal, 2014a. 18 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 130).

SANTOS, S. A.; LIMA, H. P. de; BALDIVIESO, H. P.; OLIVEIRA, L. O.; TOMÁS, W. M. GIS-fuzzy logic approach for building indices: regional feasibility and natural potential of ranching in tropical wetland. **Journal of Agricultural Informatics**, v. 5, n. 2, p. 26-33, 2014b. DOI: [10.17700/jai.2014.5.2.140](https://doi.org/10.17700/jai.2014.5.2.140).

SANTOS, S. A.; LIMA, H. P. de; MASSUHÁ, S. M. F. S.; ABREU, U. G. P. de; TOMÁS, W. M.; SALIS, S. M.; CARDOSO, E. L.; OLIVEIRA, M. D. de; SOARES, M. T. S.; SANTOS JR., A. dos; OLIVEIRA, L. O. F. de; CALHEIROS, D. F.; CRISPIM, S. M. A.; SORIANO, B. M. A.; AMÂNCIO, C. O. G.; NUNES, A. P.; PELLEGRIN, L. A. A fuzzy logic-based tool to assess beef cattle ranching sustainability in complex environmental systems. **Journal of Environmental Management**, v. 198, part 2, p. 95-106, Aug 2017. DOI: [10.1016/j.jenvman.2017.04.076](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.076).

SANTOS, S. A.; OLIVEIRA, L. O. F.; LIMA, H. P.; ABREU, U. G. P.; OLIVEIRA, M. D.; ARAÚJO, M. T. B. D.

**Protocolo:** Índice de Manejo e Bem-Estar do Rebanho (IMBA) para a Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS). Corumbá: Embrapa Pantanal, 2015. 20 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 135).

SOARES, M. T. S.; OLIVEIRA, M. D.; CALHEIROS, D. F.; SANTOS, S. A.; LIMA, H. P. **Protocolo:** Índice

de Conservação de Corpos de Água Naturais (ICA) para a Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS). Corumbá: Embrapa Pantanal, 2014. 22 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 128).

SOUZA, K. X. S.; TERNES, S.; OLIVEIRA, S. R. M.; MOURA, M. F.; BARIONI, L. G.; HIGA, R. H.; FASIABEN, M. C. R. A perspective study on the application of Data Science in agriculture. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11., 2017, Campinas. **Ciência de dados na era da agricultura digital:** anais. Campinas: Ed. Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária, 2017. p. 537-546. SBIAgro 2017.

TAKEMURA, C. M.; MOURA, M. F.; MACHADO, L. S. C. **TopExtract – toponym extraction and disambiguation tool:** componente de software para extração e desambiguação de topônimos. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. 1 CD-ROM.

VAZ, G. J.; SILVA NETO, L. de F. da; LIMA, R. N.; MARQUES, F. A. M.; SANTOS, J. C. P. dos; OLIVEIRA, S. R. de M. Curadoria de dados de solos brasileiros por meio de um sistema especialista de classificação de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 37., 2019a, Cuiabá. **Intensificação sustentável em sistemas de produção:** resumos. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

VAZ, G. J.; SILVA NETO, L. de F. da; LIMA, R. N.; OLIVEIRA, S. R. de M. Uma API para a classificação de solos do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 12., 2019, Jaguariúna, SP. **IoT na Agricultura:** anais. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2019b. SBIAgro 2019.

VAZ, G. J.; SILVA NETO, L. de F. da; OLIVEIRA, S. R. de M.; BOTELHO, F. P.; ARAUJO FILHO, J. C. de. Development of an expert system for classification of Brazilian soil profiles. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 21., 2018, Rio de Janeiro. Soil science: beyond food and fuel: abstracts. Viçosa, MG: SBCS, 2018. Não paginado. WCSS 2018. Publicado também em: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 21., 2018, Rio de Janeiro. Soil science beyond food and fuel: proceedings. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. v. 1, p. 56-57.

VILAMIU, R. G. d'A.; TERNES, S.; LARANJEIRA, F. F.; SANTOS, T. S. Modelling the effect of an alternative host population on the spread of citrus Huanglongbing.

**AIP Conference Proceedings**, v. 1558, p. 2504-2508, 2013.







# 6 Visão computacional aplicada na agricultura

Thiago Teixeira Santos  
Jayme Garcia Arnal Barbedo  
Sônia Ternes  
João Camargo Neto  
Luciano Vieira Koenigkan  
Kleber Xavier Sampaio de Souza

## 1 Introdução

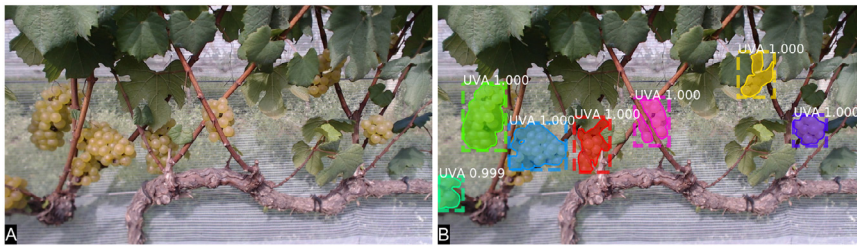
Em uma definição simples e abrangente, visão computacional é o campo da inteligência artificial dedicado à extração de informações a partir de imagens digitais. No contexto da agricultura digital, a visão computacional pode ser empregada na detecção de doenças e pragas, na estimação de safra e na avaliação não invasiva de atributos como qualidade, aparência e volume, além de ser componente essencial em sistemas robóticos agrícolas. Segundo Duckett et al. (2018), a robótica de campo deve viabilizar uma nova gama de equipamentos agrícolas: máquinas pequenas e inteligentes capazes de reduzir desperdício e impacto ambiental<sup>1</sup> e proporcionar viabilidade econômica, aumentando assim a sustentabilidade dos alimentos. Ainda segundo Duckett et al. (2018), há um potencial considerável no aumento da janela de oportunidades para intervenções, por exemplo, em operação em solos úmidos, operação noturna e monitoramento constante da lavoura.

Uma classe de problemas abordados pela visão computacional são os problemas ditos *perceptuais*: a detecção e a classificação de padrões, nas imagens, que são associados a um objeto de interesse, como frutos (Sa et al., 2016;

---

<sup>1</sup> Devido ao uso comedido e inteligente de defensivos ou simplesmente à intervenção mecânica: a remoção física de pragas por manipuladores.

Santos et al., 2020), animais (Barbedo et al., 2019) ou sintomas de doenças e pragas (Ferentinos, 2018; Barbedo, 2019). A partir de imagens capturadas por equipes de campo ou obtidas por câmeras acopladas em tratores, implementos, robôs ou drones, um monitoramento constante e eficiente pode ser realizado: a busca por anomalias na cultura ou na criação; a avaliação de variabilidade espacial da cultura para intervenção, segundo os preceitos da agricultura de precisão; e a atuação autônoma por máquinas e implementos. A Figura 1 exibe um exemplo: detecção de cachos de uva em imagens obtidas de vinhedos.



**Figura 1.** Exemplos de uma tarefa perceptual, a detecção de uvas em imagens: imagem tomada em um vinhola de uma videira *Chardonnay* (A); resultado da detecção com o uso de uma rede neural (B).

Ilustração: Thiago Teixeira Santos

Outra classe de problemas são os *geométricos*. Na formação de uma imagem, a luz captada pelas lentes é projetada em uma superfície, de modo que a cena tridimensional produz uma representação 2-D. Muito da estrutura da cena encontra-se na imagem, mas a informação de profundidade (a distância entre a câmera e os objetos em cena) é perdida. Uma das maiores contribuições da visão computacional geométrica foi o desenvolvimento de algoritmos capazes de recuperar a informação tridimensional perdida, a partir de um conjunto de imagens da mesma cena. Essa é uma das aplicações de visão computacional mais extensivamente utilizadas comercialmente na atualidade: o mapeamento tridimensional e a produção de mapas a partir de imagens obtidas por *Veículos Autônomos Não Tripulados* (VANTs – popularmente conhecidos como *drones*, ver a Figura 2). Metodologias baseadas em visão computacional geométrica têm sido empregadas em estudos geológicos (Westoby et al., 2012), na avaliação de altura de pastagens (Forsmo et al., 2018) e no mapeamento de culturas (Comba et al., 2018), entre outros usos. Comercialmente, é a tecnologia principal por trás de serviços de mapeamento e reconstrução 3-D por VANTs extensivamente utilizados na agricultura, como o *Pix4D mapper* e o *Agisoft PhotoScan/Metashape*.

Na pesquisa agropecuária, há um número crescente de aplicações de visão computacional. Considere como exemplo o periódico *Computers and Electronics in Agriculture*, especializado em novas aplicações de software, hardware e eletrônica na agricultura. Uma busca por artigos relacionados à visão computacional revela que 23,7% de todos os trabalhos publicados em 2018 são associados ao tema, subindo para 29,1% em 2019. De janeiro

**Figura 2.**

Mapeamento com VANT: as imagens são utilizadas para identificar a estrutura tridimensional da área e a posição e a orientação da aeronave, exibida em vermelho (A); o modelo tridimensional geolocalizado é então projetado em um plano, formando um mapa (B).

Ilustração: Thiago Teixeira Santos



a junho de 2020, 115 dos 319 trabalhos (36,0%) publicados são associados à visão computacional. Tal volume de artigos também se traduz em impacto: dos 25 trabalhos mais citados até junho de 2020, 14 são aplicações de visão computacional. Alguns fatores simples explicam esse crescimento. Câmeras digitais são dispositivos acessíveis e largamente disponíveis em diversas configurações, facilmente integráveis a sistemas maiores (como *smartphones* e

VANTs). Avanços em algoritmos e hardware surgidos nos últimos dez anos viabilizaram o atual vigor da área.

Nas próximas seções apresentaremos avanços recentes na aplicação de visão computacional à agricultura, com foco em contribuições realizadas nos últimos três anos pela Embrapa Informática Agropecuária. Esses avanços são oriundos tanto da *visão computacional perceptual*, o reconhecimento dos elementos na cena (Seção 2), quanto da *visão computacional geométrica*, a recuperação de informação tridimensional a partir de imagens (Seção 3). A combinação de ambas as frentes (Seção 4) abre caminho para sistemas capazes de realizar operações de alta complexidade, como a robótica de campo. A Seção 5 fecha o capítulo com algumas considerações finais.

## 2 Percepção: reconhecimento de padrões em imagens

O reconhecimento de padrões pode ser visto como a tarefa de encontrar uma *representação* para o padrão procurado que seja versátil, de modo a cobrir as variações observáveis, mas simples o suficiente para ser processada em tempo hábil pela máquina. Em outras palavras, trata-se de uma descrição do padrão suficiente para permitir que a máquina o encontre nos dados de entrada, porém sucinta de modo que sua interpretação seja realizada dentro de restrições de tempo de operação.

Padrões visuais em imagens naturais podem ser incrivelmente intrincados, com regularidades e variações difíceis de descrever. Na agricultura, padrões assumidos por frutos, folhas, grãos, plantas e sintomas de patologias apresentam uma enorme variabilidade, ampliada pelas diferenças de iluminação, posição, oclusão e fontes diversas de ruído (lentes sujas, poeira, interferência, etc.). A Figura 3 ilustra algumas dessas dificuldades enfrentadas por um sistema de detecção de frutos em condições reais de cultivo em campo: oclusão severa entre frutos, folhas e galhos; similaridade de cor entre frutos verdes e o dossel; variações de iluminação entre imagens; reflexão especular (reflexo direto da luz do sol que satura o sensor da câmera); e problemas de foco. Apesar de algum sucesso decorrente do emprego de técnicas de aprendizado de máquina (Gongal et al., 2015), o reconhecimento de padrões em imagens naturais começou a atingir níveis elevados de acurácia com o advento das *redes neurais convolutivas* (Lecun et al., 2015), rapidamente adotadas no reconhecimento de imagens na agricultura (Kamilaris; Prenafeta-Boldú, 2018).

Em redes neurais, uma *arquitetura* ou *modelo* é uma sequência de módulos que realizam operações simples nos dados, de maneira que um módulo recebe dados dos módulos anteriores e *propaga* o resultado de suas operações para os módulos seguintes. Em visão computacional, as redes neurais mais utilizadas



**Figura 3.**

Exemplos das dificuldades enfrentadas na detecção de frutos. Nas imagens, podemos observar problemas de foco, reflexão especular, oclusão severa por folhas, galhos e outros frutos, variações de luminosidade e similaridades no padrão de cores entre frutos e folhas.

Fonte: Adaptado de Camargo Neto et al. (2019) a partir de material cedido pela PES/Fundecitrus.



são as redes neurais convolutivas (*convolutional neural networks* – CNNs), nas quais a principal operação empregada é a *convolução*, uma combinação linear dos valores na vizinhança dos pixels de entrada. Redes neurais são ditas *profundas* se há uma sequência grande de módulos encadeados. Quanto mais profunda a rede, maior sua capacidade de aprender representações para padrões complexos, uma vez que cada módulo é capaz de compor as representações dos módulos anteriores em uma hierarquia. No caso de imagens, há uma interpretação intuitiva para esse comportamento: os módulos iniciais são capazes de encontrar linhas e bordas dos objetos, os módulos seguintes compõem esses padrões em texturas e estruturas simples como triângulos e manchas, que são então combinadas em outras estruturas como partes de folhas, galhos e bagas. Finalmente, os módulos finais combinam esses elementos em objetos de interesse: uma planta, um cacho de uvas, um boi.

Os módulos possuem *parâmetros* que precisam ser ajustados de modo que a operação conjunta de toda a rede produza os resultados esperados. Uma metáfora frequentemente utilizada é imaginar que cada parâmetro é ajustado por um *dimmer*. Ajustar uma rede neural seria realizar o ajuste de *milhões* de *dimmers*, cada um deles podendo afetar o desempenho do reconhecimento dos padrões. Manualmente, tal ajuste seria impraticável e virtualmente impossível. O *treinamento* de redes neurais é justamente um processo automatizado para o ajuste desses parâmetros, de modo que a rede “aprenda” as representações apropriadas ao problema de reconhecimento em questão.

No aprendizado supervisionado de padrões em imagens, esse treinamento é realizado com o uso de *observações*, imagens cuja resposta desejada é conhecida (“há uma laranja nesta imagem”, “há sinais de ferrugem do café nesta folha”). Milhares de observações são necessárias para o treinamento, algo diretamente ligado ao tamanho da rede: mais parâmetros exigem mais observações, embora seja difícil estabelecer uma relação exata entre o número



de parâmetros e o número de observações necessárias. Quando a rede processa a imagem de entrada, o resultado produzido é comparado ao resultado esperado, e o erro entre eles é computado. Os parâmetros são então ajustados de modo a diminuir o erro anterior, em um processo conhecido como *backpropagation* (Goodfellow et al., 2016). Na prática, as observações são agrupadas em *lotes* (*batches*), a rede processa o lote e o erro observado é computado. O algoritmo de *backpropagation* é utilizado para ajustar os parâmetros, iniciando pelos módulos finais da rede e prosseguindo em direção aos parâmetros dos módulos iniciais (daí se origina o nome do procedimento). O treinamento prossegue com o lote seguinte, e o procedimento é repetido até que o erro atinja um mínimo observável<sup>2</sup>. Em suma, redes neurais profundas automatizam o processo de busca por representações adequadas em problemas de reconhecimento de padrões, desde que haja um conjunto suficientemente grande de observações para treinamento que representem adequadamente a variabilidade do padrão pretendido. É justamente essa capacidade que torna a metodologia tão atrativa aos problemas intrincados de reconhecimento encontrados na agricultura.

## 2.1 Identificação de doenças em plantas

A detecção e a classificação de sintomas de doenças, pragas e deficiências nutricionais de plantas em imagens são de enorme interesse na agricultura. A detecção automática possibilita o monitoramento constante e a busca por anomalias na cultura, a partir de imagens capturadas por equipes de campo ou obtidas por câmeras acopladas em tratores, implementos, robôs ou VANTs. Já a classificação associa as anomalias detectadas à doença, deficiência ou praga, auxiliando o produtor na intervenção correta. Redes neurais podem ser empregadas em ambas as tarefas, inclusive simultaneamente.

Como visto anteriormente, milhares de observações são necessárias até que uma rede neural seja capaz de produzir resultados acurados. Essa necessidade é ampliada no reconhecimento de doenças em plantas devido ao enorme número de combinações resultante do cruzamento entre culturas alvo, patologias, estágio de desenvolvimento da doença e condição de imageamento (coleta manual, monitoramento aéreo por VANTs, captura no nível do solo por máquina, pose da câmera, entre outras). Esse cenário aponta para a necessidade de grandes bases de dados compartilhadas (Barbedo, 2018; Ferentinos, 2018), uma vez que sua produção exige considerável esforço.

---

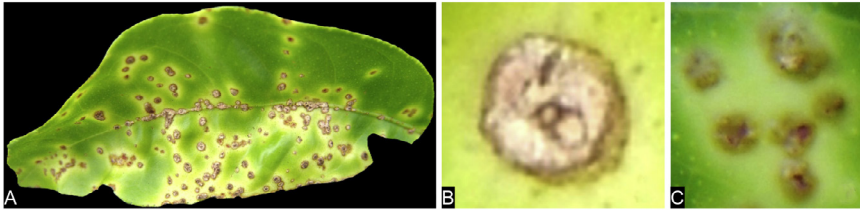
<sup>2</sup> O erro ideal seria zero, mas não há garantia de que uma arquitetura seja capaz de atingi-lo. Também é um problema em aberto determinar *a priori* qual o menor erro que uma rede será capaz de atingir para um certo conjunto de treinamento.

O processo de coleta e anotação das imagens, isto é, a associação de cada imagem com o resultado desejado para a etapa de aprendizado supervisionado, geralmente é laborioso e custoso. Porém, algumas estratégias podem ser empregadas para aumentar o número de observações. Barbedo (2019) mostrou que o fato de múltiplas lesões das mesmas patologias ocorrerem em uma mesma folha pode ser explorado para incrementar o número de observações oriundas de uma mesma coleta. Diversos exemplos de sintomas podem ser obtidos de uma única folha ou amostra de tecido vegetal, como pode ser observado na Figura 4. Essa estratégia permitiu que uma base de dados original, contendo 1575 observações (Barbedo, 2018), fosse expandida para 46409 observações (Barbedo, 2019), produzindo ganhos de acurácia na classificação de doenças de, em média, 12%.

**Figura 4.**

Exemplos de observações utilizadas no treinamento de sistemas para reconhecimento de doenças em plantas: uma amostra de uma folha doente, coletada em campo (A); uma observação de sintoma associado à patologia (B); aglomerados de sintomas que também formam um padrão discernível associável à patologia (C).

Fonte: Adaptado de Barbedo (2019).



Barbedo (2019) mostrou que uma rede neural convolutiva, a arquitetura GoogLeNet (Szegedy et al., 2015), pode ser aplicada na classificação de um grande número de patologias em diversas culturas, atingindo valores de acurácia de 80% (maracujá) a 100% (mandioca, couve, algodão, trigo e cana-de-açúcar), como pode ser observado na Tabela 1. A base de dados utilizada, batizada como *Digipathos*, foi disponibilizada publicamente<sup>3</sup>. Embora os resultados da classificação sejam promissores, grandes desafios ainda persistem, principalmente em respeito à detecção (“há sintomas presentes na observação?”), crucial no monitoramento autônomo para manejo de doenças e pragas, mas que ainda não apresenta a mesma acurácia da classificação (“qual a patologia para o sintoma observado?”). Em seus experimentos, Barbedo (2019) mostra que detecções acuradas podem ser produzidas quando os sintomas já são severos, mas o mesmo não ocorre quando os sintomas ainda são brandos ou não ocupam grandes porções do tecido vegetal, justamente o momento ideal para intervenção pelo agricultor. Erros de detecção do tipo *falso positivo* (tecido saudável detectado como doente) são frequentemente causados por fatores como presença de poeira, detritos ou mesmo gotículas de água. Também não é claro ainda qual o número de amostras necessário para que as características dos sintomas sejam propriamente aprendidas

<sup>3</sup> Disponível em: <https://www.digipathos-rep.cnptia.embrapa.br>.

Cultura	Número de imagens	Acurácia (%)
Feijão	3.079	94 ± 0,8
Mandioca	895	100 ± 0,0
Citros	1.868	96 ± 0,6
Coco	1.504	98 ± 0,6
Milho	10.480	75 ± 4,4
Café	1.899	89 ± 1,9
Algodão	2.023	99 ± 0,3
Caju	4.509	98 ± 0,5
Uva	2.330	96 ± 0,8
Couve	196	100 ± 0,0
Maracujá	280	80 ± 4,2
Soja	13.733	87 ± 3,6
Cana-de-açúcar	2773	99 ± 0,4
Trigo	840	99 ± 0,5
<i>Total</i>	46.135	94 ± 2,0

**Tabela 1.** Acurácia de classificação de patologias em diversas culturas. Para as imagens de mandioca e couve, a acurácia alcançou 100% em todos os testes.

Fonte: Adaptado de Barbedo (2019).

pelos redes neurais (uma questão ainda em aberto na visão computacional de forma geral).

## 2.2 Detecção de animais em pastagens

Barbedo et al. (2019) apresentam um exemplo de como as tecnologias de VANTs e a visão computacional podem ser combinadas para possibilitar o monitoramento de enormes áreas, por exemplo na detecção de gado na pecuária extensiva. Os pecuaristas têm grandes dificuldades de acompanhar os rebanhos nas pastagens, devido à dinâmica dos animais e à enorme dimensão das áreas de pastagem.

Uma base de dados composta por 1853 imagens contendo 8629 animais da raça Canchim foi produzida a partir de imagens obtidas por um quadricóptero disponível comercialmente<sup>4</sup>. Barbedo et al. (2019) testaram 15 arquiteturas diferentes de redes neurais em 3 resoluções espaciais distintas (1, 2 e 4 cm/pixel),

<sup>4</sup> No caso, um veículo DJI Phantom 4 Pro.

de forma a analisar o desempenho decorrente de diferentes alturas de voo. Os resultados mostraram que a maioria das arquiteturas testadas conseguiram atingir níveis elevados de acurácia, superiores a 95%. A arquitetura NasNet (Zoph et al., 2018), uma rede muito profunda e de grande capacidade de aprendizado de padrões complexos, atingiu acurácias próximas a 100%. Esses resultados são expressivos, especialmente se considerada a complexidade do problema, como pode ser visto na Figura 5: diversas situações, de oclusão severa por árvores e bebedouros a diferenças de iluminação e condição da pastagem, além da própria posição e disposição dos animais, apresentam uma enorme variabilidade de situações. Mesmo assim, a acurácia da maioria das arquiteturas testadas é expressiva. Outro efeito particularmente interessante do ponto de vista operacional foi o fato de a maioria dos modelos apresentar melhores resultados na resolução de 2 cm/pixel e não na resolução máxima de 1 cm/pixel, algo possivelmente decorrente da resolução dos módulos convolutivos com que essas arquiteturas foram projetadas originalmente. Na prática, isso viabiliza voos em alturas mais elevadas, o que permite a cobertura das aéreas em menos tempo.

**Figura 5.** Exemplos de situações observadas na detecção de animais em pastagens: animal em pasto alto (A); pasto seco (B); solo exposto (C); oclusões por árvores (D); coberturas de bebedouros (E) e cabos elétricos (F).

Fonte: Adaptado de Barbedo et al. (2019).



### 2.3 Detecção e contagem de frutos

A detecção automática de frutos é um componente habilitador para diversas aplicações em agricultura. Ela pode auxiliar a estimativa de produção, útil no planejamento logístico e na negociação entre o produtor rural e os compradores. Se a detecção é combinada à localização precisa no espaço, novas aplicações em agricultura de precisão podem ser desenvolvidas, auxiliando

no gerenciamento adequado da variabilidade espacial nas lavouras. A detecção de frutos também pode ser uma etapa preliminar para o monitoramento de doenças e deficiências nutricionais (vistas na Seção 2.1), restringindo as áreas nas imagens que devem ser inspecionadas em busca de sintomas. Considerando o declínio na força de trabalho na agricultura, a detecção de frutos também é uma tecnologia habilitadora para sistemas de pulverização e colheita automatizados (Duckett et al., 2018; Xiong et al., 2020).

Como discutido anteriormente, diversos fatores dificultam o processo de detecção, de oclusão por folhas e galhos a problemas de foco da câmera e iluminação (Figura 3). Em algumas culturas, os frutos apresentam ainda uma diversidade de formatos, compacticidade e orientação, como no caso da viticultura (Santos et al., 2020). Apesar de algum sucesso obtido com outras técnicas de aprendizado de máquina (Gongal et al., 2015), a detecção de frutos realmente ganhou força recentemente, com os avanços em redes neurais convolutivas (Sa et al., 2016; Bargoti; Underwood, 2017; Kamilaris; Prenafeta-Boldú, 2018).

Camargo Neto et al. (2019) produziram uma base de dados com 3066 imagens de laranjas coletadas em campo, oriundas de diferentes dispositivos, como câmeras fotográficas e *smartphones*. A maior parte das imagens foi fornecida pelo Programa de Estimativa de Safra (PES) do Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus). Os frutos, de diversas variedades de laranja, apresentavam diferentes níveis de maturação, com predominância de frutos verdes (Figura 3). Dessas imagens, um subconjunto de 2036 observações foi utilizado no treinamento de uma rede neural YOLOv3 (Redmon et al., 2016; Redmon; Farhadi, 2018). Ao avaliarem a rede treinada nas 1030 imagens restantes, os autores apuraram a correta detecção de mais de 90% dos frutos, com uma precisão também acima de 90%, ou seja, menos de 10% das detecções produzidas eram falsos positivos. A Figura 6 exibe um exemplo da detecção de frutos em uma imagem de laranjeira obtida em campo.

Santos et al. (2020) mostraram que, para uvas em viticultura, culturas que apresentam grande variabilidade em forma, cor, tamanho e compactidade, os cachos podem ser detectados e segmentados com o uso de arquiteturas como Mask-RNN e YOLO. Os autores produziram uma nova ferramenta de anotação capaz agilizar o processo de associação de pixels a frutos, discriminando exatamente quais pixels pertencem a quais cachos. A base de dados gerada, batizada de WGISD (*Embrapa Wine Grape Segmentation Dataset*) e disponibilizada publicamente<sup>5</sup>, contém 4432 cachos em 300 imagens, cobrindo cinco variedades vinícolas. Os autores avaliaram três diferentes arquiteturas de redes neurais, YOLOv2 (Redmon; Farhadi, 2017), YOLOv3 (Redmon;

<sup>5</sup> Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3361736>.



**Figura 6.**

Resultados de detecção de laranjas em campo com o uso de uma rede neural convolutiva YOLOv3: uma laranjeira imageada em campo, os frutos detectados pela rede em vermelho (A); detalhe (B).

Fonte: Adaptado de Camargo Neto et al. (2019) a partir de material cedido pela PES/Fundecitrus.



Farhadi, 2018) e Mask-RCNN (He et al., 2017), esta última responsável pelos resultados mais promissores. Em uma base de teste composta por 837 cachos, a rede identificou 87% dos cachos, com uma precisão de 90.7%. Exemplos das detecções produzidas são exibidos na Figura 1 (B).

Contudo, uma aplicação completa de contagem de frutos necessita de uma metodologia capaz de integrar as detecções reportadas em várias imagens, de forma que frutos vistos em mais de uma imagem não sejam contabilizados múltiplas vezes. Em outras palavras, frutos (e objetos de interesse em geral) observados em diversas imagens devem ser *associados* entre si. Essa tarefa de *associação de dados* pode ser desempenhada pela integração do reconhecimento de padrões com a visão computacional geométrica, como veremos a seguir.

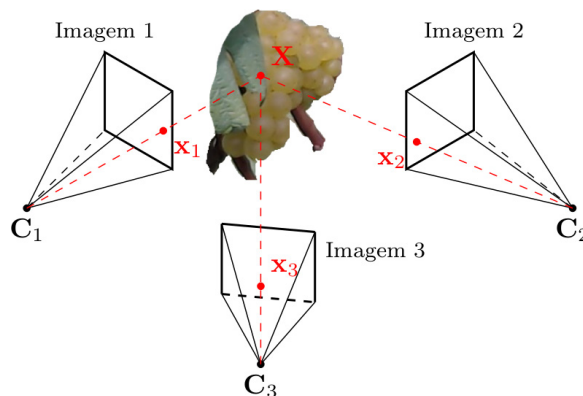
### 3 Mapeamento e reconstrução tridimensional

Uma das maiores contribuições da visão computacional geométrica foi o desenvolvimento de algoritmos capazes de recuperar a informação tridimensional a partir de um conjunto de imagens da mesma cena. Resultados de décadas de pesquisa em áreas como geometria projetiva e otimização contínua, esses algoritmos são capazes de transformar até uma simples *webcam* em um



poderoso *scanner* 3-D. Talvez ainda mais importante, eles permitem a um agente móvel, como um VANT, não só mapear a estrutura tridimensional do ambiente, mas também determinar sua localização precisa no local (Figura 2), abrindo caminho para agentes autônomos capazes de navegar e interagir com seu entorno (Stachniss et al., 2016).

As imagens devem ser obtidas de posições diferentes, por múltiplas câmeras ou por uma única câmera que se *movimenta* pela cena. Esse é o significado do termo *structure from motion* – *SfM* (estrutura a partir do movimento), utilizado em visão computacional para definir o problema de recuperação da estrutura tridimensional de uma cena e da posição da câmera a partir de um conjunto de imagens. A Figura 7 ilustra o processo de projeção de um ponto na cena, conforme a câmera é movida para três posições diferentes. Se pudermos determinar correspondências entre pontos nas diferentes imagens, é possível estabelecer, com o auxílio de técnicas de geometria projetiva, a posição da câmera no momento da captura de cada imagem, mais precisamente a localização de seus *centros de projeção*, representados na Figura 7 pelos pontos  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ <sup>6</sup>. Uma vez estabelecida a localização dos centros de projeção, é possível então estimar a posição do ponto no espaço tridimensional a partir de suas projeções nas imagens (os pontos  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$  na Figura 7), um processo conhecido como *triangularização*. Uma descrição detalhada de todo o processo pode ser vista em Hartley e Zisserman (2003). A determinação de correspondências em imagens também é obtida automaticamente, com o uso de algoritmos especializados em encontrar pontos visualmente salientes (os pontos) e, pela comparação dos pixels em suas vizinhanças, associar pontos de imagens diferentes (Lowe, 2004; Detone et al., 2018).



**Figura 7.** *Structure from motion*. Um ponto  $X$  em uma superfície da cena é projetado no plano de imagem em posições diferentes conforme a câmera é movida para as posições  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ .

Ilustração: Thiago Teixeira Santos.

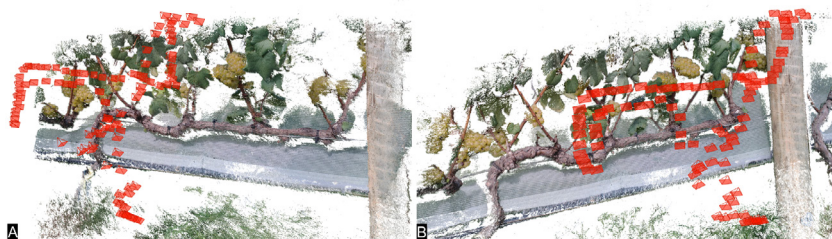
<sup>6</sup> Informação adicional, obtida por métodos de calibração, é necessária para estabelecer a escala correta, isto é, a distância em uma unidade conhecida como metros ou milímetros.

Santos et al. (2017) mostraram que um sistema de SfM utilizando uma simples webcam pode construir modelos tridimensionais acurados de plantas em campo. A Figura 8 exhibe um exemplo, para uma videira de *Chardonnay*. Como veremos na próxima seção, esses modelos tridimensionais podem ser empregados na estimação de atributos 3-D, como volume de frutos e posição. O sistema 3-D utilizado e desenvolvido na Embrapa Informática Agropecuária, batizado de *3dmcap*, encontra-se disponível gratuitamente<sup>7</sup> para uso não comercial.

**Figura 8.**

Reconstrução tridimensional com SfM.

Ilustração: Thiago Teixeira Santos



O uso de informação tridimensional na agricultura deve se intensificar nos próximos anos, não só pelo uso da técnica de SfM (já comercialmente empregada por serviços de mapeamento 3-D com VANTs), como pelo barrateamento de câmeras estéreo, que fornecem informação de profundidade na imagem, e de sensores LIDAR. Exemplos recentes são o uso de câmeras estéreo na fenotipagem de vinhedos (Milella et al., 2019) e a detecção de maçãs com o uso de LIDAR (Gené-Mola et al., 2020).

Na Figura 8 temos a reconstrução tridimensional com SfM para uma videira de Chardonnay em campo: os prismas vermelhos indicam a posição e a orientação da câmera (uma webcam comercial, no momento da captura de cada imagem (A); mesmo modelo 3-D observado de outro ângulo (B).

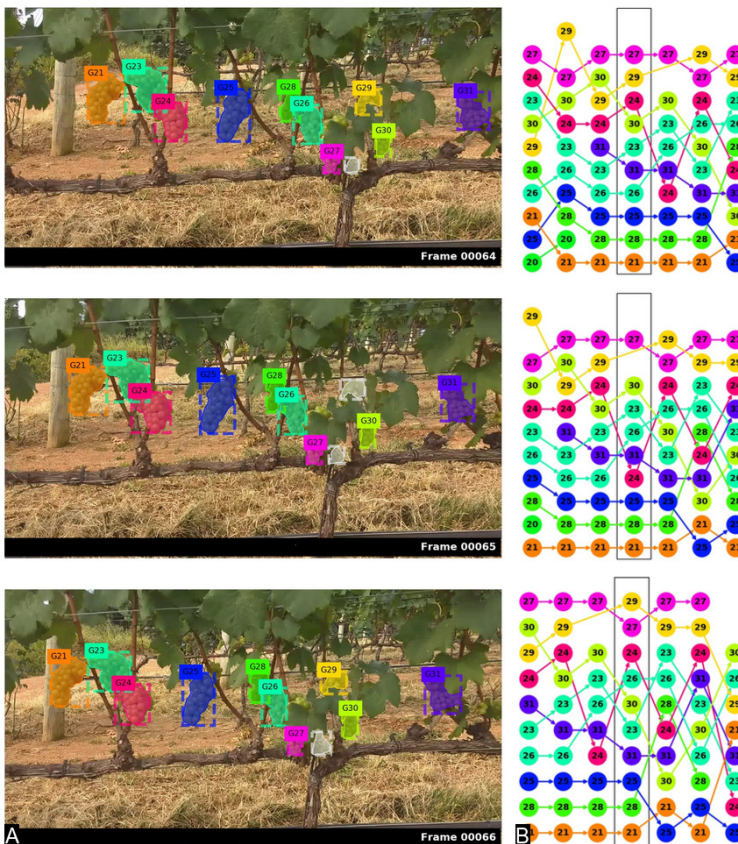
## 4 Combinação de estrutura e reconhecimento

Se o SfM recupera a estrutura tridimensional da cena e do próprio imageamento (a posição da(s) câmera(s) no momento da captura), e o reconhecimento identifica objetos de interesse na cena, como sintomas, frutos, plantas ou animais, a combinação das duas informações possibilita uma avaliação ampla do ambiente observado.

Um dos usos dessa combinação é o mapeamento de frutos: a informação 3-D combinada com a detecção de frutos em cada imagem permite que a posição espacial de cada fruto seja determinada e que o mesmo fruto não seja

<sup>7</sup> Disponível em: <https://github.com/thsant/3dmcap>.

contabilizado mais de uma vez quando aparece em múltiplas imagens. Santos et al. (2020) empregaram SfM para obter uma reconstrução tridimensional de uma linha de videiras em campo, a partir dos quadros de uma sequência de vídeo produzida por uma câmera embarcada em um veículo de serviço. Como descrito na Seção 2.3, uma rede neural foi utilizada para detectar cachos de uvas em cada imagem. Pela projeção dos pontos 3-D da cena nas imagens, foi possível associar detecções a posições no espaço tridimensional e, com isso, estabelecer correspondências entre os cachos observados em um quadro do vídeo e os cachos vistos nos quadros seguintes<sup>8</sup> (Figura 9). A utilização conjunta de modelos 3-D obtidos por SfM e redes convolutivas para detecção e contagem de frutos também foi explorada por Liu et al. (2019) em pomares de manga e por Häni et al. (2020) em pomares de maçã.



**Figura 9.** Rastreamento de cachos de uva em uma sequência de vídeo obtida em campo: quadros do vídeo foram extraídos e submetidos à detecção de frutos por redes neurais (A); os nós representam cachos de uva, na ordem em que foram encontrados pela rede neural (cada coluna de nós representa um quadro da sequência de vídeo). As setas informam a associação entre nós de um quadro para outro, realizada com o uso de informação 3-D obtida por SfM (B).  
Fonte: Adaptado de Santos et al. (2020).

<sup>8</sup> Um vídeo demonstrando o rastreamento de cachos encontra-se disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1Hji3GS4mm4>.

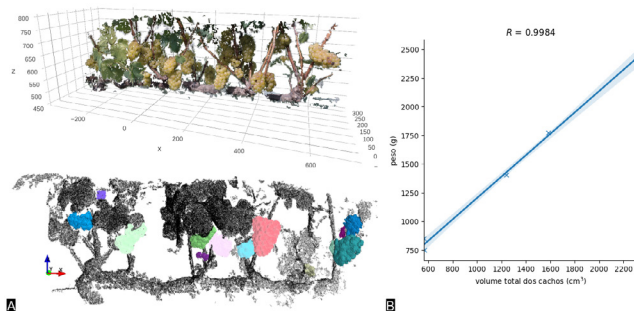
Atributos de grande interesse em aplicações agrônômicas podem ser extraídos da informação tridimensional. Santos et al. (2017) utilizaram um algoritmo de aprendizado de máquina para identificar quais regiões dos modelos tridimensionais de videiras correspondiam aos cachos de uva, como visto na Figura 10 (A). O volume dos cachos foi então estimado a partir dessas regiões. Volume do fruto apresenta forte correlação com seu peso, como pode ser observado na Figura 10 (B). Tais sistemas baseados em visão computacional podem fornecer uma metodologia não invasiva e não destrutiva de estimação do peso dos frutos, sem a necessidade de removê-los da planta. Tal tecnologia pode ser empregada na avaliação do crescimento ao longo do ciclo da cultura, sem a necessidade de remoção (colheita) de amostras.

Na Figura 10, vemos a estimação de peso de frutos a partir do volume em modelos tridimensionais: cachos de uva são identificados (em cores) e separados do restante da planta (em preto) (A); coeficiente de determinação entre o volume estimado e o peso total de frutos em cinco videiras diferentes (B).

**Figura 10.**

Estimação de peso de frutos a partir do volume em modelos tridimensionais.

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2017).



#### 4.1 Atuação e intervenção: robótica de campo

A combinação de SfM e reconhecimento é justamente uma das tecnologias habilitadoras para uma das aplicações mais desafiadoras e impactantes na automação agrícola: a *robótica de campo*. Considere, como exemplo, um grande desafio da robótica agrícola: a *colheita automatizada* de frutas. Enquanto culturas como grãos, cana-de-açúcar e café contam com maquinário próprio para colheita automatizada, o mesmo não vale para a horticultura e fruticultura – especialmente para esta última –, devido à complexidade encontrada na estrutura dos pomares. A colheita de frutas depende de colheita manual, o que é preocupante se considerada a disponibilidade decrescente de mão de obra no campo (Roser, 2013).

Sistemas de colheita automática necessitam dos dois componentes da visão computacional: o perceptual, para identificação de frutos e obstáculos, e o geométrico, para posicionamento automático do robô e seus manipuladores. Diversos grupos de pesquisa têm aplicado esses dois componentes no

desenvolvimento de sistemas de colheita automatizada. Tomando a pomicultura como exemplo, foi desenvolvido um sistema robótico para colheita de maçãs, avaliado em um pomar comercial. Seu sistema de visão computacional era preciso, levando em média 1,5 s para localizar cada fruto. O sistema teve sucesso na colheita de 85% dos frutos, com um tempo médio de 6 s por fruto. Além da pomicultura, outras culturas têm sido investigadas para a implementação de colheita robotizada, como pimentões (Bac et al., 2017), alface (Birrell et al., 2020), morango (Xiong et al., 2020), kiwi (Williams et al., 2020), entre outras.

## 5 Considerações finais

A visão computacional tem um enorme potencial de aplicação no âmbito da agricultura digital. Diversos produtos e serviços baseados em componentes de visão computacional devem chegar aos produtores nos próximos anos. Contudo, muitos desafios ainda dependem de esforços de pesquisa e desenvolvimento.

Um grande gargalo é a necessidade de enormes bases de dados para o treinamento de redes neurais para tarefas perceptuais. Pesquisas na área de aprendizado semisupervisionado e não supervisionado vêm sendo conduzidas pela comunidade de visão computacional. A ideia é poder aprender padrões de interesse com poucos exemplos e obter sistemas de boa acurácia na detecção de padrões como frutos, sintomas e animais.

Na robótica, o desafio segue sendo o desenvolvimento de sistemas robustos, capazes de operar em campo por longos períodos com autonomia, mas que sejam seguros para pessoas e animais em circulação. Esses sistemas precisam mapear o ambiente rapidamente, responder prontamente, encontrar de forma acurada os objetos a serem monitorados e executar as intervenções para as quais foram designados. Apesar dos imensos desafios, as comunidades de visão computacional e robótica obtiveram grandes avanços nos últimos anos, que devem se refletir em breve em diversas aplicações agrícolas, do monitoramento à atuação.

Por fim, os autores ressaltam que os resultados em detecção de frutos foram financiados pelos projetos Embrapa SEG 11.14.09.001.05.04 e Fapesp 2017/19282-7. Os resultados relacionados à detecção de doenças foram financiados pelos projetos Fapesp 2013/06884-8 e Embrapa SEG 02.14.09.001.00.00. Os resultados relacionados aos experimentos de detecção de animais foram financiados pelo projeto Fapesp 2018/12845-9. As imagens para a pesquisa em citricultura foram disponibilizadas pela PES/Fundecitrus. Além disso, as GPUs empregadas no treinamento de redes neurais foram doadas pela NVIDIA Corporation.



## 6 Referências

- BAC, C. W.; HEMMING, J.; TUIJL, B. A. J. van; BARTH, R.; WAIS, E.; HENTEN, E. J. van. Performance evaluation of a harvesting robot for sweet pepper. **Journal of Field Robotics**, v. 34, n. 6, p. 1123-1139, Sept 2017. DOI: [10.1002/rob.21709](https://doi.org/10.1002/rob.21709).
- BARBEDO, J. G. A.; KOENIGKAN, L. V.; SANTOS, T. T.; SANTOS, P. M. A study on the detection of cattle in UAV images using deep learning. **Sensors**, v. 19, n. 24, article number 5436, Dec 2019. DOI: [10.3390/s19245436](https://doi.org/10.3390/s19245436).
- BARBEDO, J. G. A. Plant disease identification from individual lesions and spots using deep learning. **Biosystems Engineering**, v. 180, p. 96-107, Apr 2019. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2019.02.002](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.002).
- BARBEDO, J. G. Factors influencing the use of deep learning for plant disease recognition. **Biosystems Engineering**, v. 172, p. 84-91, Aug 2018. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2018.05.013](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.05.013).
- BARGOTI, S.; UNDERWOOD, J. Deep fruit detection in orchards. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION, 2017, Singapore. **Proceedings**. IEEE, 2017. p. 3626-3633. DOI: [10.1109/ICRA.2017.7989417](https://doi.org/10.1109/ICRA.2017.7989417).
- BIRRELL, S.; HUGHES, J.; CAI, J. Y.; IIDA, F. A field-tested robotic harvesting system for iceberg lettuce. **Journal of Field Robotics**, v. 37, n. 2, p. 225-245, Mar 2020. DOI: [10.1002/rob.21888](https://doi.org/10.1002/rob.21888).
- CAMARGO NETO, J.; TERNES, S.; SOUZA, K. X. S. de; YANO, I. H.; QUEIROS, L. R. Uso de redes neurais convolucionais para detecção de laranjas no campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 12., 2019, Indaiatuba. **Anais...** Ponta Grossa: SBIAGRO, 2019. p. 312-321. Organizadores: Maria Fernanda Moura, Jayme Garcia Arnal Barbedo, Alaine Margarete Guimarães, Valter Castelhana de Oliveira. SBIAGRO 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1125722/1/PC-Redes-neurais-SBIAGRO-2019.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.
- COMBA, L.; BIGLIA, A.; AILONINO, D. R.; GAY, P. Unsupervised detection of vineyards by 3D point-cloud UAV photogrammetry for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 155, p. 84-95, Dec 2018. DOI: [10.1016/j.compag.2018.10.005](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.005).
- DETONE, D.; MALISIEWICZ, T.; RABINOVICH, A. SuperPoint: self-supervised interest point detection and description. In: IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION WORKSHOPS, 2018, Salt Lake City. **Proceedings**. IEEE, 2018. p. 337-349. DOI: [10.1109/CVPRW.2018.00060](https://doi.org/10.1109/CVPRW.2018.00060).
- DUCKETT, T.; PEARSON, S.; BLACKMORE, S.; GRIEVE, B. Agricultural robotics: the future of robotic agriculture. **UK-RAS Network**, June 2018. DOI: [10.31256/WP2018.2](https://doi.org/10.31256/WP2018.2).
- FERENTINOS, K. P. Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 145, p. 311-318, Feb 2018. DOI: [10.1016/j.compag.2018.01.009](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009).
- FORSMOO, J.; ANDERSON, K.; MACLEOD, C. J. A.; WILKINSON, M. E.; BRAZIER, R. Drone-based structure-from-motion photogrammetry captures grassland sward height variability. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 6, p. 2587-2599, Nov 2018. DOI: [10.1111/1365-2664.13148](https://doi.org/10.1111/1365-2664.13148).
- GENÉ-MOLA, J.; GREGORIO, E.; CHEEIN, F. A.; GUEVARA, J.; SANZ-CORTIELLA, R.; ESCOLÀ, A.; ROSELL-POLO, J. R. Fruit detection, yield prediction and canopy geometric characterization using LiDAR with forced air flow. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 168, 105121, Jan 2020. DOI: [10.1016/j.compag.2019.105121](https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105121).
- GONGAL, A.; AMATYA, S.; KARKEE, M.; ZHANG, Q.; LEWIS, K. Sensors and systems for fruit detection and localization: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 116, p. 8-19, Aug 2015. DOI: [10.1016/j.compag.2015.05.021](https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.021).



GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. **Deep learning**. Cambridge; London: MIT Press, 2016.

HÄNI, N.; ROY, P.; ISLER, V. A comparative study of fruit detection and counting methods for yield mapping in apple orchards. **Journal of Field Robotics**, v. 37, n. 2, p. 263-282, Mar 2020.

HARTLEY, R.; ZISSERMAN, A. **Multiple view geometry in computer vision**. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2003. DOI: [10.1017/CBO9780511811685](https://doi.org/10.1017/CBO9780511811685).

HE, K.; GKIOXARI, G.; DOLLÁR, P.; GIRSHICK, R. Mask R-CNN. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER VISION, 2017, Venice. **Proceedings**. IEEE, 2017. p. 2980-2988. DOI: [10.1109/ICCV.2017.322](https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.322).

KAMILARIS, A.; PRENAFETA-BOLDÚ, F. X. Deep learning in agriculture: a survey. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 147, p. 70-90, Apr 2018. DOI: [10.1016/j.compag.2018.02.016](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016).

LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. **Nature**, v. 521, n. 7553, p. 436-444, May 2015. DOI: [10.1038/nature14539](https://doi.org/10.1038/nature14539).

LIU, X.; CHEN, S. W.; LIU, C.; SHIVAKUMAR, S. S.; DAS, J.; TAYLOR, C. J.; UNDERWOOD, J.; KUMAR, V. Monocular camera based fruit counting and mapping with semantic data association. **IEEE Robotics and Automation Letters**, v. 4, n. 3, p. 2296-2303, 2019. DOI: [10.1109/LRA.2019.2901987](https://doi.org/10.1109/LRA.2019.2901987).

LOWE, D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. **International Journal of Computer Vision**, v. 60, n. 2, p. 91-110, Nov 2004. DOI: [10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94](https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94).

MILELLA, A.; MARANI, R.; PETITTI, A.; REINA, G. In-field high throughput grapevine phenotyping with a consumer-grade depth camera. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 156, p. 293-306, Jan 2019. DOI: [10.1016/j.compag.2018.11.026](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.026).

REDMON, J.; DIVVALA, S.; GIRSHICK, R.; FARHADI, A. You only look once: unified, real-time object detection. In: IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 2016, Las Vegas. **Proceedings**. IEEE, 2016. p. 779-788. DOI: [10.1109/CVPR.2016.91](https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91).

REDMON, J.; FARHADI, A. YOLO v3: an incremental improvement [DB]. **arXiv preprint arXiv:1612.08242**, 2018.

REDMON, J.; FARHADI, A. YOLO9000: better, faster, stronger. In: IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 2017, Honolulu. **Proceedings**. IEEE, 2017. p. 6517-6525. DOI: [10.1109/CVPR.2017.690](https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.690).

ROSER, M. **Employment in agriculture**. 2013. Disponível em: <https://ourworldindata.org/employment-in-agriculture>. Acesso em: 19 maio 2020.

SA, I.; GE, Z.; DAYOUB, F.; UPCROFT, B.; PEREZ, T.; MCCOOL, C. DeepFruits: a fruit detection system using deep neural networks. **Sensors**, v. 16, n. 8, p. 1222, Aug 2016. DOI: [10.3390/s16081222](https://doi.org/10.3390/s16081222).

SANTOS, T. T.; BASSOI, L. H.; OLDONI, H.; MARTINS, R. L. Automatic grape bunch detection in vineyards based on affordable 3D phenotyping using a consumer webcam. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11., 2017, Campinas. **Ciência de dados na era da agricultura digital**: anais. Campinas: Editora da Unicamp; Embrapa Informática Agropecuária, 2017. p. 89-98. SBIAGro 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1083291/1/AutomatcgrapeSBIAGro.pdf>. Acesso em: 16 out. 2020.

SANTOS, T. T.; SOUZA, L. L. de; SANTOS, A. A. dos; AVILA, S. Grape detection, segmentation, and tracking using deep neural networks and three-dimensional association. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 170, article 105247, p. 1-17, Mar 2020. DOI: [10.1016/j.compag.2020.105247](https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105247).

STACHNISS, C.; LEONARD, J. J.; THRUN, S. Simultaneous localization and mapping. In: SICILIANO, B.; KHATIB, O. (ed.). **Springer handbook of robotics**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 1153-1176. DOI: [10.1007/978-3-319-32552-1\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_46).

SZEGEDY, C.; LIU, W.; JIA, Y.; SERMANET, P.; REED, S.; ANGUELOV, D.; ERHAN, D.; VANHOUCKE, V.; RABINOVICH, A. Going deeper with convolutions. In: IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 2015, Boston. **Proceedings**. IEEE, 2015. p. 1-9. DOI: [10.1109/CVPR.2015.7298594](https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298594).

WESTOBY, M.; BRASINGTON, J.; GLASSERA, N. F.; HAMBREY, M. J.; REYNOLDS, J. M. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: a low-cost, effective tool for geoscience applications. **Geomorphology**, v. 179, p. 300-314, Dec 2012. DOI: [10.1016/j.geomorph.2012.08.021](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021).

WILLIAMS, H.; TING, C.; NEJATI, M.; JONES, M. H.; PENHALL, N.; LIM, J.; SEABRIGHT, M.; BELL, J.; AHN, H. S.; SCARFE, A.; DUKE, M.; MACDONALD, B. Improvements to and large-scale evaluation of a robotic kiwifruit harvester. **Journal of Field Robotics**, v. 37, n. 2, p. 187-201, Mar 2020. DOI: [10.1002/rob.21890](https://doi.org/10.1002/rob.21890).

XIONG, Y.; GE, Y.; GRIMSTAD, L.; FROM, P. J. An autonomous strawberry-harvesting robot: design, development, integration, and field evaluation. **Journal of Field Robotics**, v. 37, n. 2, p. 202-224, Mar 2020. DOI: [10.1002/rob.21889](https://doi.org/10.1002/rob.21889).

ZOPH, B.; VASUDEVAN, V.; SHLENS, J.; LE, Q. V. Learning transferable architectures for scalable image recognition. In: IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 2018, Salt Lake City. **Proceedings**. IEEE, 2018. p. 8697-8710. DOI: [10.1109/CVPR.2018.00907](https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00907).





# 7 Tecnologias desenvolvidas em Agricultura de Precisão

Célia Regina Grego  
Eduardo Antonio Speranza  
Gustavo Costa Rodrigues  
Ariovaldo Luchiarini Júnior  
Laurimar Gonçalves Vendrusculo  
Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues  
Ricardo Yassushi Inamasu  
Carlos Manuel Pedro Vaz  
Ladislau Marcelino Rabello  
Lúcio André de Castro Jorge  
Cornélio Alberto Zolin  
Júlio Cezar Franchini dos Santos  
Carlos Cesar Ronquim

## 1 Introdução

A Agricultura de Precisão (AP) é uma estratégia de gestão que considera a variabilidade temporal e espacial para melhorar a sustentabilidade da produção agrícola (International Society of Precision Agriculture, 2020). Por meio dela reúnem-se, processam-se e analisam-se dados temporais, individuais e espaciais, combinando-os com outras informações para apoiar as decisões de gerenciamento, de acordo com a variabilidade estimada para melhorar a eficiência no uso de recursos, a produtividade, a qualidade, a rentabilidade e a sustentabilidade da produção agropecuária.

Desenvolver metodologias em campos experimentais ou por inferência de funcionamento, em ambiente idealizado por quem não vivencia o campo, pode resultar em propostas muito difíceis de serem absorvidas pelo setor produtivo. Posto isso, vamos desenvolver o capítulo como os primeiros passos para a implementação da AP, focando nas tecnologias habilitadoras.

É importante entender que a lavoura não é uniforme e possui variabilidade. Há regiões em lavouras com trechos que inundam com facilidade e outros que apresentam uma boa drenagem. Lavouras que podem variar de solo argiloso para solo arenoso, ou de solo mais ácido para menos ácido, e assim por diante, definindo características diferenciadas que implicam na variação da produtividade na mesma lavoura. É de forma intuitiva que se compreende que, em áreas que produzem duas a quatro vezes mais, a necessidade de insumo é diferente, e que de alguma forma há uma aplicação excessiva de insumo em uma área, ou está se perdendo a produtividade por falta desse insumo em outra. Em ambas as situações, o produtor está perdendo um retorno econômico importante do seu negócio e, por que não dizer, um retorno ambiental.

Apesar da variabilidade da produtividade nas áreas, as máquinas convencionais são rígidas, ou seja, seus ajustes são mecânicos e não podem ser alterados durante uma operação de campo. No caso de máquinas para AP, como o ajuste é programável, a liberação de insumos pode ser ajustada de acordo com um mapa de recomendação. A sua atuação é flexível, com possibilidade de reagir aos valores obtidos por sensores em tempo real.

Assim, ao iniciar AP com máquinas que mapeavam a produtividade da lavoura e possibilitavam aplicar insumos de acordo com a coordenada geográfica, o ciclo aparentemente se fechava – ou seja, o ciclo fundamental de controle, que consiste de leitura, análise e atuação, como ilustrado na Figura 1.

Foi nesse ponto que a AP avançou, provavelmente superou o pico da “expectativa inflada” do hiperciclo de Gartner<sup>1</sup> e mergulhou no trecho da “desilusão”. Houve um número não reduzido de relatos de que as máquinas estavam sendo operadas no campo com os controles eletrônicos desativados. Houve



**Figura 1.** Ciclo de controle utilizado na Agricultura de Precisão – AP.

<sup>1</sup> Ciclo que representa maturidade, adoção e aplicação social de determinadas tecnologias.

e ainda há problemas operacionais. Os vários formatos proprietários que geram a falta de compatibilidade de sistemas digitais, tanto de comunicação entre equipamentos como para troca de arquivos e de dados, são problemas operacionais recorrentes. Mas talvez o de maior importância seja o fato de as metodologias utilizadas na etapa de análise, o “coração” do ciclo de controle, ainda estarem baseadas na agricultura convencional. As metodologias de análise convencional não levam em conta as variáveis que diferenciam regiões da lavoura. As metodologias apresentadas neste capítulo, como as criadas em sistema *onfarm* (procedimentos por experimentação conforme planejamento dentro da fazenda ou na fazenda), são uma tentativa de desenvolver e suprir a ausência dessas informações e metodologias.

## 2 Coleta, armazenamento e análise de dados em AP

Uma parte importante do ciclo de aplicação da AP é a obtenção de dados e mapas de atributos relevantes que influenciam na variabilidade espacial e temporal da produtividade das culturas. Os mapas de produtividade expressam variações naturais e antrópicas do solo, como a topografia, a textura, a fertilidade, a compactação, dentre outras; e das plantas, como respostas aos atributos do solo, do clima e do manejo das culturas.

Existem, comercialmente, muitos equipamentos, sensores, técnicas e abordagens que podem ser utilizados para o mapeamento das variabilidades das culturas em AP (Leroux; Tisseyre, 2019; Molin; Tavares, 2019). O número de camadas de informações irá depender do nível da variabilidade da área e do interesse do usuário. Entretanto, em geral, uma abordagem adequada deve incluir um mapeamento da variabilidade do solo, um outro das plantas e, ao final do ciclo, o mapa da colheita. Para a seleção das técnicas e dos instrumentos mais adequados, devem-se considerar o sistema de produção, a disponibilidade de instrumentação e a escala ou a dimensão dos talhões.

Para o mapeamento do solo, a medida da Condutividade Elétrica aparente (CEa) tem se mostrado uma ferramenta muito útil (Corwin; Plant, 2005), pois integra fatores físicos, como textura, densidade, compactação, retenção de água; químicos, CTC (Capacidade de Troca Catiônica) e matéria orgânica; e mineralógicos. Assim, pode identificar variabilidades globais do solo, que podem levar a regiões de maior (ou menor) produtividade dentro do talhão. Para o mapeamento das plantas, Índices de Vegetação (IV) obtidos por imagens de satélite, aeronaves remotamente pilotadas (ARP) e sensores ativos de dossel (Lee et al., 2010) possibilitam traçar o vigor da cultura, tanto espacialmente como temporalmente (ao longo do ciclo da cultura). Em geral, com os mapas desses três atributos (CEa, IV e produtividade) é possível se estabelecerem zonas de manejo que podem ser utilizadas para amostragens mais detalhadas



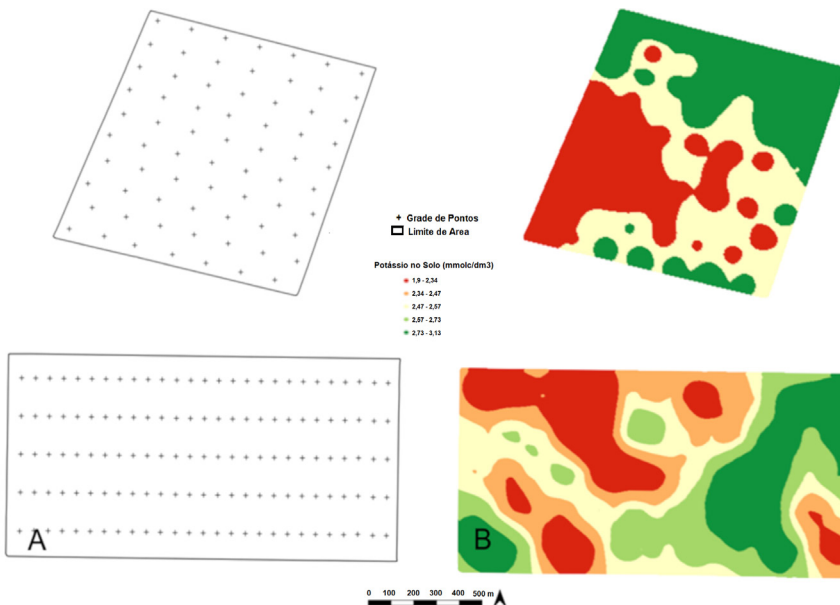
de atributos adicionais, como doenças e pragas e compactação do solo. Outras variáveis de grande importância em AP são os nutrientes das plantas (fertilidade) e a textura do solo, que podem ser obtidos em uma grade regular ou por zonas de manejo definidas a partir dos mapas de CEa, IV e produtividade.

Nesta seção, são apresentados procedimentos e instrumentos utilizados na coleta de dados em AP, bem como em seu armazenamento e análise.

## 2.1 Identificação da variabilidade espacial do solo

### 2.1.1 Amostragem de solo

A amostragem do solo é um procedimento essencial em AP, pois possibilita o conhecimento da fertilidade e das características que influenciam na produtividade. O procedimento em grade regular é o mais utilizado. Para tanto, o recomendado é que a densidade amostral seja de uma amostra por talhão em áreas extensivas de produção de grãos, por exemplo. Em áreas de fruticultura, onde são comuns talhões de alguns poucos hectares, a densidade amostral pode ser de algumas dezenas de amostras por hectare. Outro critério a ser considerado são os conhecimentos prévios e as análises visuais de variabilidades no talhão. Em talhões com grande variabilidade, observada visualmente e reconhecida ao longo dos anos pelo produtor, a densidade amostral deve ser maior do que naqueles com pouca variabilidade já verificada. A Figura 2A ilustra alguns exemplos reais de grades amostrais, onde as amostras foram coletadas para fins de fertilidade e textura do solo, ambas em sistema de



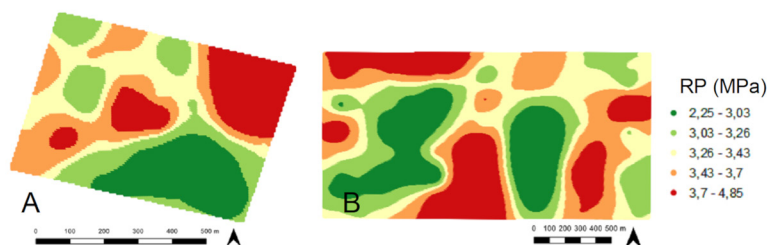
**Figura 2.** Exemplos de grades amostrais em AP, para a determinação de atributos de fertilidade e da textura do solo, em áreas de produção de soja-algodão em Mato Grosso (A), e os mapas de potássio no solo (B) dessas duas áreas.

produção soja-algodão, nos municípios de Pedra Preta-MT e Sapezal-MT. As áreas dos talhões são de 110ha e 200ha e os números de amostras coletadas foram de 70 e 135 amostras, respectivamente. Ou seja, ambas com cerca de 1 amostra a cada hectare e meio. Na Figura 2B observam-se os mapas de potássio dessas duas áreas, obtidos por interpolação espacial.

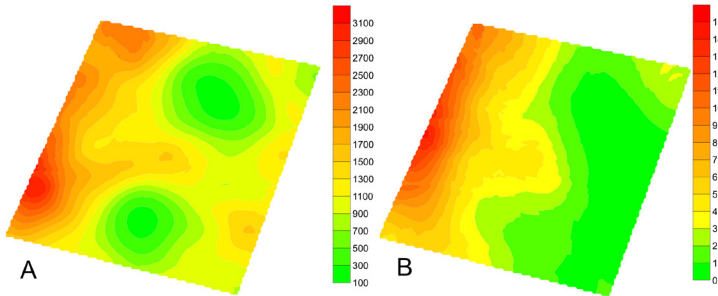
Outras questões importantes que devem ser consideradas na amostragem em AP estão relacionadas aos equipamentos utilizados para a coleta e a fase da cultura. Em sistemas intensivos de produção, onde são produzidas duas ou até três safras ao ano, os intervalos de tempo entre a colheita da primeira safra e o plantio da segunda safra são muito curtos. Para a utilização de quadriciclos equipados com amostradores de solo, o ideal é que a amostragem seja realizada após a colheita da primeira safra (verão) ou após a colheita da segunda safra (inverno), evitando danos às plantas pela circulação do quadriciclo na área. Caso seja necessária a coleta em um período em que a cultura esteja em uma fase bem desenvolvida no campo, deve-se utilizar a tradição manual. Nos dois casos, o georreferenciamento das amostras é sempre necessário. Para a coleta com o quadriciclo, recomenda-se a extração do solo em pelo menos 9 subamostras, em um círculo ao redor do ponto georreferenciado, na profundidade 0-20cm. Já para a amostragem com trado holandês, o número de subamostras ao redor do ponto pode ser reduzido para 5, uma vez que a quantidade de solo coletada por furo é maior.

Da mesma forma como ocorre para a coleta de amostras de solo, a medida da compactação do solo pode ser feita por penetrômetros acoplados em quadriciclos ou por dispositivos manuais. Os equipamentos acoplados em quadriciclos são recomendados para os períodos após a colheita da safra de verão, uma vez que na colheita da safra de inverno o solo estará com uma condição de umidade muito baixa, inadequada a esse tipo de determinação. A Figura 3 apresenta os mapas de resistência à penetração, medidos com penetrômetro manual e gerados a partir de interpolação espacial, em talhões com produção de algodão no município de Pedra Preta-MT (Figura 3A) e Sapezal-MT (Figura 3B).

**Figura 3.** Mapas de resistência à penetração na camada 10-40cm em área de plantio de algodão em Pedra Preta-MT (A) e Sapezal-MT (B).



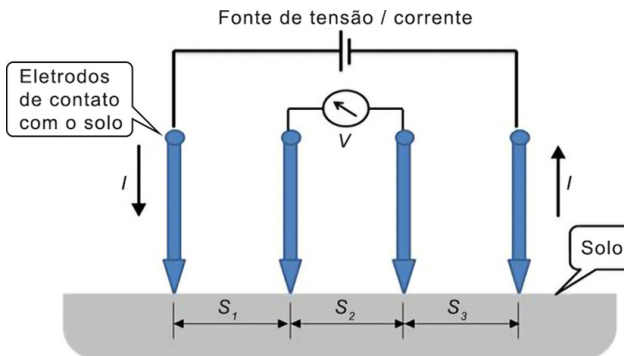
Amostragens do solo e de raízes para a quantificação de fitonematoides devem ser realizadas também durante o ciclo da cultura, não sendo assim recomendado o uso de amostradores em quadriciclo, e sim a gradagem do solo e a coleta manual de raízes. A Figura 4 apresenta mapas de fitonematoides da espécie *Rotylenchulus reniformis* no solo e na raiz, obtidos por krigagem a partir de 70 amostras coletadas em uma área de produção de soja, em Pedra Preta-MT.



**Figura 4.** Mapas de nematoides (*Rotylenchulus reniformis*) no solo (A) e na raiz da soja (B).

### 2.1.2 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) é utilizada em escala de campo no mapeamento da variabilidade espacial de muitas propriedades edáficas, tais como textura, concentração de sais e umidade. É uma ferramenta mais rápida, confiável e fácil de utilizar em comparação com outras técnicas, e que frequentemente está correlacionada com o rendimento das culturas. Por isso, está entre as mais utilizadas em pesquisa na AP para a caracterização espaço-temporal das propriedades edáficas e antropogênicas que influenciam a produtividade da cultura. As medidas de CEa são obtidas normalmente a partir do método conhecido como sistema de quatro pontos (Smtis, 1958), que consiste em utilizar quatro eletrodos de metal alinhados sequencialmente com espaçamentos conhecidos (Figura 5).



**Figura 5.** Sistema quatro pontos para medida de CEa.

Fonte: Rabello et al. (2014).

Encontram-se no mercado alguns sistemas já desenvolvidos para a medida de CEa, tanto para o tradicional sistema de quatro pontos quanto para o sistema por indução magnética, ambos de fabricação estrangeira. A Embrapa também desenvolveu um sistema de medida de CEa baseado no sistema de quatro pontos.

A CEa fornece uma alta densidade de dados, possibilitando, de modo rápido, uma visão geral da área que permite dividi-la em regiões homogêneas, facilitando a sua interpretação e, conseqüentemente, as tomadas de decisão de gerenciamento.

## 2.2 Identificação da variabilidade espacial da cultura

### 2.2.1 Mapeamento da produtividade

Para analisar a variabilidade espacial da produtividade, em AP se utiliza o conjunto de valores da produção nas coordenadas geográficas, registrados e armazenados pela máquina durante a colheita. A integração do sistema é conceitualmente simples. Consiste de um sensor de massa, um receptor GNSS e um sistema de registro dos dados. O primeiro sistema surgiu em colhedora de grãos. Para a medição de massa, utiliza-se atualmente uma placa sensor de força (semelhante às balanças eletrônicas), localizada onde os grãos são lançados por elevadores. Quanto maior o fluxo dos grãos, maior o impacto na placa. Esses valores são acumulados na memória e, a cada coordenada enviada pelo receptor GNSS, os valores acumulados são integrados e registrados. Cada fabricante registra de uma forma, e não há um padrão. Entretanto, é possível afirmar que todos armazenam pelo menos a coordenada geográfica, o horário e o valor da massa. O sensor de força é como uma balança eletrônica e deve ser calibrado com certa frequência. Alguns modelos mais atuais de colhedora realizam autocalibração, mas é comum, a cada colheita, a repetição desse processo.

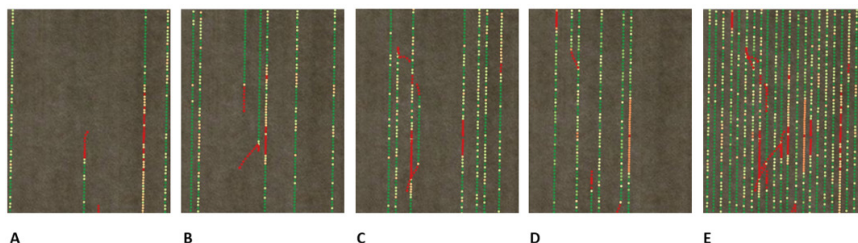
Como cada fabricante desenvolveu o seu processo, os aplicativos e os formatos de arquivos são próprios e proprietários. Há esforços na padronização, e espera-se que a incompatibilidade entre sistemas não seja mais um problema para o produtor. As dificuldades no campo não são poucas. Nas colheitas realizadas em frotas, comuns em regiões exportadoras como o Cerrado, caso uma ou mais máquinas não possuam a capacidade de mapeamento, inviabiliza-se a composição dos dados. Todo o processo em conjunto frustra a visualização da sua produção. Por isso, a colheita em AP requer atenção e, sobretudo, dedicação. No caso da colheita da primeira safra, essa operação guarda um estado de tensão causado pela espera do momento em que a umidade dos grãos chega ao ponto correto, pela possibilidade de a chuva interromper a operação (ocorre em meio à estação chuvosa) e pela necessidade de abrir a área para realizar o plantio da segunda safra.

Observando que, caso o plantio não ocorra no seu melhor momento, a cultura não expressará a máxima produtividade. Há outros fatores importantes para que se alcance uma produtividade diferenciada, mas é importante salientar que a janela de oportunidade é estreita e a gestão de tempo é diretamente relacionada à eficiência da lavoura. Portanto, é compreensível que uma operação de calibração de máquinas possa não ser prioridade entre a grande maioria dos produtores, principalmente em equipes reduzidas, eficientes e enxutas.

As primeiras culturas nas quais a medição da produtividade por máquinas ocorreu de forma comercial foram as de grãos como milho, soja e trigo. São máquinas de grande porte. Além da cultura de grãos, as culturas de café e de algodão também contam com colhedoras com capacidade para registrar a produtividade – observando que, para o caso do algodão, os sensores não são de impacto e são baseados em radares utilizando sinais de infravermelho e, mais recentemente, micro-ondas. Para a cultura de cana-de-açúcar, os sensores de produtividade em máquinas ainda não são sucessos comerciais, visto ser a medição, nessa cultura, algo bastante complexo e difícil de ser realizado automaticamente, por conta da dificuldade no desenvolvimento de sensores capazes de identificar com precisão o fluxo de biomassa. Nas demais culturas que não contam com máquinas colhedoras com sensor de produção, os mapas têm sido obtidos por meio de amostragem, de forma semelhante à amostragem de solo. É necessário um protocolo de colheita, com coordenada de cada amostra e sua pesagem, e há ainda de existir dependência espacial para viabilizar um processo de interpolação preciso. Alguns trabalhos acadêmicos podem ser encontrados, mas na cultura de cana-de-açúcar, ainda não estão disponíveis no mercado. Sensoriamento por meio de câmeras e reconstrução 3D podem ser considerados promissores (Santos et al., 2017).

Uma vez que se obtenham dados de colheita com máquinas, o pré-processamento é fundamental para correta interpretação. A Figura 6 ilustra, em sistema de informação geográfica, dados de produtividade reais de colheita de algodão coletados de uma máquina. Cada ponto ilustra a coordenada e o valor colhido, agrupados em quatro classes, que variam do vermelho (produção baixa) ao laranja, verde claro e verde mais intenso (produção máxima). As primeiras quatro Figuras, 6A, 6B, 6C e 6D, são provenientes de quatro arquivos diferentes, ou coletados de máquinas distintas ou realizados em horários distintos; a Figura 6E ilustra a composição dos quatro arquivos em um. A colheita é realizada intercalando linhas de plantio. Há interrupção durante o processo de colheita, podendo ocorrer também movimentação de manobras e deslocamento. Nesses casos, se o operador mantiver o sistema de registro ligado, há registro de produtividade zero, portanto é importante que esses pontos sejam excluídos.

**Figura 6.**  
Ilustração de dados de colheita (A, B, C, D) e sua composição (E).



### 2.2.2 Sensoriamento proximal

Vários tipos de sensores vêm sendo desenvolvidos para auxiliar na aquisição de dados de monitoramento do solo e das plantas, permitindo gerar dados de forma eficiente e com menor custo, fornecendo estimativas confiáveis do desenvolvimento da cultura para melhorar a estimativa do potencial de produção. Para o monitoramento vegetativo das plantas, os índices vegetativos (IV) NDVI e NDRE (Red Edge com diferença normalizada) podem ser obtidos por sensores de reflectância, como o Crop Circle® (Holland Scientific, Lincoln, EUA).

A tecnologia LiDAR (do inglês *Light Detection and Ranging*) é uma metodologia de sensoriamento remoto proximal baseada em conceitos ópticos. O principal objetivo é identificar distâncias para um objeto-alvo, que são determinadas por diferenças de tempo entre a emissão de um pulso de laser ao objeto-alvo e a detecção do sinal refletido por esse objeto (Reutebuch et al., 2005). A partir de um sensor LiDAR, é possível reconstruir objetos em três dimensões de forma rápida e precisa, o que torna essa tecnologia factível de ser utilizada em diversas atividades agrícolas realizadas por implementos terrestres providos de automação. Em AP, sensores LiDAR podem ser embarcados em implementos pulverizadores, em conjunto com sensores de reflectância, para detecção da altura das plantas e aplicação on-line de reguladores de crescimento (Figura 7).

### 2.2.3 Sensoriamento suborbital e remoto

Sensores com disponibilização gratuita de imagens pela internet, resoluções espaciais entre 10 m e 30 m, e resoluções temporais entre 5 e 15 dias, como Sentinel-2/MSI e LandSat-8/OLI, podem dar suporte a diversas atividades dentro do contexto da AP, principalmente em talhões com áreas mais extensas. Na agricultura brasileira, essas áreas estão concentradas em regiões produtoras de cana-de-açúcar e grãos. Para essas regiões, o sensoriamento remoto possibilita a análise da variabilidade espacial dos talhões, a partir de índices de vegetação que podem ser obtidos por combinações das bandas no espectro do visível e do infravermelho.

Análises referentes à presença de biomassa podem ser realizadas a partir de mapas de IV obtidos a partir de combinações com bandas do espectro

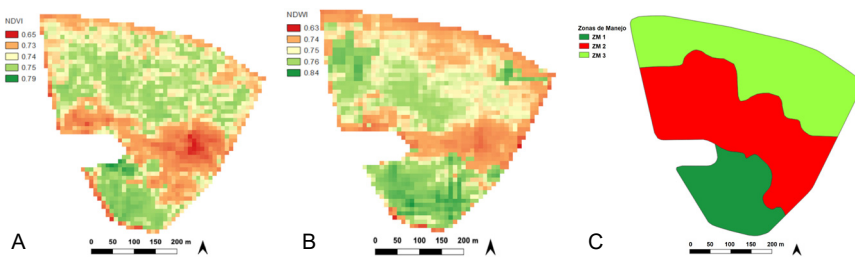




Foto: Ricardo Yasuushi Inamasu

**Figura 7.** Utilização de sensor LiDAR em conjunto com sensores de reflectância Crop Circle®, embarcados em implemento para detecção de altura de plantas.

infravermelho. Por meio desses índices, é possível estabelecer correlações com a disponibilidade de nitrogênio e outros nutrientes nas plantas, acompanhar a evolução do crescimento da cultura e realizar estimativas de produtividade em diferentes regiões dentro de um mesmo talhão (Candiago et al., 2015). A presença de água nas plantas também pode ser avaliada especialmente a partir de mapas de índices que combinam bandas do espectro visível com bandas do espectro infravermelho de ondas curtas, como o NDWI (*Normalized Difference Water Index*) (Zhang et al., 2019). Combinados com dados relacionados à variabilidade do solo e à produtividade da cultura, os IV podem se tornar importantes para estratégias de subdivisão da área para tratamentos especializados, como o delineamento de zonas de manejo (Figura 8) e a experimentação *onfarm*.



**Figura 8.** Mapas de área de cana-de-açúcar: composição de NDVI (A) e NDWI (B) de imagens de satélite Sentinel-2/MSI de fevereiro a maio de 2017; e mapa de zonas de manejo (ZM) (C) a partir de atributos do solo e da cultura entre 2012 e 2016.

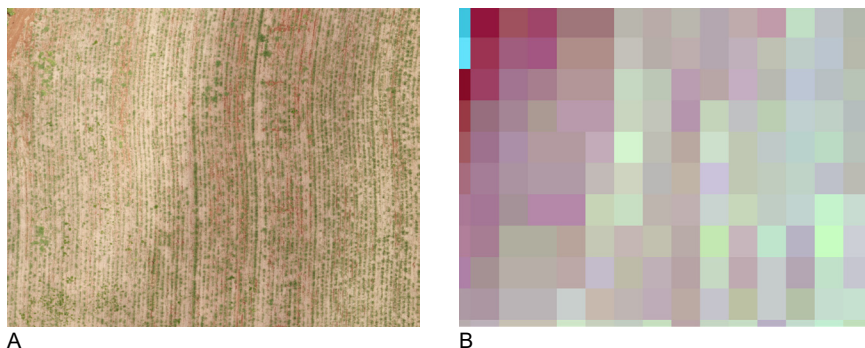
As imagens de sensoriamento remoto com resoluções espaciais abaixo de 10 m ainda não estão disponíveis gratuitamente. Entretanto, a necessidade de se obterem dados com maior precisão para atividades de AP, que permitam, por exemplo, identificar pragas e doenças e presença de plantas invasoras, e até mesmo estimar a produtividade, fez com que o uso de câmeras multi e

hiperespectrais a bordo de aeronaves remotamente pilotadas (ARP) fosse intensificado nos últimos anos (Jorge; Inamasu, 2014). O custo dessa tecnologia tem decaído ano a ano, o que faz com que, gradativamente, a sua adoção venha crescendo por parte dos produtores.

Além da redução dos custos, o uso de ARPs em AP também dá ao produtor a vantagem de planejar o momento da coleta dos dados, evitando assim problemas com dias chuvosos ou com alta incidência de nuvens que, por muitas vezes, acontecem com os dados coletados pelos satélites. Outro fator importante é a possibilidade de planejar a altura do voo a ser realizado, o que permite a obtenção de imagens com diferentes resoluções espaciais utilizando uma mesma câmera. Com isso, é possível identificar, por exemplo, falhas de plantio que imagens de sensoriamento remoto não conseguem captar (Figura 9). ARPs que incluem funções de atuação também permitem ao produtor realizar a aplicação de insumos e corretivos agrícolas de forma localizada, o que as torna uma alternativa interessante à automação convencional realizada por implementos agrícolas tradicionais (Mogili; Deepak, 2018). Entretanto, a operacionalização das ARPs ainda necessita ser realizada por profissionais especializados na maioria das aplicações. Outro ponto negativo é a autonomia e a capacidade de geração de imagens dos equipamentos. Uma única ARP tem a capacidade de gerar imagens que cobrem algumas centenas de hectares em um único dia, imagens estas que devem ser posteriormente processadas por computadores de alto desempenho para a geração de mosaicos.

**Figura 9.**

Exemplo de recorte de imagens, com cerca de 120 × 120 m de área, de um talhão de cana-de-açúcar, obtidas em outubro de 2019, utilizando: ARP com câmera embarcada, com resolução espacial de 2 cm/pixel (A); e satélite Sentinel-2/MSI, com resolução de 10 m/pixel e incidência de nuvens (B).



Acompanhando a evolução das ARPs e das câmeras multiespectrais, empresas privadas de tecnologia aeroespacial têm colocado em órbita satélites e, mais recentemente, constelações de nanosatélites, providos de sensores capazes de capturar imagens com resolução espacial abaixo de 1 m. O mercado atual permite a associação do produtor a diversas plataformas de acesso a essas imagens, já em forma de produtos prontos para o uso, normalmente a um custo elevado. Porém, diferentemente do que ocorrem com as ARPs, em

um dia é possível obter imagens que cobrem áreas extensas. Em resumo, tanto as imagens de satélite com resolução espacial submétrica quanto as imagens capturadas por ARPs ainda exigem investimentos por parte do produtor, que deve compor uma relação de custo e benefício que depende da aplicação. Nessa relação, questões como a época em que se deseja obter as imagens e a necessidade de resoluções espaciais devem ser levadas em consideração.

### 2.3 Armazenamento de dados em nuvem

A Rede de AP da Embrapa (Rede AP) tem realizado um trabalho de conscientização dos pesquisadores e dos parceiros no sentido de incentivar o compartilhamento dos dados finalísticos produzidos em suas pesquisas. Assim, a ferramenta GeoNode (<http://geonode.org>), software livre e de código aberto, foi avaliada e adaptada para absorver os requisitos específicos da comunidade, proporcionando o desenvolvimento de uma nova versão do repositório de dados da Rede AP (<http://www.redeap.cnptia.embrapa.br>). A catalogação de metadados é a principal funcionalidade do repositório, no sentido de garantir a integridade dos dados ao longo do tempo. A partir dos metadados é possível verificar, além dos dados de autoria, os equipamentos e metodologias utilizados, as condições ambientais e as dificuldades encontradas durante a coleta dos dados. Essas informações são subsídios importantes para futuras reutilizações e análises de um determinado conjunto de dados.

### 2.4 Análise de Dados em AP

#### 2.4.1 Mineração de dados e extração de padrões

As técnicas computacionais para mineração de dados são de extrema importância para o processo de análise de dados. Essas técnicas têm como principal objetivo a descoberta de padrões em bancos de dados, a partir de ferramentas disponibilizadas pelas áreas de inteligência artificial, aprendizado de máquina e estatística (Majumdar et al., 2017). Nesse contexto, normalmente são considerados métodos de aprendizado não supervisionados (agrupamento) e supervisionados (classificação).

Em AP, observa-se uma crescente popularização de algoritmos derivados de métodos de agrupamento e classificação para a realização de diferentes análises a partir dos dados. Classificadores como as redes neurais artificiais e convolucionais são utilizados para a identificação semiautomática de diversos eventos que ocorrem na cultura, tais como falhas de plantio e surgimento de pragas e plantas invasoras, a partir de imagens (Tang et al., 2017). A produtividade de uma cultura também pode ser estimada a partir de regressores e dados multiespectrais da vegetação (Al-Gaadi et al., 2016). Já os métodos de agrupamento são utilizados essencialmente para a subdivisão de áreas de

cultivo em regiões com potencial produtivo similar, conhecidas como zonas de manejo (Luchiari Jr et al., 2000).

Independentemente do método utilizado, essa análise que trata da extração de padrões está inserida em um processo mais amplo, conhecido como descoberta de conhecimento em bancos de dados (KDD – do inglês Knowledge Discovery in Databases). Desse modo, etapas anteriores, como a filtragem, a limpeza e a normalização dos dados; e posteriores, como a validação estatística dos modelos aplicados, devem ser realizadas, respectivamente, antes e depois da utilização dos métodos de mineração de dados. Quanto mais completo for o processo de KDD utilizado na análise dos dados, maior a chance de se obterem resultados mais precisos e condizentes com a realidade.

#### 2.4.2 Ferramentas de filtragem e limpeza de dados

Por meio das ferramentas de filtragem e limpeza de dados, amostras de dados obtidas em campo com erros de posicionamento ou valores discrepantes associados podem ser eliminadas do conjunto de dados a ser analisado, evitando-se, assim, erros de interpretação nas etapas posteriores. Em AP, a maior preocupação está com os dados de produtividade obtidos por colheadoras, devido à sua alta densidade amostral e à diversidade de fabricantes. Desse modo, algoritmos e softwares baseados em metodologias estatísticas e parâmetros de variabilidade informados pelo usuário podem ser usados nessa tarefa (Sudduth; Drummond, 2007; Vega et al., 2019). Além dos dados de produtividade, qualquer outro conjunto de dados oriundo de sensoriamento proximal sujeito a erros de coleta deve passar por essa etapa de limpeza e filtragem antes de ser utilizado na etapa de mineração de dados.

#### 2.4.3 Geoestatística e interpolação espacial

A análise geoestatística aplicada a AP é fundamental para garantir melhor precisão no mapeamento de dados interpolados no espaço. Segundo Vieira (2000), a geoestatística é uma ferramenta que permite analisar o grau de dependência espacial de dados que variam no espaço, seja em milhares de hectares, seja em um pequeno talhão, como numa parcela experimental de 30x30m, conforme demonstrado em Grego e Vieira (2005).

A geoestatística parte do princípio de que quanto maior o número de amostras, melhor representatividade da real variabilidade espacial será expressa pela ferramenta. Contudo, sabe-se que, na prática, é necessário atender as necessidades do usuário, considerando principalmente o recurso disponível, a mão de obra e o tempo operacional para amostragem. Para auxiliar essa etapa, é possível recorrer às informações históricas da área e a dados obtidos por sensores e imagens de satélite, otimizando, dessa forma, a quantidade de amostras.

De posse dos dados georreferenciados, é feita uma investigação quanto à existência ou não da dependência espacial, e, em caso positivo, é possível realizar a interpolação de dados por krigagem, que garante variância mínima e não tendenciosidade nos valores interpolados. O resultado baseia-se nos mapas precisos em que são observadas as manchas de variabilidade espacial, que podem ser correlacionadas formando uma plataforma de informação espacial durante os ciclos da cultura. Esse mapeamento, conforme detalhado em Bernardi et al. (2014), auxilia na identificação de zonas de manejo diferenciadas para aplicação localizada de insumos.

#### 2.4.4 Delineamento de zonas de manejo

No âmbito da AP, atividades como plantio, intervenções com aplicação de insumos e irrigação podem ser geridas de maneira uniforme, a partir da delimitação de subáreas conhecidas como zonas de manejo (ZM). Uma ZM pode ser definida como uma porção de terreno estável no tempo, onde o potencial de produção, a eficiência do uso de insumos e o risco de impacto ambiental são essencialmente uniformes (Doerge, 1999; Luchiari Jr. et al., 2000). Para que sejam obtidas ZMs com essas características, o principal pré-requisito é a utilização de atributos não antrópicos, relacionados à gênese do solo e da cultura (Molin et al., 2015). Desse modo, fatores como o relevo, a condutividade elétrica, a textura e os atributos físicos do solo, os índices de biomassa e a produtividade histórica devem ser utilizados para dar suporte ao delineamento de ZMs (Kitchen et al., 2005; Li et al., 2007; Scudiero et al., 2013).

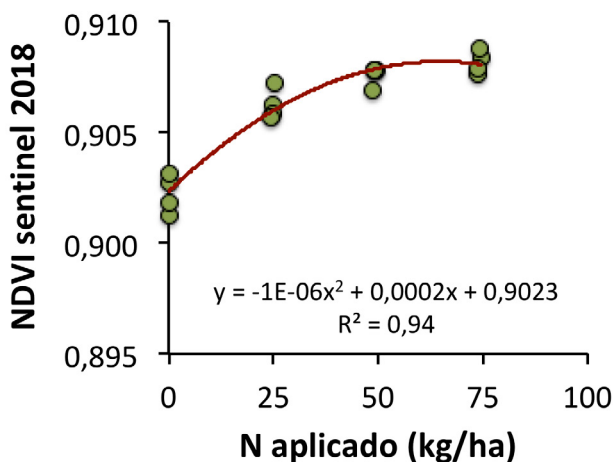
Atualmente, é possível gerar mapas de ZM combinando inúmeros conjuntos de dados e algoritmos de aprendizado de máquina, proporcionando uma maior precisão e assertividade para o produtor. Devido à atual alta disponibilidade de dados, ainda é incipiente, porém necessária, a adaptação desses algoritmos para que possam lidar com conjuntos de dados massivos, de forma que possam aproveitar ao máximo a capacidade computacional de processamento disponível no ambiente em que são executados.

#### 2.4.5 Experimentação *onfarm*, correlação espacial e recomendações

A experimentação *onfarm* consiste na definição de parcelas virtuais, dentro de uma área de cultivo experimental, para que sejam avaliadas diferentes taxas de aplicação, com repetições, em intervenções como plantio (população), adubação nitrogenada de cobertura e reguladores de crescimento. Os procedimentos por parcelas devem ser realizados conforme planejamento do produtor e com os implementos agrícolas disponíveis – daí a utilização do termo *onfarm* (ou na fazenda) (Shiratsuchi et al., 2014). Os experimentos devem ser realizados por algumas safras para que, ao final, seja possível estabelecer recomendações de doses de população e insumos espacialmente diferenciadas e adequadas

para a área estudada, considerando a produtividade da cultura como resposta. As recomendações de intervenções podem ser obtidas a partir da utilização de ferramentas de análises de correlação espacial. Em AP, o coeficiente de determinação (Nagelkerke, 1991) é um resultado do modelo de regressão linear que permite identificar a correlação e a tendência dos valores (Figura 10).

**Figura 10.** Exemplo de coeficiente de correlação  $R^2$ , obtido a partir de médias de valores de NDVI e nitrogênio (N), aplicado em parcelas de experimentação *onfarm*.



As medidas de correlação entre atributos são subsídios importantes para o estabelecimento de recomendações para áreas com características específicas em AP. Em áreas homogêneas com relação ao solo e livre de pragas, por exemplo, é possível inferir taxas de nitrogênio adequadas que devem ser aplicadas até que se atinja um limiar de produtividade máxima para a cultura naquelas condições.

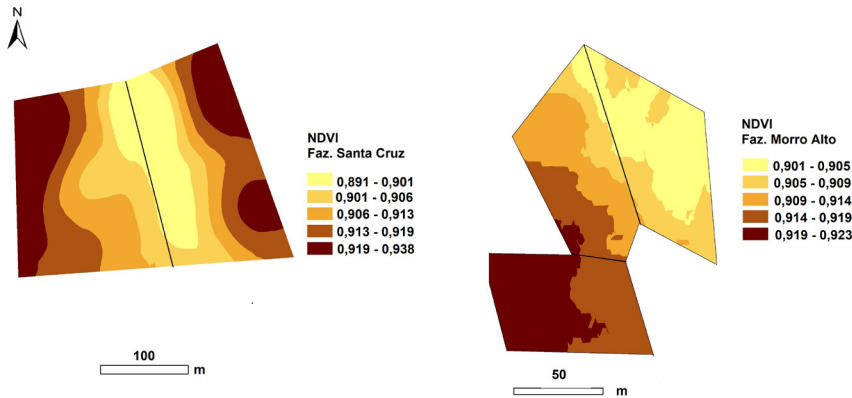
### 3 Aplicações práticas em Agricultura de Precisão

#### 3.1 Caracterização da variabilidade espacial dos sistemas de produção de cafés especiais do sul de Minas Gerais

Com o objetivo de avaliar espacialmente as áreas representativas de produção de café arábica (*Coffea arabica*), classificados como especiais do sul de Minas Gerais, Rodrigues et al. (2019a) utilizaram os índices vegetativos e de clorofila para identificar a existência de variabilidade espacial para aplicação da Cafeicultura de Precisão. No período pós-floração, em 2017, foram coletados dados relacionados a biomassa, clorofila e altitude das plantas, em duas fazendas do Sul de Minas Gerais. Foi observada a ocorrência de variabilidade



espacial e, na Fazenda Santa Cruz, foi observada uma relação inversa entre altitude e NDVI, sendo que os maiores valores de NDVI foram encontrados nas áreas mais baixas do campo. Tais fatos indicam que técnicas de manejo devem ser realizadas em função dessa variabilidade. Na Fazenda Morro Alto, a face de exposição ao sol da direita apresentou maior uniformidade (Figura 11).



**Figura 11.** Mapas de valores interpolados por krigagem ordinária para os dados de NDVI das fazendas de café Santa Cruz (A) e Morro Alto (B).  
Fonte: Rodrigues et al.(2019b)

Com o intuito de definir quais das variáveis estudadas por Rodrigues et al. (2019a) foram capazes de auxiliar no delineamento de ZM, permitindo diferenciar a qualidade do café produzido, Speranza et al. (2019a) correlacionaram mapas de potenciais ZM com os mapas compostos pelas faces de exposição ao sol em cada área. Houve alta correlação das faces de exposição ao sol com o índice IRC e um melhor desempenho geral do índice NDRE com relação ao NDVI para esse contexto. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de os dados terem sido coletados no início do período reprodutivo, logo após a floração, quando existia uma mistura de folhas completamente expandidas e outras com crescimento vegetativo inicial. Tanto Rodrigues et al. (2019b) quanto Speranza et al. (2019a) ressaltam que as respostas espaciais do café em relação aos índices de vegetação e de clorofila serão complementadas em análises futuras previstas, considerando as diferentes fases fenológicas do cafeeiro. Mapas de produtividade e qualidade de bebida também serão gerados e correlacionados com as variáveis biofísicas e microclimáticas.

### 3.2 Comportamento espacial e espectral em cana-de-açúcar correlacionado com a condutividade elétrica do solo

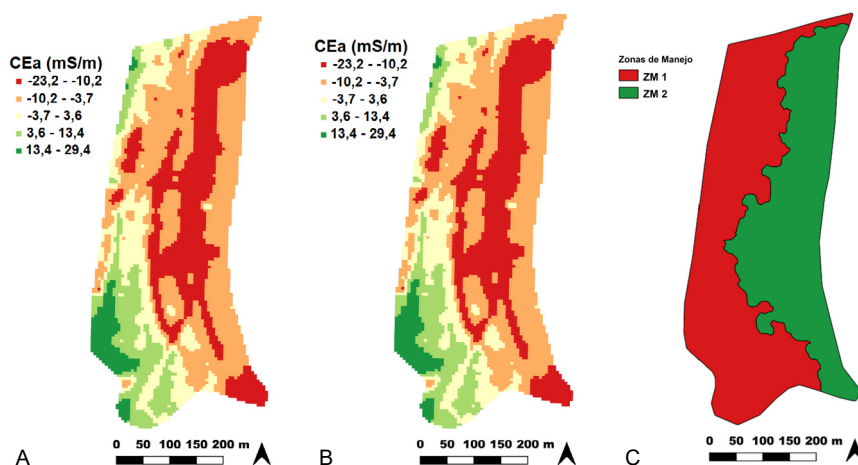
Os índices de vegetação (IV), obtidos a partir de imagens de satélites, são ferramentas poderosas que há anos vêm monitorando e contribuindo com

informações quase em tempo real sobre as culturas agrícolas, especialmente a cana-de-açúcar. A CEa do solo apresenta similaridade do comportamento espacial com os IVs obtidos tanto por sensoriamento remoto (Rodrigues et al., 2019a) como por sensoriamento proximal e suborbital (Speranza et al., 2019b), e também com a produção da cana-de-açúcar (Sanches et al., 2019). Nesse contexto, a Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa, por meio de uma parceria com a Usina Santa Cruz, pertencente ao grupo São Martinho, desenvolve experimentação *onfarm* em talhão de cana de 15,7 hectares (Grego et al., 2019; Rodrigues et al., 2019a). Por meio da geoestatística e de algoritmos de aprendizado de máquina, identificaram-se duas zonas de manejo (ZM) simplificadas para a área, que refletem a textura do solo: ZM 1 – área mais argilosa (55% da área), na parte mais baixa, do lado oeste do talhão, porém com variabilidade maior com relação à CEa; e ZM 2 – área mais arenosa (45%), na parte mais alta, do lado leste do talhão e com variabilidade menor com relação à CEa (Figura 12). A diferença entre ZM 1 e ZM 2 para TCH foi de aproximadamente 16 t/ha.

**Figura 12.**

Condutividade Elétrica aparente (CEa) em dois espaçamentos de bobina: 0,5m (A), e 1m (B); zonas de manejo delineadas (ZM 1 e ZM 2) (C).

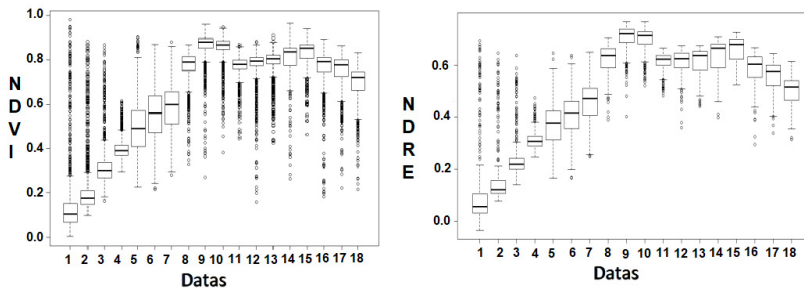
Fonte: adaptado de Speranza et al. (2019b)



O delineamento de ZM para essa área (Figura 12C) permitiu programar amostragens de solo mais adensadas na ZM 1, com maior variabilidade no solo; e menos adensada na ZM 2, com menor variabilidade no solo, subsidiando a definição da experimentação *onfarm*. A medição da CEa do solo otimiza indiretamente a amostragem espacial de áreas de cultivo, promovendo a economia de quantidade de coletas e custos para a análise do solo.

Para correlacionar as CEas aos IVs de imagens de sensoriamento remoto, foram coletadas 18 imagens da área de estudo, entre março de 2018 (mês do plantio) e julho de 2019, do sensor MSI/Sentinel-2A e 2B. Os resultados indicaram correlação significativa entre a CEa do solo (0,5 m e 1,0 m) e os IVs para a maioria das datas avaliadas. A correlação entre as variáveis IVs e

CEa foi positiva de março até setembro de 2018, ou seja, os IVs tenderam a mover-se na mesma direção relativa (mas não necessariamente a uma taxa constante) até aproximadamente 223 dias após o plantio. A partir desse período até a data final da colheita da cana, a correlação foi negativa (Figura 13). Houve similaridade de comportamento espacial e de valores de correlação com os índices de vegetação e CEa do solo. Portanto, a CEa do solo pode ser um indicador para manejos diferenciados na mesma safra da lavoura de cana.



**Figura 13.** Boxplot de valores de NDVI e NDRE2 em 18 datas de observação dos IVs na lavoura de cana-de-açúcar em Ibaté (SP).

Fonte: Rodrigues et al. (2019a).

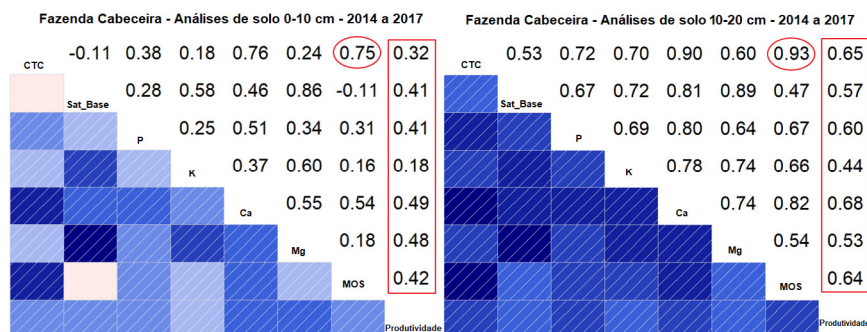
### 3.3 Tecnologias de AP em sistemas de manejo de fibras e grãos no estado de Mato Grosso

As regiões cotonicultoras oeste e sudeste do Mato Grosso são aquelas que mais utilizam percentualmente os instrumentos: barra de luz, piloto automático e controle de seção (pulverizadores e semeadores). Os implementos mais utilizados são o piloto automático (61%) e o controle de seção de pulverizadores (58%). O percentual médio de adoção de técnicas instrumentalizadas de AP nesse estado é de 42%, sendo a região oeste a de maior taxa (54%). A região oeste também está acima da média no uso de outros instrumentos para gerenciamento sob a abordagem da AP. Nela, 51% utilizam mapas de fertilidade, 22% mapas de colheita, 27% mapas de pragas doenças e plantas invasoras, 49% aplicação a taxa variável e 49% aplicações por zonas de manejo.

Devido à grande quantidade de equipamentos, existe uma preocupação urgente em capacitar continuamente a mão de obra atuando no campo em atividades de regulagem, manutenção preventiva e corretiva, tecnologia das máquinas e operações agrícolas. Após o treinamento, a região meio-norte do estado foi aquela que obteve maior aumento de eficiência percentualmente (81%), comparada com a taxa média de 71% de todo o estado. O estudo aponta que a maioria das propriedades no MT utiliza alguma das técnicas de AP, todavia a falta de mão de obra qualificada não só para operações de campo, mas para análise dos dados constitui uma limitação para a manutenção ou o crescimento dessa abordagem de gerenciamento no MT. Outro ponto importante

refere-se à coleta e ao armazenamento das análises físico-químicas do solo, de forma sistemática, associados à produtividade de talhões como forma de buscar efetividade no manejo do solo. Na Figura 14, a alta correlação de CTC e matéria orgânica, nas duas profundidades, reflete a importância da aplicação dos fertilizantes para evitar mudanças bruscas de pH, que por vezes exigem maiores aplicações de dose de calcário (Ronquim, 2010).

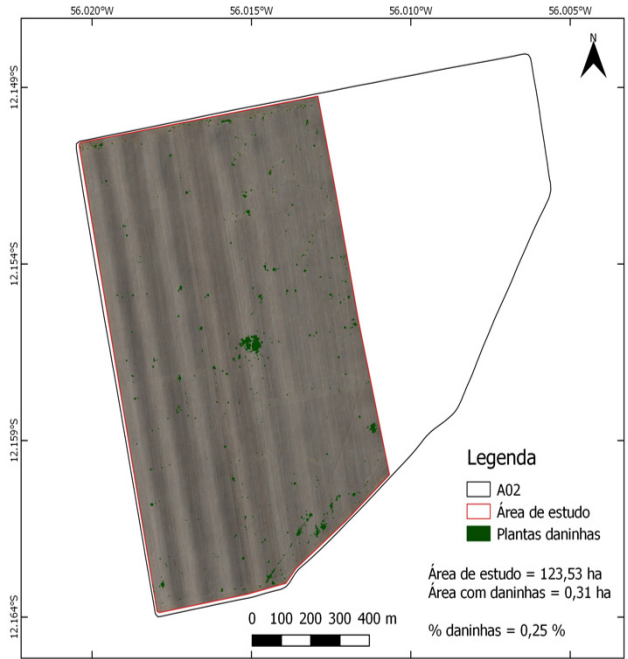
**Figura 14.** Matriz de correlação de variáveis do solo a profundidade de 0-10 cm (A) e 10-20 cm (B) em propriedade localizada no norte do Mato Grosso.



Como forma de otimizar o controle químico utilizado para identificação de plantas daninhas tem-se o uso de imagens processadas de ARPs, as quais permitem o uso específico nas porções com infestação das plantas invasoras (Figura 15). A utilização de mapas de aplicação de herbicidas reduz sensivelmente o número de ações, impactando diretamente na redução do custo de produção da cultura.

Apesar de contarem com máquinas de alto desempenho, providas de piloto automático, a gestão da variabilidade para as culturas de grãos e fibras não é comum. As áreas planas apresentam uma variabilidade espacial que não incentiva os produtores a aplicar a Agricultura de Precisão. Outro fator que desencoraja os produtores relaciona-se às versões e aos modelos de máquinas. Nessa região, são intercalados dois plantios ao ano. No caso do algodão, a cultura com a qual se realiza rotação é a soja. Cada talhão possui uma dimensão média de 200 hectares. A colheita da soja é realizada com uma frota de máquinas, entre as quais nem todas possuem monitor de colheita. Assim, mapas ficam incompletos. Não é o caso do algodão, em que, devido ao bom retorno econômico, há a possibilidade de encontrar modelos similares durante a colheita, permitindo a obtenção de mapas completos.

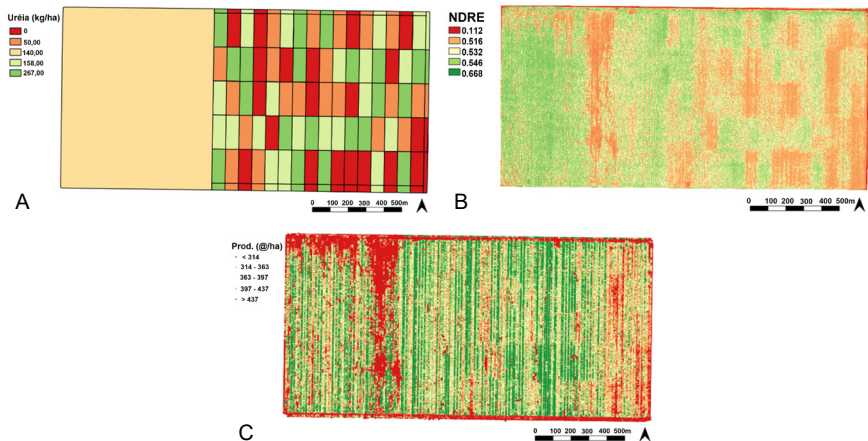
A Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa iniciou, em 2018, uma parceria com o Instituto Matogrossense do Algodão (IMAm) para pesquisas em quatro talhões experimentais de grandes produtores dos municípios de Sapezal e Rondonópolis, no estado de MT. As safras de algodão de 2018 e 2019 foram monitoradas a partir da obtenção de mapas de CEa, textura e fertilidade do solo; mapas de IV a partir de sensoriamento remoto e suborbital; mapas de



**Figura 15.** Imagem de ARP processada para identificação e geolocalização de milho voluntário e capim amargoso em propriedade localizada no norte do Mato Grosso.

distribuição de fitonematoides; e mapas de produtividade. Atualmente, três dos quatro talhões estudados adotaram o processo de experimentação *onfarm*, em que já é possível visualizar a resposta da cultura com relação à aplicação de diferentes doses de adubação nitrogenada nas parcelas virtuais (Figura 16).

Os dados coletados são corrigidos, filtrados e disponibilizados em nuvem para acesso e análise por parte das equipes de trabalho da Embrapa e do IMAmt e dos produtores. Apesar das recomendações serem aplicadas em talhões experimentais específicos, estas podem ser estendidas para talhões



**Figura 16.** Experimentação *onfarm* realizada em talhão de cultivo de algodão em MT: (A) mapa de aplicação de adubação nitrogenada (Ureia) realizada em março de 2019; (B) índice de vegetação (NDRE) em maio de 2019; (C) produtividade em setembro/2019.

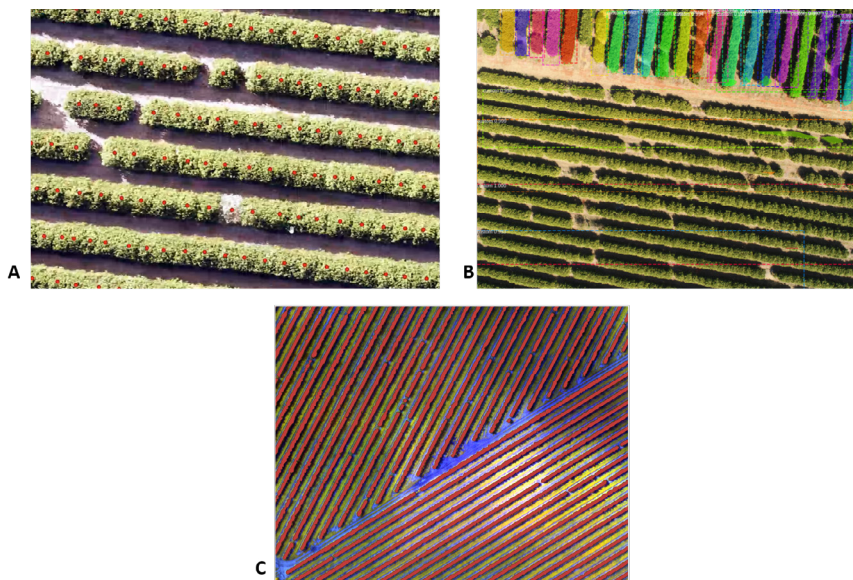


com características similares, potencializando a adoção da AP por parte dos produtores da região.

### 3.4 Aplicações de ARPs em diferentes culturas

As aplicações de ARPs na agricultura têm aumentado muito com o avanço da tecnologia e de sensores disponíveis, destacando-se a estimativa da biomassa e da produtividade, a avaliação nutricional, a detecção de pragas e doenças, a avaliação da necessidade hídrica das plantas e o mapeamento do solo com sensores RGB, multiespectral, hiperespectral, LIDAR, Thermal, dentre outros (Hatfield et al., 2008; d'Oliveira et al., 2020). Avaliando-se valores de refletância em certas regiões do espectro eletromagnético, é possível observar diferenças entre plantas e o solo e entre a vegetação verde saudável e com deficiência nutricional e hídrica ou atacada por pragas e doenças (Jorge; Inamasu, 2014). Dentre as aplicações com mais destaque tem-se o monitoramento do vigor das plantas com os índices de vegetação, os estudos para adubação nitrogenada utilizando sensores embarcados em ARPs, o uso de imagens aéreas multiespectrais para avaliação da variabilidade espacial do solo e da biomassa e as estimativas da produtividade de algodão, soja e milho. Também com os dados obtidos por ARP embarcado com sensores por imagens e LiDAR, destacam-se estudos para contagem de plantas. Na Figura 17, pode-se observar uma área de citros com contagem automática por técnicas de *deep learning*, descritas por Osco et al. (2020a). Na Figura 18 pode-se observar a determinação de altura de plantas de algodão por LIDAR embarcado em ARP, visando desenvolver metodologia de aplicação de regulador de crescimento.

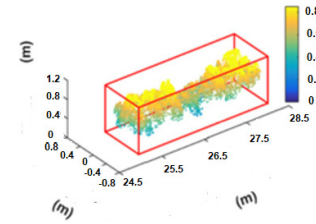
**Figura 17.** Parcela de um talhão de citros adensado com identificação de plantas (A) e linhas (B, C) por técnicas de *deep learning*.







A

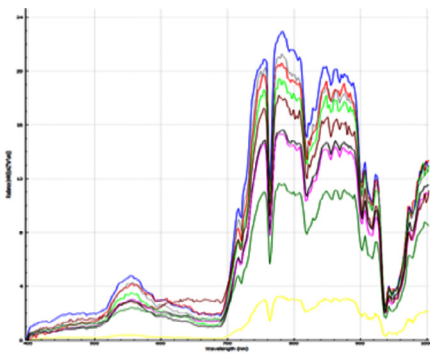


B

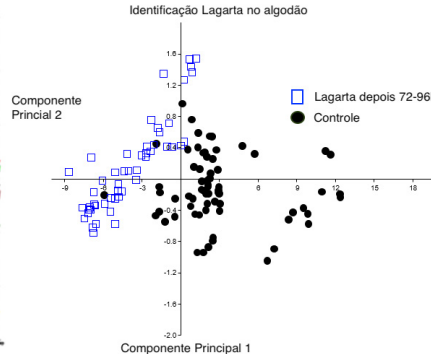
**Figura 18.** (A) Imagem de ARP e (B) Nuvem de pontos de LIDAR.

Fonte: adaptado de Sun et al. (2018).

Os sensores embarcados em ARP têm evoluído muito e possibilitado estudar a assinatura espectral da cultura a partir de hiperespectros, como na Figura 19A, e avaliar a presença de pragas na lavoura logo no início da infestação (Osco et al., 2020b). Na Figura 19B, pode-se observar o resultado da análise hiperespectral quando da ocorrência de lagartas das vagens (*Spodoptera eridania*) logo nas primeiras horas.



A



B

**Figura 19.** hiperespectro obtido pixel a pixel a imagens hiperespectrais em ARP (A) e análise hiperespectral quando da ocorrência de lagartas das vagens (*Spodoptera eridania*) logo nas primeiras horas (B).

## 4 Considerações finais

De maneira consolidada, quando se trata de AP, é importante entender que a lavoura não é uniforme e, portanto, a variabilidade espacial deve ser considerada para que o produtor tenha retorno econômico e ambiental em sua propriedade.

A AP avançou e superou expectativas principalmente no uso de máquinas operadas no campo. Contudo, ainda há problemas operacionais devido à falta de compatibilidade de sistemas digitais, tanto de comunicação entre equipamentos como para troca de arquivos e de dados, tornando-se um desafio operacional atualmente.

Uma parte importante do ciclo de aplicação da AP é a etapa de obtenção, armazenamento e análise de dados e mapas de atributos relevantes que influenciam na variabilidade espacial e temporal da produtividade das culturas.

Os mapas de produtividade expressam variações naturais e antrópicas do solo. Vários tipos de sensores terrestres, orbitais e suborbitais vêm sendo utilizados para auxiliar na aquisição de dados de monitoramento do solo e das plantas, permitindo gerar dados de forma eficiente e com menor custo, fornecendo estimativas confiáveis do desenvolvimento da cultura para melhorar a estimativa do potencial de produção.

Todos esses avanços em AP, apresentados neste capítulo, levam à agricultura atual inovações voltadas ao gerenciamento espacial e detalhado do sistema de produção agrícola, na busca de potencializar o retorno econômico e reduzir o impacto ambiental.

As metodologias e os resultados apresentados neste trabalho foram desenvolvidos com a colaboração de várias Unidades de Pesquisa da Embrapa e da gestão e de equipes técnicas de diversos parceiros como os grupos Gatto, 3D Engenharia, Amaggi, Scheffer, Sementes Petrovina, Usina de cana Santa Cruz, Fazendas de café Santa Cruz e Fazenda Morro Alto. Além disso, ressaltamos o apoio técnico nos trabalhos de campo do Instituto Matogrossense do Algodão (IMAmt) e do engenheiro agrônomo Guy Carvalho.

## 5 Referências

- AL-GAADI, K. A.; HASSABALLA, A. A.; TOLA, E.; KAYAD, A. G.; MADUGUNDU; BANDER ALBLEWI, R.; ASSIRI, F. Prediction of potato crop yield using precision agriculture techniques. **PLoS One**, v. 11, n. 9, 2016. DOI: [10.1371/journal.pone.0162219](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162219).
- BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p.
- CANDIAGO, S.; REMONDINO, F.; DE GIGLIO, M.; DUBBINI, M.; GATTELLI, M. Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. **Remote sensing**, v. 7, n. 4, p. 4026-4047, 2015. DOI: [10.3390/rs70404026](https://doi.org/10.3390/rs70404026).
- CORWIN, D. L.; PLANT, R. E. Applications of apparent soil electrical conductivity in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 1-10, 2005. DOI: [10.1016/j.compag.2004.10.004](https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.004).
- D'OLIVEIRA, M. V. N.; BROADBENT, E. N.; OLIVEIRA, L. C.; ALMEIDA, D. R. A.; PAPA, D. A.; FERREIRA, M. E.; ZAMBRANO, A. M. A.; SILVA, C. A.; AVINO, F. S.; PRATA, G. A.; MELLO, R. A.; FIGUEIREDO, E. O.; JORGE, L. A. C.; JUNIOR, L.; ALBUQUERQUE, R. W.; BRANCALION, P. H. S.; WILKINSON, B.; OLIVEIRA-DA-COSTA, M. Aboveground biomass estimation in Amazonian tropical forests: a comparison of Aircraft- and GatorEye UAV-borne LiDAR Data in the Chico Mendes Extractive Reserve in Acre, Brazil. **Remote Sensing**, v. 12, n. 1, May 2020. DOI: [10.3390/rs12111754](https://doi.org/10.3390/rs12111754).
- DOERGE, T. Defining management zones for precision farming. **Crop Insights**, v. 8, n. 21, p. 1-5, 1999.
- FALKER. **SoloDrill amostrador de solo hidráulico**. Disponível em: <https://falker.com.br>. Acesso em: 3 set. 2020.
- GREGO, C. R.; SPERANZA, E. A.; RODRIGUES, C. A. G.; NOGUEIRA, S. F.; BAYMA, G.; CIFERRI, R. R.; LUCHIARI JR., A. Definição de zonas de manejo em cana-de-açúcar usando séries temporais

de NDVI derivados do satélite Sentinel-2A. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019. 3 p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 169-177, maio/abr. 2005. DOI: [10.1590/S0100-06832005000200002](https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000200002).

HATFIELD, J. L.; GITELSON, A. A.; SCHEPERS, J. S.; WALTHALL, C. L. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. **Agronomy Journal**, v. 100, n. S3, S117-S131, 2008. DOI: [10.2134/agronj2006.0370c](https://doi.org/10.2134/agronj2006.0370c).

INTERNATIONAL SOCIETY OF PRECISION AGRICULTURE. Disponível em: <https://ispag.org>. Acesso em: 11 jun. 2020.

JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134.

KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; MYER, D. B.; DRUMMOND, S. T.; HONG, S. Y. Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 285-308, 2005. DOI: [10.1016/j.compag.2004.11.012](https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.012).

LEE, W. S.; ALCHANATIS, V.; YANG, C.; HIRAFUJI, M.; MOSHOU, M.; LI, C. Sensing technologies for precision specialty crop production. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 74, n. 1, p. 2-33, 2010. DOI: [10.1016/j.compag.2010.08.005](https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.08.005).

LEROUX, C.; TISSEYRE, B. How to measure and report within-field variability: a review of common indicators and their sensitivity. **Precision Agriculture**, v. 20, p. 562-590, 2019. DOI: [10.1007/s11119-018-9598-x](https://doi.org/10.1007/s11119-018-9598-x).

LI, Y.; SHI, Z.; LI, F.; LI, H.Y. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 56, n. 2, p. 174-186, 2007. DOI: [10.1016/j.compag.2007.01.013](https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.01.013).

LUCHIARI JR., A.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SCHEPERS, A.; PAYTON, S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Bloomington. **Proceedings**. Bloomington: American Society of Agronomy, 2000. p. 1-10.

MAJUMDAR, J.; NARASEYAPPA, S.; ANKALAKI, S. Analysis of agriculture data using data mining techniques: application of big data. **Journal of Big Data**, v. 4, n. 1, article number 20, 2017. DOI: [10.1186/s40537-017-0077-4](https://doi.org/10.1186/s40537-017-0077-4).

MOGILI, U. R.; DEEPAK, B. B. V. L. Review on application of drone systems in precision agriculture. **Procedia Computer Science**, v. 133, p. 502-509, 2018. DOI: [10.1016/j.procs.2018.07.063](https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.063).

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 224 p.

MOLIN, J. P.; TAVARES, T. R. Sensor systems for mapping soil fertility attributes: challenges, advances, and perspectives in Brazilian tropical soils. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p. 126-147, set. 2019. Número especial. DOI: [10.1590/1809-4430-eng.agric.v39nep126-147/2019](https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39nep126-147/2019).

NAGELKERKE, N. J. D. A note on a general definition of the coefficient of determination. **Biometrika**, v. 78, n. 3, p. 691-692, Sept 1991. DOI: [10.1093/biomet/78.3.691](https://doi.org/10.1093/biomet/78.3.691).

NO-TILL FARMER. **Sensor EM38**. Disponível em: <https://www.no-tillfarmer>. Acesso em: 3 set. 2020.

OSCO, L. P.; ARRUDA, M. dos S. de; MARCATO JUNIOR, J.; SILVA, N. B. da; RAMOS, A. P. M.; MORYIA, É. A. S.; IMAI, N. N.; PEREIRA, D. R.; CRESTE, J. E.; MATSUBARA, E. T.; LI, J.; GONÇALVES, W. N. A convolutional neural network approach for counting and geolocating citrus-trees in UAV multispectral imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 160, p. 97-106, Feb 2020a. DOI: [10.1016/j.isprs.2019.12.010](https://doi.org/10.1016/j.isprs.2019.12.010).

OSCO, L. P.; RAMOS, A. P. M.; PINHEIRO, M. M. F.; MORYIA, É. A. S.; IMAI, N. N.; ESTRABIS, N.; IANCZYK, F.; ARAUJO, F. F. de; LIESENBERG, V.; JORGE, L. A. de C.; LI, J.; MA, L.; GONÇALVES, W. N.; MARCATO JUNIOR, J.; CRESTE, J. E. A machine learning framework to predict nutrient content in Valencia-orange leaf hyperspectral measurements. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, p. 906, 2020b. DOI: [10.3390/rs12060906](https://doi.org/10.3390/rs12060906).

RABELLO, L. M.; BERNARDI, A. C. de C.; INAMASU, R. Y. Condutividade elétrica aparente do solo. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 48-57.

REUTEBUCH, S. E.; ANDERSEN, H.-E.; McGAUGHEY, R. J. Light detection and ranging (LIDAR): an emerging tool for multiple resource inventory. **Journal of Forestry**, v. 103, n. 6, p. 286-292, 2005.

RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R.; SANCHES, G. M.; SPERANZA, E. A.; RONQUIM, C. C.; SILVEIRA, H. L. F.; LUCHIARI JUNIOR, A. Índices de vegetação (Sentinel-2) da cana-de-açúcar relacionados com a condutividade elétrica aparente de solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 2019, São Carlos, SP. **Ciência, inovação e mercado: anais**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2019a. p. 151-155.

RODRIGUES, G. C.; GREGO, C. R.; LUCHIARI, A.; SPERANZA, E. A. Caracterização espacial de índices de vegetação índice relativo de clorofila em áreas de produção cafés especiais no sul de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 10., 2019, Vitória, ES. **Pesquisa, inovação e sustentabilidade dos cafés do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2019b. 6 p.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 8).

SACI SOLUÇÕES. **SACI TRAIL**: amostrador de solo da Saci Soluções. Disponível em: <https://www.sacisolucoes.com.br>. Acesso em: 3 set 2020.

SANCHES, G. M.; PAULA, M. T. N. de; MAGALHÃES, P. S. G.; DUFT, D. G.; VITTI, A. C.; KOLLN, O. T.; BORGES, B. M. M. N.; FRANCO, H. C. J. Precision production environments for sugarcane fields. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 1, p. 10-17, Jan/Feb 2019. DOI: [10.1590/1678-992x-2017-0128](https://doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0128).

SANTOS, T. T.; BASSOI, L. H.; OLDONI, H.; MARTINS, R. L. Automatic grape bunch detection in vineyards based on affordable 3D phenotyping using a consumer webcam. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11., 2017, Campinas. **Ciência de dados na era da agricultura digital: anais**. Campinas: Ed. Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária, 2017. v. 11, p. 89-98.

Scudiero, E.; Teatini, P.; Corwin, D. L.; Deiana, R.; Berti, A.; Morari, F. Delineation of site-specific management units in a saline region at the Venice Lagoon margin, Italy, using soil reflectance and apparent electrical conductivity. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 99, p. 54-64, Nov 2013. DOI: [10.1016/j.compag.2013.08.023](https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.023).

SUN, S.; LI, C.; PATERSON, A. H.; JIANG, Y.; XU, R.; ROBERTSON, J. S.; SNIDER, J. L.; CHEE, P. W. In-field high throughput phenotyping and cotton plant growth analysis using LiDAR. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 16, Jan 2018. DOI: [10.3389/fpls.2018.00016](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00016).

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICTORIA, D. de C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VILELA, M. de F. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 58-73.

SMTIS, F. M. Measurement of sheet resistivities with the four-point probe. **The Bell System Technical Journal**, v. 37, n. 3, p. 711-718, May 1958. DOI: [10.1002/j.1538-7305.1958.tb03883.x](https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1958.tb03883.x).

SPERANZA, E. A.; GREGO, C. R.; JORGE, L. A. C.; RODRIGUES, C. A. G.; LUCHIARI JUNIOR, A.; RONQUIM, C. C.; SANCHES, G. M. Delineamento de zonas de manejo em cana-de-açúcar a partir de atributos do solo e da cultura e imagens georreferenciadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 2019, São Carlos, SP. **Ciência, inovação e mercado: anais**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2019a. p. 175-179.

SPERANZA, E. A.; GREGO, C. R.; RODRIGUES, G. C.; LUCHIARI, A. Influência das diferentes faces de exposição ao sol nos índices vegetativos e relativo de clorofila em cafés especiais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 12., 2019, Indaiatuba. **Anais**. Indaiatuba: FATEC; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; Ponta Grossa: UEPG, 2019b.

SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T. Yield editor: software for removing errors from crop yield maps. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 6, p. 1471-1482, 2007. DOI: [10.2134/agronj2006.0326](https://doi.org/10.2134/agronj2006.0326).

TANG, J. L.; WANG, D.; ZHANG, Z. G.; HE, L. J.; XU, Y. Weed identification based on K-means feature learning combined with convolutional neural network. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 135, p. 63-70, 2017. DOI: [10.1016/j.compag.2017.01.001](https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.01.001).

VEGA, A.; CÓRDOBA, M.; CASTRO-FRANCO, M.; BALZARINI, M. Protocol for automating error removal from yield maps. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 5, p. 1030-1044, 2019. DOI: [10.1007/s11119-018-09632-8](https://doi.org/10.1007/s11119-018-09632-8).

VERIS. **Sensor Veris Technologies**. Disponível em: <http://www.veristech.com>. Acesso em: 3 set 2020.

VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

ZHANG, T-X.; SU, J.-Y.; LIU, C.-J.; CHEN, W. H. Potential bands of Sentinel-2A satellite for classification problems in precision agriculture. **International Journal of Automation and Computing**, v. 16, n. 1, p. 16-26, 2019. DOI: [10.1007/s11633-018-1143-x](https://doi.org/10.1007/s11633-018-1143-x).



# 8 Engenharia da informação: contribuições para a agricultura digital

Ivo Pierozzi Júnior  
Marcos Cezar Visoli  
Marcia Izabel Fugisawa Souza  
Luiz Manoel Silva Cunha  
Isaque Vacari  
Tércia Zavaglia Torres

## 1 Introdução

A agricultura digital apresenta-se como um exercício de modelagem dos fenômenos e dos processos agropecuários, nas dimensões ambiental, econômica e social, por meio de artefatos computacionais e de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), visando trazer para o setor agrícola facilidades de organização, acesso, uso, compartilhamento, disseminação e aplicação do conhecimento científico.

São múltiplos os desafios de um mundo globalizado, sendo até mesmo difícil obter consenso sobre quais seriam os prioritários. Todavia, um deles – tornar o conhecimento acessível a todos – destaca-se como mais importante devido aos seus efeitos estruturantes. Em nenhuma outra época da história, a produção de conhecimentos foi tão intensa como nos dias de hoje, como também em nenhuma outra época a sua aplicação assumiu papel tão preponderante. Daí a importância da gestão do conhecimento, pois entre a sua produção e a sua utilização há uma cadeia de procedimentos complexos que podem ou não determinar o seu êxito operativo. Para alguns especialistas como Manuel Castells, a aplicação do



conhecimento está na centralidade da revolução conceitual e operacional impulsionada pelos avanços da ciência e da tecnologia que se opera nas sociedades contemporâneas, e que atinge em velocidade sem precedentes todos os setores da vida humana. Importa, assim, pensar a utilização de conhecimentos, pavimentar caminhos para os seus diversos usos e assegurar a sua dimensão social e ética. (Defourny, 2006, p. 7).

O termo Engenharia da Informação, conforme apresentado por Martin e Finkelstein (1989), enuncia-se em três definições diferentes, mas convergentes conceitualmente. Em duas delas, ressalta-se a palavra “automatizadas”:

- 1) “A aplicação de um conjunto interligado de técnicas formais de planejamento, análise, projeto e construção de sistemas de informações sobre uma organização como um todo ou em um de seus principais setores”;
- 2) “Um conjunto interligado de técnicas automatizadas no qual são construídos modelos de organização, modelos de dados e modelos de processos em uma abrangente base de conhecimentos, a fim de serem usados para criarem e manterem sistemas de processamento de dados”;
- 3) “Um conjunto de disciplinas automatizadas em nível de organização cuja finalidade é fornecer as informações certas, às pessoas certas e na hora certa.”

A partir dessa perspectiva e desse contexto é que a Engenharia da Informação é apresentada no presente capítulo, conforme entendimento desta disciplina, como via de mapeamento, organização e representação do conhecimento agropecuário e no contexto da agricultura digital.

Na perspectiva da Gestão do Conhecimento (GC), o itinerário de entrega do conhecimento científico e a garantia de sua eficácia e eficiência como resposta às demandas da sociedade, incluindo aquelas afetas à agropecuária (alimentos, energia e fibras, fundamentalmente) são possibilitados pela Engenharia da Informação. Na Embrapa, a relação entre dados, informação e conhecimento já foi trabalhada (Pierozzi et al., 2017) para viabilizar a utilização de concepções teóricas e conceituais que alinham esses três níveis de organização da percepção humana sobre o mundo real e sua consequente transformação em tecnologias.

A aplicação do conhecimento, ou seja, sua apreensão e utilização como solução de problemas e desafios, passa pelo processo de tomada de decisão. Não existe a melhor decisão a ser tomada. Existe a decisão possível diante da capacidade de se identificar, reunir, processar e conjugar o maior volume possível de informações sobre um determinado assunto. Assim, enquanto disciplina de pesquisa, de desenvolvimento e de inovação, a Engenharia da Informação posiciona-se no ponto central para conjugar dados, originados

da prática da pesquisa agropecuária, ao conhecimento, este representando a oferta e a utilização dos resultados da atuação da Embrapa, modelados em TIC.

Soma-se aos desafios mencionados, o ritmo dinâmico e massivo de produção e oferta de conhecimento, acelerado pelo avanço e pelo suporte das TIC. Então, simultaneamente, emerge outro desafio no qual a qualidade do conhecimento oferecido configura-se igualmente como demanda social: o conhecimento que se busca passa a ser exigido como ambientalmente sustentável, economicamente viável e socialmente justo. Não é diferente no contexto da pragmática do conhecimento científico e, em particular, no contexto do conhecimento agropecuário.

A Embrapa tem manifestado, em seus exercícios constantes de planejamento estratégico, no qual revisa periodicamente sua missão, visão, objetivos e metas (Embrapa, 2018), constante preocupação com a entrega de conhecimento tecnológico para a sociedade, utilizando premissas de qualidade e efetividade. Sua recente incursão na implantação de modelos de gestão de pesquisa orientados à inovação corroboram a convergência e a coerência dessa intenção, em especial porque é uma empresa geradora de conhecimentos e competências e, portanto, uma empresa que aprende e evolui científica, tecnológica e organizacionalmente (Garcia; Salles Filho, 2009).

Diante dessa realidade, a Embrapa Informática Agropecuária insere a sua contribuição, visto que tem investido esforços para desenvolver e inovar metodologias e tecnologias e produzir conhecimentos dentro de suas competências em Computação e TIC.

É nesse contexto que se alinham e exploram as vias da agricultura digital, conceito e termo que se apresenta, no âmbito da PD&I e da C&T, não apenas como uma tendência mas, em especial, como um novo paradigma socioeconômico do setor agrícola, já que lança mão de TIC para dar fluxo aos dados de pesquisa e transmutá-los em informação, conhecimento e tecnologia para o produtor, por meio de *Internet of Things (IoT)*, *Big Data*, *Cloud Computing*, *Machine Learning* etc. Esse paradigma inerente à agricultura digital conjuga-se com outros paradigmas contemporâneos, como a Economia da Informação ou Economia do Conhecimento, a Ciência de Dados e a Ciência Aberta (Porat; Rubin, 1977; Powell; Snellman, 2004; Pordes et al., 2007; Aalst, 2016).

A palavra “engenharia” tem se associado à computação (engenharia de software, de dados, do conhecimento etc.), como forma de expressar os processos de “construção” de artefatos computacionais que representam as coisas (entidades, fenômenos, processos) do mundo real para a linguagem de máquinas. Uma explicação possível para esse fenômeno linguístico de recombinações conceituais e terminológicas interdisciplinares é o entendimento de que o uso prático do conhecimento é um interminável processo, contínuo e dinâmico, de recombinação, análise, síntese e ressignificação conceituais

em contextos permanentemente emergentes. Daí a significação metafórica da palavra “engenharia”.

Paralelamente, no mesmo itinerário de construção e desenvolvimento do conhecimento, outra reflexão conceitual tem associado as palavras “dado”, “informação” e “conhecimento” (D-I-C), criando vários modelos de representação dessa relação e induzindo e ressignificando, a partir daí, as acepções do termo “engenharia”. Recentemente, na proposição de um modelo de Governança de Dados e Informação para Conhecimento na Embrapa, uma concepção de modelo dessa relação, diferente das convencionais, foi apresentada com o intuito de facilitar a sua implantação organizacional e operacional em suporte aos processos corporativos de gestão de dados, informação e conhecimento (Pierozzi Junior et al., 2017). O modelo tem como referenciais teóricos e conceituais, além da noção da relação D-I-C, os ciclos de vida dos dados, da informação e do conhecimento, concebidos de forma conjugada e alinhada e representados como uma mandala.

Esse modelo também embasa uma abordagem ontológica (Mol, 2008), que serve como itinerário de construção do ôntico, ou seja, da entidade propriamente dita. O termo “entidade” é empregado como referência aos objetos ou artefatos computacionais a serem engenhados (softwares, aplicativos, sistemas de informação etc.), visto serem esses os objetos que concretizam operacionalmente o conhecimento científico e multidisciplinar, viabilizando sua aplicação na solução de problemas ou em resposta a demandas do setor agropecuário.

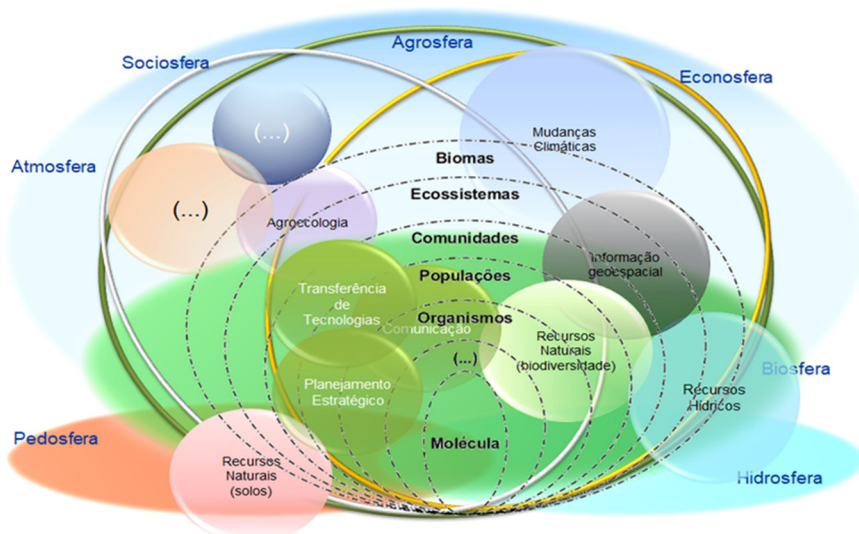
A partir dessa concepção geral, a Engenharia da Informação, enquanto área de conhecimento, disciplina ou proposta de processo produtivo de tecnologias e inovação, configurou-se como uma atraente opção conceitual e terminológica para reunir as competências, as tecnologias e as soluções executadas e produzidas pela Embrapa Informática Agropecuária ao longo de sua história e, principalmente, como uma opção oportuna para sistematizar o processo de transformação de dados científicos em conhecimento pragmático.

Para tanto, um metamodelo conceitual está sendo elaborado para organizar concepções de mundo nas esferas ambiental, agropecuária, social e econômica (Figura 1), visando o desenvolvimento de produtos computacionais em resposta a desafios e oportunidades para a agricultura digital. Outro metamodelo (Figura 2) reúne abordagens conceituais, metodológicas e tecnológicas que se alinham, a partir do conceito de Engenharia da Informação, como um constructo integrador de pragmáticas do conhecimento que são inerentes a várias ciências como as da Cognição, Informação e Computação.

Nas seções seguintes serão apresentadas, discutidas e contextualizadas ações de pesquisa e resultados que, no contexto da Engenharia da Informação, estão sendo desenvolvidos na Embrapa Informática Agropecuária.

**Figura 1.**

Representação conceitual multi, inter e transdisciplinar da agropecuária.

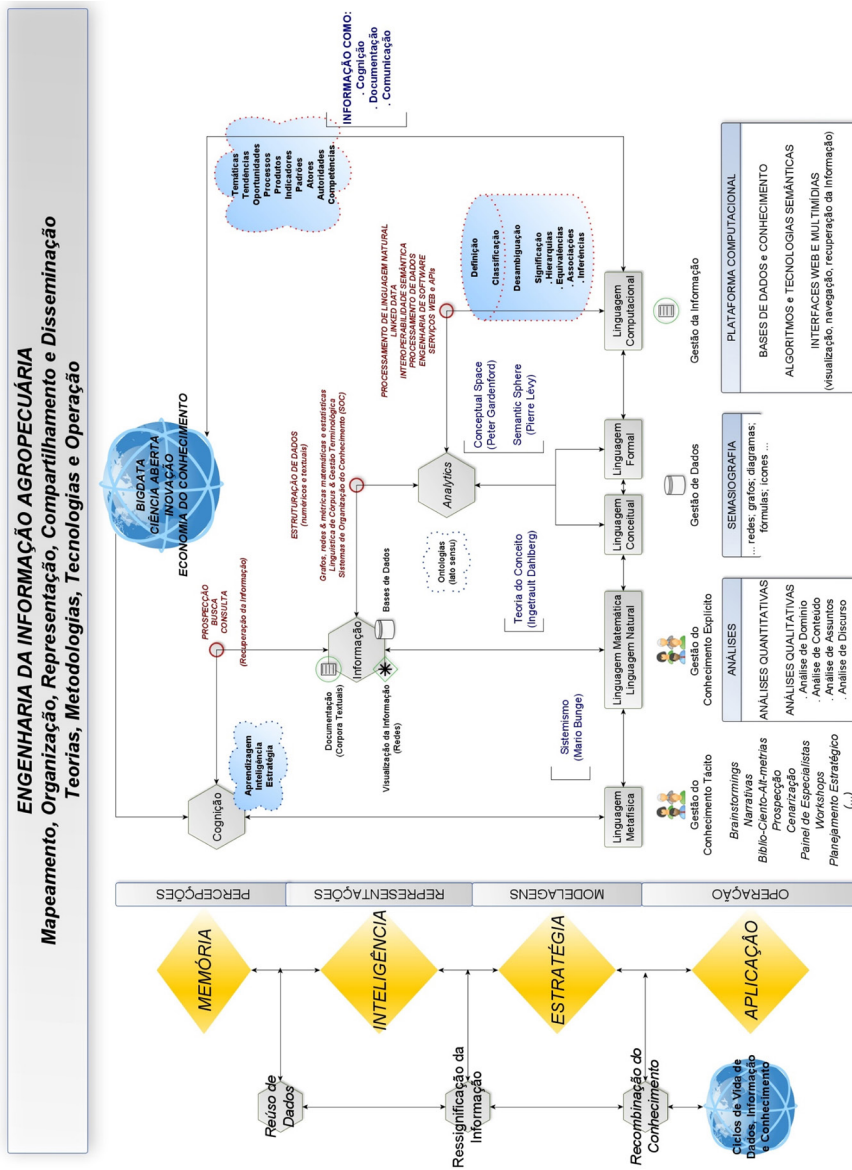


## 2 Sistemas de organização e representação do conhecimento

Para tornar o conhecimento acessível e utilizável, seja por agentes humanos, seja por agentes tecnológicos, é preciso organizá-lo (Soergel, 2009). Dessa forma, incluída a percepção tecnológica, a Engenharia da Informação pode ser entendida como uma área ou disciplina de conhecimento que permite construir um itinerário operacional, com suporte de computação e TIC, para que o conhecimento se torne acessível e utilizável.

A Enciclopédia de Organização do Conhecimento define os Sistemas de Organização do Conhecimento (SOC) como:

[...] um termo genérico usado para se referir a uma ampla gama de itens (por exemplo, títulos de assuntos, tesouros, esquemas de classificação e ontologias), que foram concebidos com relação a diferentes finalidades, em momentos históricos distintos. Eles são caracterizados por diferentes estruturas e funções específicas, maneiras variadas de se relacionar com a tecnologia e usados em uma pluralidade de contextos por diversas comunidades. No entanto, o que todos eles têm em comum é que foram projetados para apoiar a organização de conhecimento e informação, a fim de facilitar o gerenciamento e a recuperação. (Mazzocchi, 2019, p. 1, tradução nossa).

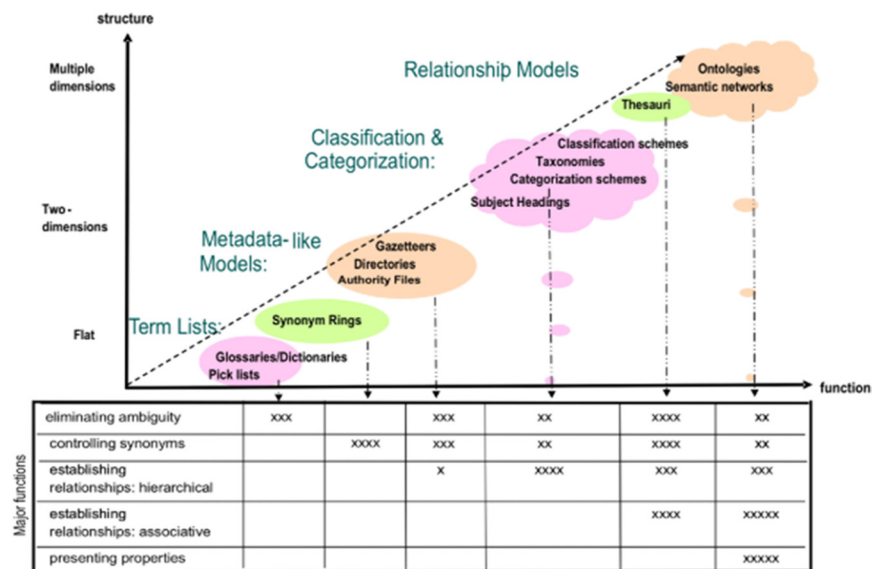


**Figura 2.** Metamodelo da Engenharia da Informação Agropecuária.

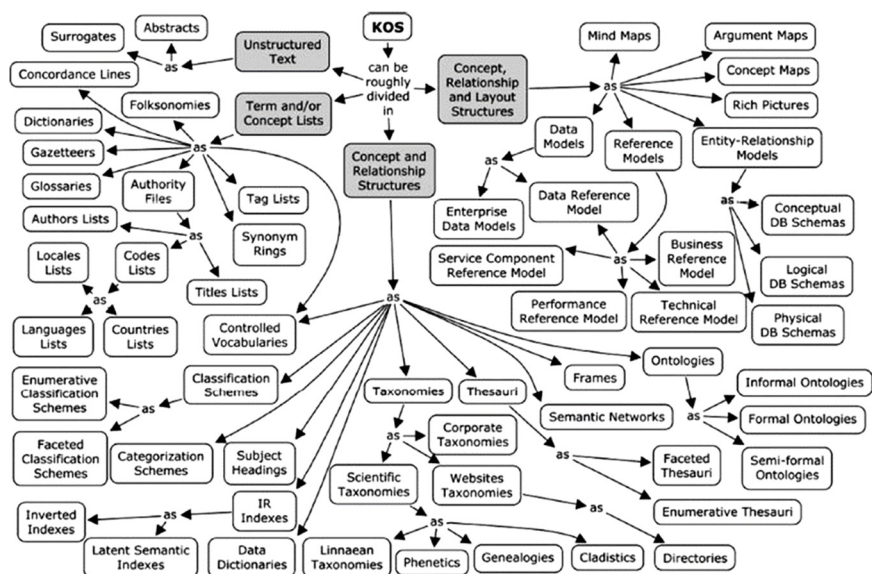
Também podem ser definidos como “[...] sistemas conceituais semanticamente estruturados que contemplam termos, definições, relacionamentos e propriedades dos conceitos” (Carlan; Medeiros, 2011, p. 54). O termo é a tradução para o português da expressão “Knowledge Organization System” (KOS), proposta pelo Networked Knowledge Organization Systems Working Group, na 1ª Conferência da ACM Digital Libraries, em 1998, em Pittsburgh, na Pennsylvania (Carlan; Medeiros, 2011, p. 54).

As Figuras 3 e 4 ilustram bem como os SOC podem ser entendidos e indicam como podem ser apreendidos e utilizados no âmbito da Engenharia da Informação.

**Figura 3.**  
Tipos de SOC.  
Fonte: Zeng (2008).



**Figura 4.**  
Classificação dos SOC.  
Fonte: Souza et al. (2012).



O processo de organização e representação do conhecimento sempre fez parte da história da humanidade (Martins; Moraes, 2015). Esse processo configura-se como uma ação multi e interdisciplinar inerente a todas as ciências



e as culturas. Assim, tanto quando Aristóteles<sup>1</sup> definiu as dez categorias do ser como categorias metafísicas, que classificam palavras em relação ao nosso conhecimento do ser, quanto hoje, na modernidade plural na qual estamos submersos, necessitamos de métodos de organização e representação do conhecimento para compreendermos o mundo à nossa volta (Mendonça, 2005).

Ocorre que, para representar o conhecimento, é necessário, antes de qualquer ação, organizá-lo, ou seja, precisamos ordená-lo em um determinado sistema para que possamos compreendê-lo (Martins; Moraes, 2015). O processo de organização de objetos é um processo classificatório e relacional, que exige do homem a capacidade cognitiva de associar ideias, criar ordem e sentido nas suas experiências, usando a interpretação do mundo, a atribuição de significados e a estruturação das ideias. A representação do conhecimento é, portanto, parte de uma totalidade que, pela percepção e pela razão, busca a formulação de conceitos abstratos sobre a realidade a qual pertence (Martins; Moraes, 2015).

Pode-se argumentar que o mundo como objeto do conhecimento humano existe como um mundo interpretado que é completamente infundido com significado. A cognição humana não pode ver fatos simples sem que esses façam parte de sua estrutura de significação (Tuomi, 1999). Daí a importância dos sistemas de organização e representação de conhecimento, sobretudo quando se inserem no escopo do desenvolvimento de soluções de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) para a agricultura digital.

No contexto do Grupo de Pesquisa de Engenharia da Informação da Embrapa Informática Agropecuária, esses sistemas são entendidos como objetos “performados”, ou seja, construídos e executados de forma alinhada a seus contextos, como objetos que inserem realidades múltiplas, respondendo diretamente às peculiaridades da modelagem de sistemas complexos. No âmbito do conhecimento agropecuário brasileiro, os SOC apresentam-se como sistemas organizativos e representativos do conhecimento desse domínio, descrevendo associações entre os múltiplos elementos interdependentes que atuam na produção do conhecimento (Latour, 2012).

Eles devem ser percebidos como espaços que integram os contextos social, cultural, ambiental e econômico da agropecuária brasileira em relações de interdependência que, para além da ação, consideram o processo de produção de conhecimento no escopo de uma realidade articulada e híbrida, com capilaridades complexas que envolvem agentes humanos e não humanos.

Nesse sentido, o sistema de representação e organização de conhecimento na Embrapa é um sistema aberto, que se configura mais como um mapa constitutivo de uma rede de atores que se autoinfluenciam por estarem em

---

<sup>1</sup> As dez categorias do conhecimento são utilizadas na classificação e na representação do pensamento humano, ou seja, os pensamentos tornaram-se ponto de partida para as representações.

permanente interação – redesenhando novos percursos – do que como um território fechado, limitado e estático.

Enquanto sistemas abertos que possuem agentes (humanos e não humanos), que se articulam e se transformam mutuamente, os SOC na Embrapa têm sido construídos e empregados em diversas dimensões de domínios de conhecimentos, resultando em ontologias fragmentadas e dispersas no tempo e no espaço, cujo potencial de representação prejudica-se em função da ausência de percepções de mais alto nível. Assim, a utilização desses artefatos conceituais da forma como têm sido concebidos e utilizados, em suporte à modelagem computacional do conhecimento agropecuário, ainda enfrenta dificuldades de coerência e convergência, pois os SOC deveriam representar múltiplas ontologias advindas de uma variedade de métodos e práticas empregados pelos pesquisadores, que movem o conhecimento da agropecuária brasileira na Embrapa (Baum et al., 2020). Dessa forma, SOC concebidos sob a ótica da política ontológica (Mol, 2008) são compreendidos como objetos performáticos que possuem maior aderência ao paradigma da complexidade à qual a agricultura brasileira está submersa.

Assim, a agropecuária como um objeto de conhecimento não é um tema passivo à espera de ser percebido sob o ponto de vista de uma infundável série de perspectivas. Ao contrário, é um objeto vivo e aberto que se constitui por meio das práticas científicas, através das quais é manipulado para ser melhor compreendido (Baum et al., 2020).

Essa racionalidade justificou a necessidade de engenhar um sistema de organização e representação de conhecimento para a Embrapa que tivesse concepção ontológica pluralista, o que implica em afirmar que é um sistema orientado e “[...] favorável à coexistência de uma variedade de explicações, suposições, métodos, metodologias, abordagens, teorias” (Baum et al., 2020, p. 14), que juntas performam a agricultura como objeto aberto, exposto às suas múltiplas relações, interações, capilaridades e, conseqüentemente, à sua própria inteireza.

### **2.1 Agrotermos: vocabulário controlado da Embrapa**

O conhecimento é uma experiência intelectual pessoal e, dessa forma, o termo “transferência de conhecimento” pode até ter sentido conceitual, mas na prática não possui sentido operacional. Tal transferência, na verdade, ocorre por meio de um processo de codificação da energia cerebral em linguagem natural, e se manifesta via comunicação entre um agente “emissor” e um agente “receptor”. A humanidade tem executado esse processo tão naturalmente que, por vezes, nem se considera que existem outros meios possíveis de codificação do conhecimento, como símbolos, sons, cheiros, texturas etc. A verdade é que, fundamentalmente, quase a totalidade do conhecimento humano tem sido codificada em linguagem natural falada ou escrita e, mais recentemente,

de forma digital, o que ainda mantém sua natureza original. Essa naturalidade humana de representação está baseada, certamente, na preponderância da percepção visual em detrimento dos outros sentidos.

Boa parte dos SOC, então, são concebidos, construídos e executados por meio dessa via: baseados no léxico, que, por sua vez, tecnologicamente, pode ser modelado por meio de métodos e ferramentas de Processamento de Linguagem Natural (PLN) e, assim, codificado graficamente.

Vocabulários controlados são SOC que colecionam e organizam palavras ou, no campo das especialidades científicas, termos. Com base na Teoria do Conceito, termos denotam conceitos, mas são apenas um dos vértices do triângulo que representa um determinado conceito. Outro vértice é o referente, ou seja, aquilo que no mundo real a mente humana percebe. Por fim, o terceiro vértice são as propriedades que se podem atribuir ao referente e que, finalmente, orientam a escolha de um elemento léxico na linguagem natural que melhor sintetize a percepção do referente (Dahlberg, 1978). Segundo a mesma autora, conceitos são considerados como unidades do conhecimento. Dessa forma, contextualiza-se o papel dos vocabulários controlados enquanto recursos facilitadores na gestão de instituições, que se confrontam com produção, acesso e compartilhamento de D-I-C, inclusive em escalas de volume e fluxo de *Big Data*. E na mesma lógica, vocabulários controlados, atualmente, beneficiam-se imensamente da Engenharia da Informação para serem concebidos, geridos e mantidos como sistemas abertos e dinâmicos, em conformidade com premissas de melhores práticas de representação do conhecimento e suas aplicações pragmáticas.

Até recentemente, a Embrapa utilizava, em seus processos corporativos de gestão de D-I-C, vocabulários controlados externos, concebidos e geridos em contextos não perfeitamente alinhados ao seu próprio repertório de conteúdos referentes à agropecuária tropical, o que dificultava enormemente o alinhamento desse acervo de conhecimento a várias fases dos ciclos de vida D-I-C, ainda mais quando desdobradas em escalas globais. No nível dos processos de catalogação, indexação, recuperação, acesso e disseminação de D-I-C, problemas de consistência, ambiguidade e falta de interoperabilidade entre sistemas de informação acumularam-se na mesma proporção que tal acervo crescia exponencialmente.

O Agrotermos foi então construído, por meio da reunião das terminologias em língua portuguesa presentes em tesouros agrícolas nacionais e internacionais, com base metodológica e tecnológica na iniciativa Global Agricultural Concept Space (GACS) (Research Data Alliance, 2020). Em decorrência, a Embrapa foi reconhecida como curadora do conteúdo em língua portuguesa, para a variante brasileira, pelo grupo editor do Agrovoc (FAO, 2020) – o vocabulário controlado da Food and Agriculture Organization (FAO) da Organização das Nações Unidas (ONU).

Atualmente, o Agrotermos está composto por aproximadamente 245 mil termos. Pelas vias da Engenharia da Informação, com utilização de metodologias e ferramentas de PLN, Linguística de Corpus e modelagem semântica, está sendo preparado para expandir sua funcionalidade tecnológica de recurso terminológico para um nível de espaço conceitual do conhecimento agropecuário brasileiro. Para que alcance tal potencial, o Agrotermos está sendo trabalhado organizacionalmente, por um grupo de trabalho permanente da Embrapa, o Gtermos, responsável por sua concepção, curadoria e gestão, dentro do contexto da Política de Governança de Dados e Informação para Conhecimento, já implantada na Embrapa e que contribui para a intenção e para os esforços de trazer a agricultura digital para a realidade do setor agropecuário brasileiro.

### 3 Gestão de dados de pesquisa

As primeiras décadas do século XXI têm se caracterizado por um crescimento explosivo na capacidade humana de adquirir, armazenar e comunicar dados digitais. Na perspectiva científica, o conceito de “ciência intensiva em dados” ou, ainda, “e-Science” (Borgman, 2007; Gray, 2009), vem se consolidando como realidade em inúmeros campos do conhecimento, muitos deles relevantes à pesquisa agropecuária.

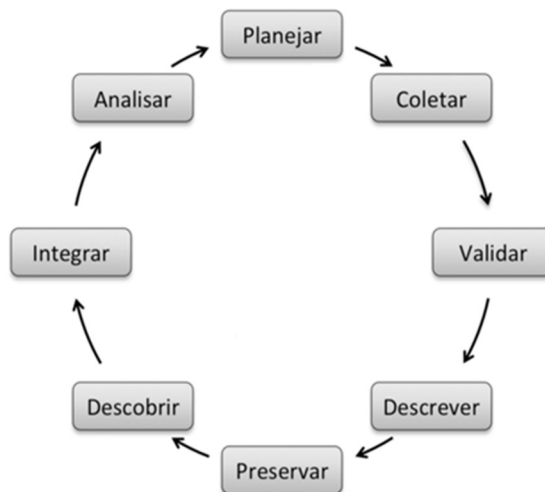
Avanços tecnológicos têm permitido maior precisão e cobertura na aquisição de dados. Alguns exemplos são aplicações da Internet das Coisas (IoT), que vem tornando o uso de sensores uma realidade no campo; as crescentes possibilidades de imageamento de áreas rurais com o uso de drones (também conhecidos como Veículos Aéreos Não Tripulados - VANTs); outras aplicações de geotecnologias; e a evolução das áreas da bioinformática e da nanotecnologia.

A conjuntura atual também vem sendo chamada de Era do “Big Data”, caracterizada pelos 5 Vs: Volume, Velocidade, Variedade, Veracidade e Valor (Mcafee; Brynjolfsson, 2012). Essa grande quantidade de dados, para ser útil, deve ser bem gerida, recuperável e passível de acesso, compreensão e integração. Esse cenário tem provocado transformações na maneira como dados, informações e conhecimento são criados e utilizados: para lidar de modo inteligente e ágil com o “dilúvio” de dados, novas habilidades são requeridas, de modo a garantir a preservação, a integração e o reuso dos dados.

Gestão de dados de pesquisa (GDP) é uma disciplina que reúne um conjunto de atividades consideradas essenciais ao planejamento, implantação e execução de estratégias, procedimentos e práticas voltadas ao gerenciamento efetivo de dados. Existem várias abordagens para se compreender a GDP; uma delas remete a diferentes concepções de modelos de ciclo de vida da

gestão do dado (CVGD), os quais fornecem uma visão da dinâmica do dado, desde a sua geração até o seu reuso.

Ciclo de vida do dado é definido pelo DataONE (2020b) como uma representação em alto nível dos estágios envolvidos na gestão e na preservação dos dados, com vista ao seu uso e reuso (Figura 5). Neste capítulo, essa definição do DataONE é tomada como referência, em razão da adequabilidade a adaptações e da versatilidade de interpretação de suas definições e conceitos. Esse ciclo de vida é composto de oito etapas: planejar, coletar, assegurar a qualidade, descrever, preservar, descobrir, integrar e analisar, as quais são descritas sucintamente, com base em Sayão e Sales (2015), Strasser et al. (2015), Araújo et al. (2019) e DataONE (2020b). Essas etapas envolvem ações cíclicas que possibilitam: a) construção de um plano de gestão dos dados voltado ao atendimento da política de dados da instituição de pesquisa; b) coleta dos dados visando a garantia da sua usabilidade e reutilização a longo prazo; c) garantia assegurada aos conjuntos de dados para que possam ser usados e sejam reproduzíveis; d) descrição dos dados de forma precisa e detalhada, adotando-se padrão de metadados, taxonomias e vocabulários controlados; e) preservação dos dados mediante armazenamento apropriado em data centers, com vistas à garantia de interoperabilidade, recuperação e busca; f) descoberta dos dados potencialmente úteis, que, tendo sido descritos por metadados, podem ser facilmente encontrados; g) integração dos dados provenientes de fontes distintas, que, combinados, geram novos conjuntos de dados passíveis de uso; h) análise dos dados propiciada pelos novos conjuntos de dados gerados na integração, com o intuito de fornecer informações relevantes para futuras pesquisas.



**Figura 5.**  
Ciclo de Vida  
de Dados.

Fonte: Adaptado de  
DataOne (2020b).

A GDP baseada no ciclo de vida do dado remete para a necessidade de adoção de melhores práticas, que são definidas como “[...] métodos ou enfoques que são reconhecidos por uma comunidade como sendo corretos ou mais apropriados para aquisição, gerenciamento, análise e compartilhamento de dados” (Sayão; Sales, 2015, p. 81). Tais práticas devem orientar as pessoas sobre como trabalhar efetivamente com seus dados em cada etapa de seu ciclo de vida, auxiliando, assim, no mapeamento dos processos envolvidos no CVGD (DataONE, 2020a). Como exemplo de melhores práticas como as preconizadas pelo DataONE, na etapa planejar, recomenda-se: criação, gestão e documentação dos dados; definição dos tipos e formato de dados a serem produzidos etc. Para a etapa descrever, por exemplo, recomenda-se: atribuir nomes a arquivos de modo que descrevam e reflitam o seu conteúdo; descrever formato para localização geoespacial e temporal do dado; adotar taxonomias padrões para descrição de quaisquer conjuntos de dados; adotar vocabulário controlado especializado; definir conjunto de elementos metadados etc.

No entanto, a recomendação de melhores práticas, por si só, não garante eficiência e eficácia na gestão de dados e, de acordo com Veiga (2019, p. 15), “não basta compartilhar dados, eles precisam ser FAIR”. Faz-se necessário, pois, associar tais melhores práticas aos princípios FAIR (acrônimo inglês para as palavras *Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*), para que dados de pesquisa, além de serem bem geridos, sejam também passíveis de se tornarem encontráveis, acessíveis, interoperáveis e reusáveis (Wilkinson et al., 2016). Os quatro princípios FAIR são compostos de 15 elementos que contribuem para complementar e enriquecer as informações essenciais às oito etapas do ciclo de vida do dado, ampliando as possibilidades de localização, acesso, interoperabilidade e reuso.

Os princípios FAIR aplicam-se a quaisquer objetos de pesquisa, para que se tornem disponíveis e entendíveis a humanos e a máquinas, garantindo transparência, reprodutibilidade e reutilização, além de proporcionarem a devida e adequada citação das informações geradas pela ciência intensiva em dados (Wilkinson et al., 2016). Os princípios FAIR, inclusive, nortearam a concepção da Política de Governança de Dados, Informação e Conhecimento da Embrapa (Embrapa, 2019), de modo a aproximar pesquisadores e demais sujeitos da pesquisa aos conjuntos de dados disponíveis em repositórios e plataformas de dados.

### 3.1 Metadados e catalogação de dados

O objeto de trabalho da catalogação e dos metadados, neste tópico, é essencialmente o dado. Dados é uma palavra que possui vários significados, abrangendo os genéricos e os especializados, a depender do contexto em que é empregada. De acordo com Semeler e Pinto (2019, p. 113), “[...] dados



significa uma peça única de informação” e, por sua vez, “os dados de pesquisa são o resultado de qualquer investigação sistemática que envolva processos de observação, experimentação ou simulação de procedimentos de pesquisa científica”.

Os metadados e a catalogação de dados são necessários para que os dados de pesquisa possam ser “[...] identificáveis, citáveis, visíveis, recuperáveis, interpretáveis, contextualizáveis, interoperáveis e reutilizáveis onde quesitos de consistência e procedência são considerados” (Semeler; Pinto, 2019, p. 116). Cabe destacar, ainda, a necessidade de se considerar o contexto da gestão de dados de pesquisa e do ciclo de vida dos dados nos quais se inserem os metadados e a catalogação de dados, que além de serem duas subetapas importantes da etapa descrição, devem estar alinhadas aos princípios FAIR.

Diante da necessidade de se ampliarem os mecanismos de representação de dados e informações para melhor gerenciá-los, e da consequente complexidade que envolve a definição de seus atributos, metadados não podem mais ser definidos como sendo tão somente “dados sobre os dados”. Na atualidade, tal definição é considerada uma expressão que não ajuda no entendimento do que significa exatamente metadados (Sayão; Sales, 2015). O que expande esse entendimento e amplia o seu domínio de aplicação é a definição dada por Riley (2017, p. 1), ao considerar metadados como sendo a informação que criamos, armazenamos e compartilhamos para descrever as coisas, e que nos permite interagir com essas coisas para obter o conhecimento necessário.

Metadados possibilitam a exploração de outras dimensões e facetas do dado, que ao serem reveladas pela catalogação passam a contribuir para a melhoria da gestão e da qualidade, favorecendo a descoberta das coleções de dados para a comunidade científica. Tais dimensões trazem à tona a necessidade de criação de novos elementos metadados, capazes de ampliar e enriquecer o esquema de metadados adotado. Metadados são indispensáveis para que, no futuro, os conteúdos digitais possam ser acessados e interpretados. Sem metadados, de acordo com Gray (2009), citado por Sayão e Sales (2016, slide 83), os usuários

[...] não saberão os detalhes de como os dados foram obtidos e preparados: 1) como os instrumentos foram projetados e construídos; 2) quando, onde e como os dados foram coletados; e, 3) não terão uma descrição dos processos que levaram aos dados derivados, que são tipicamente usados para análises científicas.

Metadados também são indispensáveis à interoperabilidade técnica e semântica, ou seja, sem eles os repositórios e as plataformas de dados não poderão intercambiar dados e informações. Metadados são constituídos por elementos descritivos bem definidos, por exemplo: autor, título, descrição,

assunto, palavra-chave, identificador, produtor, tipos de dados, condições de acesso, termo de uso das coleções etc., formando, a partir da catalogação de dados, um corpo de informações capaz de contextualizar os dados quanto à proveniência, à história, à natureza, ao propósito e a outros aspectos.

A adoção de metadados enriquecidos traz benefícios diretos para a gestão de dados, impactando positivamente no arquivamento e na preservação, bem como na interoperabilidade e na recuperação de conjuntos de dados de pesquisa. Dados somente serão úteis para análise se tiverem sido descritos por metadados de qualidade, e para que isso aconteça, a melhor recomendação é adotar os princípios FAIR ao catalogá-los.

Ainda no que se refere a metadados, e de acordo com Veiga (2019, p. 18-22), faz-se necessário destacar, sucintamente, os elementos-chave que devem orientar a adoção dos princípios FAIR, especialmente quanto ao aspecto descritivo dos metadados, quanto a: “a) elementos metadados para identificadores únicos e persistentes tanto para dados como para o conjunto de dados; b) conjunto de dados utilizando metadados enriquecidos com pluralidade de atributos precisos e relevantes; c) elemento metadado que indique clara e explicitamente os identificadores persistentes, tanto do conjunto de dados como também do próprio metadado nos repositórios e plataformas de dados; e) metadados registrados ou indexados em recursos de identificação que ofereçam capacidade de busca; f) metadados utilizando protocolos padronizados de comunicação para facilitar a recuperação dos dados via metadados, inclusive; g) disponibilidade de metadados para acesso, mesmo que os dados não estejam acessíveis e disponíveis; h) elemento metadado para representação do conhecimento por meio de linguagem formal e pelo uso de taxonomias e vocabulários controlados de acordo com os princípios FAIR, especializados e padronizados por área específica do domínio; i) elemento metadado para referências qualificadas de conjunto de dados e outros objetos de pesquisa derivados, que se interconectam, assegurando interligações semânticas entre eles, e que sejam linkáveis para outros conjuntos de dados; j) metadados com riqueza de atributos com alto nível de detalhes para que permitam ao pesquisador avaliar a possibilidade de reuso e adequação às suas necessidades; k) elemento metadado com informações inequívocas, definindo claramente quem pode ter acesso aos dados, com que finalidade e sob quais condições; l) elemento metadado que especifique a proveniência dos dados, o que subsidiará o pesquisador ao decidir sobre a utilidade dos dados ou metadados e ao atribuir crédito ao produtor dos dados; m) adoção de metadados deve estar alinhada com padrões relevantes e específicos da comunidade e da área de pesquisa”.

No âmbito da agricultura digital, metadados descritos de acordo com os princípios FAIR contribuirão diretamente para a descoberta e o reuso dos dados por outros pesquisadores e instituições de pesquisa.

### 3.2 Plataforma Dataverse

O relatório intitulado “Acesso aberto a dados de pesquisa no Brasil: soluções tecnológicas - relatório 2018” (Rocha, 2018) apresenta os resultados do projeto de pesquisa Rede de Dados de Pesquisa Brasileira (RDP Brasil), que identifica, explora e analisa em profundidade três soluções tecnológicas (Dataverse, DSpace e CKAN) para a construção de repositório de Acesso Aberto a Dados de Pesquisa (AADP).

Com base no modelo OASIS (Open Access and Scholarly Information System) – composto por 56 critérios, classificados em Representação do Ambiente do Repositório, Representação dos Conjuntos de Dados, Descrição e Documentação dos Conjuntos de Dados, Produção dos Conjuntos de Dados, Armazenamento a Longo Prazo e Planejamento da Preservação, Acesso e Uso dos Conjuntos de Dados e Uso, Desenvolvimento e Manutenção do Software –, conclui-se que as tecnologias Dataverse e DSpace possuem recursos para configuração de vários tipos de repositório de dados, incluindo hierarquias organizacionais, temáticas e políticas de dados distintas para grupos ou unidades de pesquisa, com esquemas de metadados e suporte a licenças de uso. Por sua vez, o software CKAN é uma boa alternativa quando usado como serviço de publicação e de acesso, com a submissão e a preservação digital sendo realizadas por outros ambientes de repositório.

A Plataforma Dataverse é um software livre para armazenamento, publicação e compartilhamento de dados (Dataverse, 2020b). Traz facilidades para representar cenários que são compostos por diversas entidades hierárquicas, como universidades, instituições, laboratórios, grupos de pesquisa e departamentos, provendo autonomia para implementar os detalhes da gestão de dados, como a definição de quem pode criar, autorizar a publicação ou acessar conjuntos de dados, estabelecer licenças e definir que o uso dos dados somente pode ser feito mediante solicitação.

A plataforma utiliza esquemas de metadados (compatíveis com DDI Lite, DDI Codebook, Dublin Core, DataCite, VORResource, ISA-Tab), gerencia versões de conjuntos de dados, identifica unicamente conjuntos de dados (considerando versões) de forma universal e persistente (DOI ou Handle System), disponibiliza metadados de citação e uma estrutura para citação que envolve a verificação da imutabilidade do material citado. Também viabiliza o armazenamento de documentos complementares junto a conjunto de dados, adiciona ferramentas de visualização e exploração de dados, permite a customização de sua interface, bem como proporciona a colheita de metadados a partir do protocolo Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting (OAI-PMH).

Funcionalidades adicionais podem ser incorporadas, como o suporte ao armazenamento de grandes volumes de dados; o suporte à visualização e à exploração de dados; a melhoria no mecanismo de indexação e busca e nos sistemas de autenticação de usuários.

### 3.3 Metadados na Plataforma Dataverse: a experiência da Embrapa Informática Agropecuária

Como dito anteriormente, a Plataforma Dataverse é uma aplicação web, dedicada para o compartilhamento, a preservação, a citação, a exploração e a análise de dados de pesquisa, que hospeda vários dataverses compostos por conjuntos de dados, os quais são tratados por meio de metadados (Dataverse, 2020b). A Plataforma Dataverse foi escolhida pela Embrapa Informática Agropecuária para apoiar na gestão dos conjuntos de dados de pesquisa, tendo como projeto-piloto o Laboratório Multiusuário de Bioinformática (LMB) (Embrapa Informática Agropecuária, 2020). Portanto, é nesse ambiente da Plataforma Dataverse dedicado ao LMB que ocorre a experiência relatada no tocante aos metadados (Dataverse, 2020a).

Assim como ocorre em diversas plataformas e repositórios de dados, os conjuntos de dados (*datasets*) na Plataforma Dataverse são inseridos utilizando-se um formulário para cadastro, o qual contém inúmeros campos, correspondentes a elementos metadados. Alguns desses campos são de preenchimento obrigatório, mas a maioria é opcional. Além disso existem conjuntos adicionais de metadados que podem ser adicionados, para domínios específicos de dados. Os conjuntos de metadados seguem padrões estabelecidos, garantindo a interoperabilidade com outras plataformas.

Tomando por base os princípios FAIR, foram conduzidos estudos e testes, envolvendo os usuários e os produtores dos dados do projeto-piloto do LMB, em busca de definição de elementos (termos) metadados para atender às especificidades dos usuários do projeto-piloto. Desse trabalho obtiveram-se definições quanto a: a) metadados básicos, sendo alguns obrigatórios, bem como metadados complementares, não obrigatórios; b) ferramentas para descrição de metadados: normas de descrição, taxonomia, tesouros e vocabulários controlados. Essas definições são importantes para a geração de metadados enriquecidos, que são aqueles que utilizam ferramentas de descrição, como taxonomia, tesouros e vocabulário controlado, específicas do domínio, associadas às informações de proveniência, trazendo clareza semântica quando comparados ao metadado (original) básico. De acordo com Lira (2014, p. 43):

Um conjunto de metadados enriquecidos deve apresentar algumas características como: (i) maior quantidade de atributos semânticos...; (ii) facilidade de interpretação e processamento do conteúdo dos datasets; (iii) termos de vocabulários padrões associados [...].

Os metadados na Plataforma Dataverse, a partir da experiência com criação de *dataverses* e *datasets* para gestão de dados de pesquisa no LMB, estão

espelhados nos princípios FAIR, sobretudo para torná-los ricos em destaques e com pluralidade de atributos precisos e relevantes.

### 3.4 Catalogação de dados na Plataforma Dataverse

O processo de catalogação dos conjuntos de dados do projeto-piloto do LMB inicia-se com a atividade de autodepósito, a qual é feita pelo pesquisador, o proprietário do dataset ou outra pessoa designada para tal. O momento do autodepósito do *dataverse* ou *dataset* na Plataforma Dataverse corresponde à fase de pré-catalogação, na qual são preenchidos os campos correspondentes aos elementos metadados básicos, sendo obrigatório informar: título, autor, contato, descrição e assunto.

Na fase seguinte ocorre a catalogação propriamente dita, começando pela revisão do preenchimento prévio dos conteúdos relativos aos elementos metadados básicos. A descrição catalográfica dos *dataverse* e *dataset* ocupa-se essencialmente do preenchimento dos elementos metadados complementares, a ser feito pelo especialista do domínio, preferencialmente pelo proprietário do *dataset*. No entanto, essa atividade requer conhecimento de normas e padrões da biblioteconomia, emprestando maior significado e qualidade aos conjuntos de dados.

O emprego de técnicas de catalogação para descrever e representar dados ou quaisquer objetos de pesquisa, tomando por base um conjunto estruturado de elementos metadados FAIR, é essencial para garantir a interoperabilidade técnica e semântica, o compartilhamento, o uso e o reuso dos dados de pesquisa, cabendo a responsabilidade técnica ao bibliotecário e/ou ao cientista da informação.

## 4 Qualidade de dados de pesquisa

O alto padrão de qualidade no arquivamento e na manutenção de dados é amplamente reconhecido por diversos segmentos da sociedade. Na agricultura digital, a qualidade dos dados torna-se particularmente importante para que o processo de tomada de decisões, as atividades de planejamento e outras possam ter um elevado nível de assertividade. Com base nessa constatação, e no impacto causado nos diferentes tipos de negócios, o tema Qualidade de Dados (DQ, do inglês Data Quality) é visto como um pilar forte no processo de gestão de dados. Isso tem despertado, cada vez mais, o interesse de pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento em investigar e aprofundar os estudos sobre o tema.

Como apresentado na literatura, há diferentes definições para DQ. Essas variações estão relacionadas ao contexto em que DQ está sendo discutido e ao grau de necessidade com que o usuário trata a qualidade. Importante destacar

a definição do Data Management Body Knowledge (DMBOK) para DQ: “[...] o planejamento, implementação e controle de atividades que aplicam técnicas de gerenciamento de qualidade de dados, a fim de garantir que sejam adequados ao consumidor e atendam às necessidades dos consumidores de dados” (Knight, 2017, p. 1 - tradução nossa).

Para uma organização, seja ela pública ou privada, voltada para negócios ou pesquisas, o arquivamento, a manutenção e a recuperação de dados de alta qualidade trazem oportunidades para a formulação de melhores estratégias de negócio, facilidades para que tomadas de decisões tenham o maior nível de acerto, e melhores condições de obtenção de vantagem competitiva. A falta desse nível de qualidade, além de dificultar a obtenção das vantagens mencionadas, contribui para a elevação dos custos de processamento dos dados. Além disso, diminui o nível de satisfação do cliente, quando ele recebe o resultado de um serviço ou uma informação requerida, como resposta a ação de pesquisa (Jaya et al., 2017).

O tema QD não deve ser tratado de forma independente, porque dados de baixa qualidade levam a conclusões enganosas e caras, o que pode levar à desconfiança ou à perda de credibilidade da equipe de dados. Problemas encontrados na cultura organizacional de uma instituição também afetam o processo de coleta e a qualidade dos dados.

A QD pode ser desenvolvida sob as abordagens qualitativa e quantitativa (Vancauwenbergh, 2019); na qualitativa, categorias (por exemplo, aferição, contextualização, representação e acesso) são estabelecidas e dimensões/características são associadas a cada uma delas. Por sua vez, na abordagem quantitativa, a DQ está pautada na adequação dos dados para servir a um propósito em um determinado contexto, isto é, em operações de tomadas de decisões e/ou de planejamento.

#### **4.1 Medidas para avaliação da qualidade de dados**

A avaliação da qualidade dos dados é um processo crucial dentro do gerenciamento da qualidade dos dados, por compreender diferentes etapas envolvendo vários grupos de pessoas de uma organização. O objetivo desse tipo de avaliação é identificar dados contendo algum tipo de erro e medir o impacto de vários processos de negócios orientados por dados.

O processo pode ser iniciado na fase de coleta de dados, incluindo diretrizes mínimas para garantia da qualidade, contribuindo para a redução da quantidade de trabalho a ser executada na fase de qualificação/preparação de dados (Pyle, 1999) e propiciando, assim, melhores condições para a realização das análises de dados.

A DQ pode ser avaliada utilizando-se medidas subjetivas e/ou estabelecidas por cálculos computacionais. Na prática, quando um processo de avaliação da qualidade dos dados é iniciado, medidas básicas, tais como número



de dados faltantes, quantidade de dados apresentando erro de tipografia, quantidade de dados fora do padrão, medidas estatísticas básicas e análises visuais, são utilizadas. A adoção dessas medidas dá uma noção preliminar de quão bom é o nível da qualidade dos dados. Em algumas situações, o uso de uma única medida não é suficiente para o alcance do resultado desejado, daí a utilização, em conjunto, de outras medidas.

Além das medidas mencionadas para a avaliação da qualidade dos dados, outras são descritas por Cichy e Rass (2019). Elas estão relacionadas a *frameworks* disponíveis para o estabelecimento desse tipo de avaliação. O emprego dessas medidas ocorre quando há interesse em aprofundar o nível da avaliação. Quanto maior se apresenta o nível da qualidade, maior será o nível de acurácia dos resultados gerados, o que traz maiores possibilidades para tomadas de decisões mais assertivas. Outra contribuição importante de se ter dados de qualidade é contribuir para a descoberta de conhecimentos em base de dados, conhecimentos estes que estão inseridos nos dados e não visualizados, num primeiro momento, pelo usuário (Fayyad et al., 1996).

#### 4.2 Gestão da qualidade de dados - DQM

A DQ é um dos problemas cruciais para se medir e analisar ciência, tecnologia e inovação corretamente, o que permite o monitoramento adequado da eficiência da pesquisa, da produtividade e até da tomada de decisões estratégicas (Fan; Geerts, 2017).

Normalmente, dados apresentam algum tipo de inconsistência – alguns estão duplicados, incompletos, imprecisos e obsoletos. Para torná-los aptos a produzirem resultados de qualidade, após processados e analisados, lança-se mão do processo de Gestão da Qualidade de Dados (DQM, do inglês Data Quality Management).

O objetivo principal de DQM é remover todos e quaisquer problemas encontrados, elevando a qualidade dos dados e permitindo que eles contribuam para a adição de valor aos processos de negócio e/ou produzam respostas qualificadas para as questões endereçadas (Vancauwenbergh, 2019).

A DQM envolve a execução de várias tarefas, definições de parâmetros e associações de valores a eles e estabelecimento de um fluxo de trabalho. Tudo isso deve ser registrado, atualizado e recuperado com facilidade. Para suportar todo esse trabalho, diferentes *frameworks* encontram-se disponíveis, com destaque para: DAMA DMBOK's Data Governance Model (Barbieri, 2013); EWSolutions' EIM Maturity Model (Smith, 2009); e Oracle's Data Quality Management Process (Oracle, 2009).

Esses modelos estão centrados em três elementos básicos, que são os metadados associados aos dados, os processos voltados para registro, organização e (re)uso de dados, e o contexto organizacional em relação aos dados. A qualidade de cada elemento e a interação entre eles, em última análise,

determinam a qualidade e, portanto, o verdadeiro valor do patrimônio de dados de uma organização. A permissão para descrever metadados compreensíveis por toda a organização e alinhados com os processos, as estratégias e os objetivos de negócios dessa organização é recurso disponível nesses modelos. Além disso, tais modelos fornecem meios para relatar os fatores críticos de sucesso, elementos úteis para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gerenciamento de DQ.

### 4.3 Fatores críticos de sucesso para implantação de Gestão de Qualidade de Dados

De acordo com Milosevic e Patanakul (2005, p. 183), fatores críticos de sucesso (CFS) são “[...] características, condições ou variáveis que podem ter um impacto significativo no sucesso de uma organização ou de um projeto quando adequadamente sustentado, mantido ou gerenciado”. Santos (2015) apresenta 20 CFS aplicáveis à DQM que, na visão de Milosevic e Patanakul (2005), formam quatro grandes grupos: a) operacional; b) gerenciamento; c) governança; e d) capacitação. O grupo operacional foca nos processos operacionais envolvidos em coleta, armazenamento, análise e segurança dos dados, todos eles altamente interdependentes. O grupo gerenciamento congrega os processos gerenciais, que são oriundos do grupo operacional e que visam, principalmente, o alinhamento da qualidade dos dados com as metas da organização em relação aos dados e aos resultados das análises de dados. O terceiro grupo, governança, abrange os processos de governança associados à DQM. Esses processos podem ser apresentados pela alta gerência da organização como compromisso prioritário para a implantação de DQM, estimulando uma mudança de cultura em toda a organização voltada para esse tópico. Por último, o grupo de capacitação é considerado primordial para investir em um programa de DQM, mesmo que a empresa possua uma estrutura para capacitar seus colaboradores nas ações de caráter operacional, de gerenciamento e de governança. O objetivo principal desse grupo é informar as pessoas sobre a importância dos dados qualitativos para a organização. Além do treinamento visando a implementação sistemática do DQ, em toda a organização, uma ação de acompanhamento contínuo das capacitações deve ser instituída. Isso permitirá ajustes rápidos, em casos de identificação de erros, e adequações nas regras de negócios.

## 5 Considerações finais

O capítulo teve como objetivo apresentar um relato das ações de pesquisa e dos resultados que foram executados e que estão sendo desenvolvidos na Embrapa Informática Agropecuária, no contexto da Engenharia da

Informação. Com isso, pretende-se alinhar esse trabalho às frentes de atuação da agricultura digital, bem como agregar valor à pragmática do conhecimento científico, oferecendo tecnologias mais facilmente percebidas e assimiláveis por seus potenciais usuários.

Essas ações, em curso no Grupo de Pesquisa de Engenharia da Informação, acontecem no domínio de três naturezas da informação (cognitiva, documentária e comunicativa) e por meio de artefatos computacionais que operacionalizam os processos constituintes dos ciclos de vida dos dados, da informação e do conhecimento (D-I-C). A Ciência da Computação é a principal fonte geradora dessas ações, conseguindo conjugar e complementar aportes metodológicos e tecnológicos originados em outros domínios de conhecimento, produzindo desdobramentos inter, multi e transdisciplinares com a Agronomia, a Ecologia, a Matemática, a Economia, a Sociologia e toda a gama de interseções imagináveis. Inserida e articulada nesse universo de interações entre diferentes áreas de conhecimento, a Engenharia da Informação apresenta-se como uma alternativa para a operacionalização de estratégias, visando maior alinhamento entre as ações desenvolvidas nas áreas de P&D e o processo de inovação da Embrapa.

A Embrapa Informática Agropecuária, ao inaugurar a linha de pesquisa Engenharia da Informação, reorganiza, orienta e resgata suas competências na direção de um reposicionamento de suas ações de PD&I, considerando a perspectiva do processo de inovação implantado na empresa. Em especial, no tocante ao enfrentamento dos atuais desafios de pesquisa para a consolidação da transformação digital na agricultura, a Engenharia de Informação apresenta-se capaz de contribuir de forma efetiva com aportes conceituais, metodológicos, processuais e, sobretudo, no suporte ao desenvolvimento de artefatos, objetos e ferramentas computacionais com qualidade, segundo um processo de engenharia desenhado dentro de uma concepção ontológica pluralista. Em outras palavras, a Engenharia da Informação amplia as chances de os diversos atores que circunscrevem o fenômeno “agricultura brasileira” perceberem-na como um objeto que admite múltiplas explicações, suposições, métodos, metodologias, abordagens, teorias etc. Ademais, os esforços e as iniciativas em Engenharia da Informação, envidados até o presente momento, mostram-se alinhados às tendências e às oportunidades contemporâneas de desenvolvimento e aplicações computacionais e TIC na agricultura digital.

A partir das heurísticas viabilizadas pela Engenharia da Informação, os artefatos computacionais de representação de D-I-C podem ser apreendidos para além de suas funcionalidades imediatas (Pierozzi Junior et al., 2018). No entanto, as contribuições da Engenharia da Informação podem ser traduzidas e materializadas sob diferentes perspectivas e exemplificadas na forma de repositórios e bancos de dados que viabilizam o trabalho colaborativo; na catalogação, indexação e recuperação inteligente de informação; na mineração,

uso, reuso e gestão de dados; na ressignificação da informação e interoperabilidade com outros sistemas; na descoberta de conhecimento; no acesso facilitado e controlado, comunicação, compartilhamento, aprendizagem e inteligência coletiva. Uma vez que a agricultura digital é fundamentalmente baseada em conteúdo digital, a partir de dados obtidos por meio da Internet das Coisas, preconiza-se que a Engenharia da Informação promoverá facilidades e melhorias na construção de artefatos computacionais que atendam interesses de usuários em diferentes segmentos da agropecuária brasileira

Outra leitura é possível: a) quando o **dado** é trabalhado nas perspectivas de classificação, significação e acesso, diz-se que o que estão sendo trabalhadas são suas propriedades **cognitivas**; b) quando a **informação** é trabalhada nas perspectivas de catalogação, indexação e recuperação, diz-se que o que estão sendo trabalhadas são suas propriedades **documentárias**; c) quando o **conhecimento** é trabalhado nas perspectivas de visualização ou linguagens de máquina, diz-se que o que estão sendo trabalhadas são suas propriedades de **comunicação** (disseminação). Além dessas propriedades, devem ser consideradas aquelas trabalhadas e herdadas dos níveis precedentes de dados e de informação, respectivamente. O resultado disso é um movimento cíclico e contínuo de retroalimentação, que ocorre quando o conhecimento comunicado retorna como insight para uma nova rodada dos ciclos dos dados e da informação.

## 6 Referências

AALST, W. van der. **Processing mining: data science in action**. Berlin: Springer-Verlag, 2016. 467 p. DOI: [10.1007/978-3-662-49851-4](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49851-4).

ARAÚJO, D. G. de; ALMEIDA LLARENA, M. A.; SIEBRA, S. de A.; DIAS, G. A. Contribuições para a gestão de dados científicos: análise comparativa entre modelos de ciclo de vida dos dados. **Liinc em Revista**, v. 15, n. 2, p. 32-51, nov. 2019. DOI: [10.18617/liinc.v15i2.4686](https://doi.org/10.18617/liinc.v15i2.4686).

BARBIERI, C. **Uma visão sintética e comentada do Data Management Body of Knowledge (DMBOK)**. Belo Horizonte: Fumsoft, 2013. 46 p.

BAUM, C.; MARASCHIN, C.; MARKUART, E. N. Política ontológica como abordagem para as relações intercientíficas. **Psicología, Conocimiento y Sociedad**, v. 9, n. 2, p. 8-30, nov. 2019; abr. 2020. Disponível em: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/pcs/v9n2/1688-7026-pcs-9-02-6.pdf>. Acesso em: 16 maio 2020.

BORGMAN, C. L. **Scholarship in the digital age: information, infrastructure and internet**. Cambridge, MA: MIT Press, 2007. DOI: [10.7551/mitpress/7434.001.0001](https://doi.org/10.7551/mitpress/7434.001.0001).

CARLAN, E.; MEDEIROS, M. B. B. Sistemas de organização do conhecimento na visão da Ciência da Informação. **Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação**, v. 4, n. 2, p. 53-73, ago./dez. 2011. DOI: [10.26512/rici.v4.n2.2011.1675](https://doi.org/10.26512/rici.v4.n2.2011.1675).

CICHY, C.; RASS, S. An overview of data quality frameworks. **IEEE Access**, v. 7, p. 24634-24648, Feb 2019. DOI: [10.1109/ACCESS.2019.2899751](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2899751).

DAHLBERG, I. Teoria do conceito. **Ciência da Informação**, v. 7, n. 2, p. 101-107, dez. 1978. Disponível em: <http://revista.ibict.br/ciinf/article/view/115/115>. Acesso em: 19 maio 2020.

DATAONE. **Best practices**. Albuquerque, NM: University of New Mexico, 2020a. Disponível em: <https://www.dataone.org/best-practices>. Acesso em: 27 maio 2020.

DATAONE. **Data life cycle**. Albuquerque, NM: University of New Mexico, 2020b. Disponível em: <https://www.dataone.org/data-life-cycle>. Acesso em: 2 maio 2020.

DATAVERSE. **GenClima**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2020a. Disponível em: <https://www.dataverse-h.cnptia.embrapa.br/dataverse/umip>. Acesso em: 2 maio 2020.

DATAVERSE. **Harvard Dataverse**. Cambridge, MA: Harvard College, 2020b. Disponível em: <https://dataverse.harvard.edu/>. Acesso em: 02 maio 2020.

DEFOURNY, V. Apresentação. In: TARAPANOFF, K. (org.). **Inteligência, informação e conhecimento em corporações**. Brasília, DF; Ibict: Unesco, 2006. p. 7.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Laboratório multiusuário de bioinformática**. Campinas, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/informatica-agropecuaria/lmb>. Acesso em: 2 jun. 2020.

EMBRAPA. Política de Governança de Dados, Informação e Conhecimento da Embrapa. **Boletim de Comunicações Administrativas**, v. 45, n. 16, p. 1-19, abr. 2019. 19 p. (Manual de normas da Embrapa).

EMBRAPA. **Visão 2030**: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF, 2018. 212 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/o-futuro-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 15 maio 2020.

FAN, W.; GEERTS, F. Foundations of data quality management. **Synthesis Lectures on Data Management**, v. 4, n. 5. p. 1-227, July 2017. DOI: [10.2200/S00439ED1V01Y201207DTM030](https://doi.org/10.2200/S00439ED1V01Y201207DTM030).

FAO. **AGROVOC**. Rome: FAO-AIMS, 2020. Disponível em: <http://aims.fao.org/vest-registry/vocabularies/agrovoc>. Acesso em: 20 maio 2020.

FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. From data mining to knowledge discovery in databases. **AI Magazine**, v. 17, n. 3, p. 37-54, fall 1996.

GARCIA, A. E. B.; SALLES FILHO, S. L. M. Trajetória institucional de um instituto público de pesquisa: o caso do Itai após 1995. **Revista de Administração Pública**, v. 43, n. 3, p. 661-693, maio/jun. 2009. DOI: [10.1590/S0034-76122009000300007](https://doi.org/10.1590/S0034-76122009000300007).

GRAY, J. Jim Gray on eScience: a transformed scientific method. In: HEY, T.; TANSLEY, S.; TOLLE, K. (ed.). **The fourth paradigm**: data-intensive scientific discovery. Redmond, WA: Microsoft Research, 2009. p. xvii-xxxi.

JAYA, I.; SIDI, F.; ISHAK, I.; AFFENDEY, L. S.; JABAR, M. A. A review of data quality research in achieving high data quality within organization. **Journal of Theoretical and Applied Information Technology**, v. 95, n. 12, p. 2647-2657, 2017.

KNIGHT, M. What is data quality? In: DATAVERSITY. **Dataversity.net**. Studio City, CA; Dataversity Education, 2017. Disponível em: <https://www.dataversity.net/what-is-data-quality/>. Acesso em: 19 maio 2020.

LATOURE, B. Reagregando o social: uma introdução à Teoria do Ator-Rede. Salvador: Edufba; Bauru: Edusc, 2012. 399 p. Resenha de: SEGATA J. **Ilha R. Antr.**, Florianópolis, v. 14, n. 2, p. 238-243, jul./dez. 2012. DOI: [10.5007/2175-8034.2012v14n1-2p238](https://doi.org/10.5007/2175-8034.2012v14n1-2p238).

LIRA, M. A. B. de. **Uma abordagem para enriquecimento semântico de metadados para publicação de dados abertos**. 2014. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Informática, Recife.

MARTIN, J.; FINKELSTEIN, C. **Information engineering**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1989.

MARTINS, G. K.; MORAES, J. B. E. Organização e representação do conhecimento: institucionalização como disciplina científica no âmbito da Ciência da Informação. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO - ENANCIB, 16., 2015, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa: UFPb, 2015. Disponível em: <http://www.ufpb.br/evento/index.php/enancib2015/enancib2015/paper/viewFile/3162/1030>. Acesso em: 16 maio 2020.

MAZZOCCHI, F. Knowledge organization system (KOS). In: HJORLAND, B.; GNOLI, C. (ed.). **Encyclopedia of Knowledge Organization**. Alberta: University of Alberta, 2019. Disponível em: <http://www.isko.org/cyclo/kos>. Acesso em: 16 maio 2020.

MCAFEE, A.; BRYNJOLFSSON, E. Big data: the management revolution. **Harvard Business Review**, v. 90, n. 10, p. 61-68, Oct 2012.

MENDONÇA, E. S. A organização e a representação do conhecimento no tempo. **Revista de Ciências Humanas**, n. 38, p. 277-94, out. 2005.

MILOSEVIC, D.; PATANAKUL, P. Standardized project management may increase development projects success. **International Journal of Project Management**, v. 23, n. 3, p. 181-192, Apr 2005. DOI: [10.1016/j.ijproman.2004.11.002](https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.11.002).

MOL, A. Política ontológica: algumas ideias e várias perguntas. In: NUNES, A.; ROQUE, R. (ed.). **Objectos impuros: experiências em estudos sobre a ciência**. Porto: Ed. Afrontamento, 2008. p. 63-106.

ORACLE. **Oracle® Warehouse Builder: user's guide - 11g release 1(11.1)**. Redwood City, CA, 2009. 764 p. Disponível em: [https://docs.oracle.com/cd/B31080\\_01/doc/owb.102/b28223.pdf](https://docs.oracle.com/cd/B31080_01/doc/owb.102/b28223.pdf). Acesso em: 16 maio 2020.

PIEROZZI JUNIOR, I.; BERTIN, P. R. B.; MACHADO, C. R. de L.; SILVA, A. R. da. Towards semantic knowledge maps applications: modelling the ontological nature of data and information governance in a R&D organization. In: THOMAS, C. (ed.). **Ontology in information science**. Rijeka: InTech, 2017. p. 83-104. DOI: [10.5772/67978](https://doi.org/10.5772/67978).

PORAT, M. U.; RUBIN, M. R. **The information economy**. Washington, DC: US Govt. Print Off, 1977.

PORDES, R.; PETRAVICK, D.; KRAMER, B.; OLSON, D.; LIVNY, M.; ROY, A.; AVERY, P.; BLACKBURN, K.; WENAU, T. The open science grid. **Journal of Physics: conference series**, v. 78, p. 1-15, 2007. DOI: [10.1088/1742-6596/78/1/012057](https://doi.org/10.1088/1742-6596/78/1/012057).

POWELL, W. W.; SNELLMAN, K. The knowledge economy. **Annual Review of Sociology**, v. 30, p. 199-220, Aug 2004. DOI: [10.1146/annurev.soc.29.010202.100037](https://doi.org/10.1146/annurev.soc.29.010202.100037).

PLYLE, D. **Data preparation for data mining**. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 1999. 560 p.

RESEARCH DATA ALLIANCE. **Global Agricultural Concept Space (GACS)**. [S. l.]: European Commission; National Science Foundation, 2020. Disponível em: <https://agrisemantics.org/#GACSHome>. Acesso em: 20 maio 2020.

RILEY, J. **Understanding metadata: what is metadata, and what is it for?** Bethesda, MD: NISO Press, 2017. 49 p. Disponível em: [https://groups.niso.org/apps/group\\_public/download.php/17446/Understanding%20Metadata.pdf](https://groups.niso.org/apps/group_public/download.php/17446/Understanding%20Metadata.pdf). Acesso em: 01 maio 2020.



ROCHA, R. P. da. (coord.). **Acesso aberto a dados de pesquisa no Brasil: soluções tecnológicas - relatório 2018**. Porto Alegre: UFRGS, 2018. 75 p. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/185126>. Acesso em: 14 maio 2020.

SANTOS, M. P. da C. dos. **Fatores críticos de sucesso na gestão da qualidade dos dados**. 2015. 55 p. Dissertação (Mestrado em Gestão de Sistemas de Informação) – Lisbon School of Economics & Management, Lisboa, Portugal.

SAYÃO, L. F.; SALES, L. F. **Guia de gestão de dados de pesquisa para bibliotecários e pesquisadores**. Rio de Janeiro: CNEN, 2015. 93 p.

SAYÃO, L. F.; SALES, L. F. **Guia de gestão de dados de pesquisa: [minicurso]**. Rio de Janeiro: CNEN, 2016. 196 slides.

SEMELER, A. R.; PINTO, A. L. Os diferentes conceitos de dados de pesquisa na abordagem da biblioteconomia de dados. **Ciência da Informação**, v. 48, n. 1, p. 113-129, jan./abr. 2019.

SMITH, A. Enterprise information management maturity: data governance's role. **EIMInsight Magazine**, v. 3, n. 1, jan. 2009. Disponível em: <http://www.eiminstitute.org/library/eimi-archives/volume-3-issue-1-january-2009-edition/EIM-Maturity>. Acesso em: 16 maio 2020.

SOERGEL, D. Digital libraries and knowledge organization. In: KRUK, S. R.; McDANIEL, B. (ed.). **Semantic digital libraries**. Berlin: Springer, 2009. p. 9-39. DOI: [10.1007/978-3-540-85434-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-540-85434-0_2).

SOUZA, R. R.; TUDHOPE, D.; ALMEIDA, M. B. Towards a taxonomy of KOS: dimensions for classifying knowledge organization systems. **Knowledge Organization**, v. 39, n. 3, p. 179-192, 2012. DOI: [10.5771/0943-7444-2012-3-179](https://doi.org/10.5771/0943-7444-2012-3-179).

STRASSER, C.; COOK, R.; MICHENER, W.; BUDDEN, A. **Primer on data management: what you always wanted to know**. [S. l.]: California Digital Library, 2015. 12 p. (DataONE best practices primer).

TUOMI, I. Data is more than knowledge: implications of the reversed knowledge hierarchy for knowledge management and organizational memory. **Journal of Management Information Systems**, v. 16, n. 3, p. 103-117, 1999. DOI: [10.1080/07421222.1999.11518258](https://doi.org/10.1080/07421222.1999.11518258).

VANCAUWENBERGH, S. Data quality management. In: KUNOSIC, S.; ZEREM, E. (ed.). **Scientometrics recent advances**. London: Intechopen Limited, 2019. p. 1-15. DOI: [10.5772/intechopen.86819](https://doi.org/10.5772/intechopen.86819).

VEIGA, V. **Gestão de dados de pesquisa FAIR: dando um JUMP em seus dados**. In: ENCONTRO DA REDE SUDESTE DE REPOSITÓRIOS INSTITUCIONAIS, 1., 2019, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Fiocruz/Icict/UFRJ, 2019. 59 p. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/33343>. Acesso em: 27 abr. 2020.

WILKINSON, M. D.; DUMONTIER, M.; AALBERSBERG, J. J.; APPLETON, G.; AXTON, M.; BAAK, A.; BLOMBERG, N.; BOITEN, J.-W.; SANTOS, L. B. da S.; BOURNE, P. E.; BOUWMAN, J.; BROOKES, A. J.; CLARK, T.; CROSAS, M.; DILLO, I.; DUMON, O.; EDMUNDS, S.; EVELO, C. T.; FINKERS, R.; GONZALEZ-BELTRAN, A.; GRAY, A. J. G.; GROTH, P.; GOBLE, C.; GRETHE, J. S.; HERINGA, J.; HOEN, P. A. C. 't; HOOFT, R.; KUHN, T.; KOK, R.; KOK, J.; LUSHERM, S. J.; MARTONE, M. E.; MONS, A.; PACKER, A. L.; PERSSON, B.; ROCCA-SERRA, P.; ROOS, M.; SCHAIK, R. van; SANSONE, S.-A.; SCHULTES, E.; SENGSTAG, T.; SLATER, T.; STRAWN, G.; SWERTZ, M. A.; THOMPSON, M.; LEI, J. van der; MULLIGEN, E. van; VELTEROP, J.; WAAGMEESTER, A.; WITTENBURG, P.; WOLSTENCROFT, K.; ZHAO, J.; MONS, B. The FAIR guiding principles for scientific data management and stewardship. **Scientific Data**, v. 3, article number 160018, 2016. DOI: [10.1038/sdata.2016.18](https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18).

ZENG, M. L. Knowledge Organization Systems (KOS). **Knowledge Organization**, v. 35, n. 2-3, p. 160-182, 2008. DOI: [10.5771/0943-7444-2008-2-3-160](https://doi.org/10.5771/0943-7444-2008-2-3-160).



# 9 DPIN: um dicionário dos nanoambientes internos das proteínas e seu potencial para transformação em ativos para a agricultura

Ivan Mazoni  
Goran Neshich

## 1 Introdução

As proteínas exercem um papel vital na manutenção da vida. Elas são macromoléculas resultantes da combinação, através de ligações peptídicas, destes 20 aminoácidos: alanina, arginina, aspartato, asparagina, cisteína, fenilalanina, glicina, glutamato, glutamina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, prolina, serina, tirosina, treonina, triptofano e valina. Considerando a combinação linear entre esses 20 aminoácidos, o número de possíveis variações é de  $20^n$ , onde “n” é a quantidade de resíduos de aminoácidos da proteína (como os aminoácidos perdem alguns átomos quando da formação da ligação peptídica, é usual denominá-los como resíduos de aminoácidos, uma vez que fazem parte de uma cadeia polipeptídica). Por exemplo, para uma proteína com 100 resíduos de aminoácidos, o número de possíveis combinações será igual a  $20^{100} = 1,27 \times 10^{130}$ . Em comparação, o número total estimado de átomos no Universo é de  $9 \times 10^{78}$  (Villanueva, 2009). Cada organismo, animal ou vegetal, possui milhares de diferentes proteínas. Entre as diversas funções que as proteínas têm, destacam-se, por exemplo: proteínas estruturais, de transporte, proteção e defesa, controle e regulação de expressão, catálise, movimento e

armazenamento. Para um melhor entendimento da relação entre a sequência de aminoácidos de uma proteína, sua estrutura tridimensional e a função desempenhada por ela, foi proposta a análise do nanoambiente proteico, também denominado distrito proteico ou região funcional, onde os elementos da estrutura de hierarquias subordinadas à superior (biologicamente funcional) estão inseridos.

A hipótese que motivou os trabalhos do Grupo de Pesquisa em Biologia Computacional (GPBC) da Embrapa Informática Agropecuária em Campinas (SP), durante a década de 2010-2020, foi uma abordagem que assume a existência de um “sinal”, ou seja, uma variação nos valores dos descritores físico-químicos e estruturais que distinguem um local (ou uma subestrutura proteica) específico, onde um determinado elemento de estrutura secundária (ou um sítio ativo, uma interface etc.) está inserido no arcabouço da proteína inteira. Entender como os elementos de estrutura subordinados à estrutura biologicamente funcional são formados e posteriormente mantidos abrirá o caminho para compreendermos como as proteínas assumem sua estrutura final e, conseqüentemente, sua função. Em nossos trabalhos utilizamos o STING\_RDB, uma base de dados única no mundo, produzida e mantida pelo GPBC da Embrapa, que reúne em um único repositório mais de 1300 descritores físico-químicos e estruturais de todos os resíduos de aminoácidos para cada cadeia de todas as estruturas proteicas depositadas no PDB (Protein Data Bank – um repositório público mundial onde foram depositadas todas as estruturas macromoleculares até agora decifradas).

Baseados nos resultados obtidos, concluímos que um determinado nanoambiente pode ser descrito não por um único descritor, mas por um conjunto de descritores, e que esse conjunto de descritores varia de acordo com o elemento da estrutura proteica selecionado a partir de estrutura hierarquicamente superior. Isso diferencia um determinado nanoambiente do restante da proteína e, inclusive, de outros nanoambientes na mesma proteína. O conhecimento adquirido resultante do estudo dos diversos nanoambientes permite que especialistas em diversas áreas, tais como experts em melhoramento de plantas em busca por novos agrodefensivos ou pesquisadores em busca por combustíveis mais sustentáveis, possam avançar nos seus trabalhos com maior introspecção molecular e uso de ferramentas mais precisas e apuradas, trabalhando no nível mais fundamental (molecular-atômico) de todos os processos biologicamente relevantes para medicina, agricultura, pecuária etc.

## 2 Nanoambientes proteicos e suas características

O ambiente estrutural local das proteínas, aqui denominado nanoambiente (Neshich et al., 2015), caracteriza o propósito funcional de diferentes

distritos proteicos, também conhecidos como “sítios estruturais” nas proteínas. Sugere-se, conseqüentemente, que o ambiente local em cada ponto e/ou região proteica reflete não somente seu papel estrutural, mas também sua contribuição em providenciar as características necessárias ao objetivo funcional de cada proteína. Por exemplo, a comunicação proteína-proteína é executada via interfaces proteicas: resíduos de aminoácidos em um mesmo sítio possuem algumas características particulares que não somente os diferencia dos demais resíduos da superfície livre da proteína, como também permitem a ligação específica e seletiva entre as proteínas e a realização de sua função bioquímica (Moraes et al., 2014). De modo similar, a função de uma enzima está normalmente relacionada à atividade de seus resíduos de aminoácidos catalíticos (*Catalytic Site Residues* – CSR). Esses resíduos tão peculiares estão inseridos em um nanoambiente muito específico, definido também pela contribuição dos próprios CSR. Conseqüentemente, a função enzimática pode ser descrita pelas características dos CSR e sua vizinhança (Salim, 2015). Com base nessas considerações, e assumindo que o nanoambiente local define a função proteica, esse é um conceito que pode ser utilizado para se obterem métricas específicas para quantificar e descrever outros nanoambientes.

A exploração das propriedades dos nanoambientes pode ser feita por meio de um método que é ao mesmo tempo autoexplicativo e intuitivo. Suponha que seja possível inserir uma sonda imaginária em qualquer lugar de uma estrutura proteica e obter como resultado um diagnóstico descrevendo as características do ambiente em que a sonda está inserida. Não se pode realizar esse tipo de intervenção física, e por isso a sonda necessita ser substituída pelo cálculo de valores, métricas e forças que desejamos quantificar em cada sítio/ponto em particular. Essa abordagem assemelha-se ao método de GRID para cálculo de campos de interação molecular no desenvolvimento de drogas (Goodford, 1985; Von Itzstein et al., 1993), mas com um foco diferente. A sua vantagem é que qualquer resíduo de aminoácido, ou qualquer de seus átomos da cadeia principal ou lateral, pode servir como centro para a sonda, e a partir de um ponto selecionado as interações de todas as forças podem ser estimadas, catalogadas e armazenadas em um banco de dados relacional apropriado – em nosso caso, o STING\_RDB (Oliveira, 2007). Depois de armazenados, os atributos e seus respectivos valores podem ser mapeados de volta para a estrutura proteica, para a sequência proteica ou até para a sequência de nucleotídeos do gene que codifica essa proteína, e podem ser usados para inspeção visual ou para análises estatísticas e/ou numéricas. Nossa hipótese é de que qualquer ambiente específico (o nanoambiente) possui uma afinação precisa dos escritores físico-químicos e estruturais específicos para o desempenho de sua função e, assim, pode ser identificado e classificado adequadamente. Por exemplo, no caso de interfaces para contatos proteicos, pode-se esperar que áreas específicas da proteína, ocupando parte de sua

superfície, possuam características suficientemente diferentes dos resíduos de aminoácidos encontrados em áreas da superfície livre (Moraes et al., 2014). De fato, nós consideramos que tal suposição é parte dos requisitos biológicos para desempenhar uma função específica: nesse exemplo, a função é na verdade uma espécie de “comunicação” entre os parceiros proteicos bastante específicos. Portanto, um nanoambiente é caracterizado com precisão por seus descritores físico-químicos e/ou estruturais e seus correspondentes valores, tornando possível a sua distinção do restante da estrutura proteica e também a predição, com uso de técnicas computacionais e estatísticas de aprendizado de máquina, das coordenadas desses distritos em outras proteínas (homólogos ou não) que ainda não foram caracterizadas química e funcionalmente.

Dentre os vários nanoambientes proteicos mais estudados, destacam-se 10, os quais são listados a seguir.

- i** Interfaces entre as proteínas: trata-se de uma intersecção das superfícies proteicas, onde as duas proteínas se aproximam e se tocam, construindo um homo ou heterocomplexo das macromoléculas (Moraes et al., 2014);
- ii** Interfaces entre anticorpo e antígeno: como no caso i) anterior, porém as duas proteínas em questão são um anticorpo e um antígeno (Viert et al., 2016);
- iii** Pontos “quentes” na superfície proteica (*hot spots*): localidades delimitadas da área superficial da proteína, obrigatoriamente situadas na sua área de interface, e com aminoácidos hidrofóbicos identificados, propensos para interagir com resíduos similares da interface complementar da outra proteína (Pereira, 2012);
- iv** Interfaces entre proteínas e DNA: como no caso i) anterior, aqui as duas moléculas em questão são uma proteína e uma molécula da DNA;
- v** Interfaces entre proteínas e ligantes: como no caso i) anterior, aqui as duas moléculas em questão são uma proteína e um ligante (Borro et al., 2016);
- vi** Interfaces entre proteínas e membranas;
- vii** Resíduos de aminoácidos dos sítios catalíticos: identificar os resíduos de aminoácidos que formam o sítio catalítico das enzimas, determinando a sua função (Salim, 2015);
- viii** Sítios alostéricos: localizados usualmente na superfície proteica; quando ocupados por uma determinada molécula, controlam a velocidade de uma reação química que a proteína executa, usando, por regra, seu conjunto dos CSRs, como parte de sua função;
- ix** Elementos da estrutura secundária: caracterização físico-química e estrutural das  $\alpha$ -hélices (Mazoni et al., 2018), folhas- $\beta$  e dobras;
- x** A profundidade de alcance de sensoriamento local entre aminoácidos: uma medida frequentemente usada para delimitar a distância através da qual os átomos, com suas cargas (e outras características), ainda exercem

certa influência em localidades remotas, porém dentro do limite anteriormente mencionado (Silveira et al., 2009).

Os itens: i) a vi) descrevem as interfaces em geral; vii) e viii) descrevem atividade química das proteínas; e ix) e x) descrevem características estruturais das proteínas em geral.

## 2.1 Lista dos descritores físico-químicos e estruturais que caracterizam os nanoambientes específicos

Atualmente, o Blue Star STING (BSS) (Neshich et al., 2006) apresenta 32 tipos ou classes diferentes e independentes de descritores físico-químicos e estruturais das proteínas (Tabela 1) (Neshich et al., 2005), sendo que um total de 1.307 variações desses descritores estão pré-calculados (utilizando diferentes

**Tabela 1**

Lista das 32 classes de descritores físico-químicos e estruturas do BSS.

Classes de descritores do Blue Star STING	
1. ResBoxes	17. Hot spots
2. Intra-chain atomic contacts [ITC]	18. Sequence conservation [HSSP]
3. The inter-chain atomic contacts [IFC]	19. Sequence conservation [SH <sub>2</sub> Q <sup>+</sup> ]
4. ITC contacts energy	20. Solvent accessibility
5. IFC contacts energy	21. Dihedral angles
6. Interface area [IF]	22. Pockets/cavities
7. Water contacting [WC]	23. Electrostatic potential
8. Ligand pocket forming [LP]	24. Hydrophobicity
9. Surface forming [SF] residues	25. Curvature
10. Prosite	26. Distance from the N-/C-terminal
11. ProTherm	27. Density
12. Secondary structure indicator [PDB]	28. Sponge
13. Secondary structure indicator [DSSP]	29. Order of cross presence
14. Secondary structure [STRIDE]	30. Order of cross link
15. Multiple occupancy	31. Rotamers
16. Temperature factor	32. Space clash



parametrizações) e armazenados no banco de dados STING\_RDB (Oliveira, 2007). Em 18 de maio de 2020, o STING\_RDB apresentava 151.711 estruturas, com 467.038 cadeias e 95.148.233 resíduos de aminoácidos: para cada um deles foram pré-calculados os 1.307 parâmetros, totalizando  $12 \times 10^9$  registros no banco de dados. Dentre estes, foram escolhidos alguns para utilização na caracterização dos nanoambientes e na composição do seu dicionário, considerando apenas aqueles que apresentam maiores probabilidades de estarem associados com os processos de reconhecimento de padrões nas proteínas selecionadas. Procurando uma definição adequada do nanoambiente dos resíduos catalíticos e que geralmente seja válida também para os outros nanoambientes anteriormente mencionados, baseada nos descritores físico-químicos e estruturais, num primeiro momento descartaram-se descritores referentes à conservação dos aminoácidos, uma vez que esses parâmetros são uma medida de um conjunto de proteínas homólogas e não refletem qualquer característica presente na estrutura proteica (Salim, 2015).

## 3 Contribuições

### 3.1 Qual é o significado do conhecimento sobre os nanoambientes proteicos

A estrutura da proteína define a sua funcionalidade. Porém, de que forma isso é feito e quais características das estruturas contribuem crucialmente para a sua função é algo que ainda precisa ser totalmente decifrado. Para responder a essa pergunta, é necessário considerar, preferencialmente, os elementos estruturais (também denominados distritos proteicos ou nanoambientes), em vez de considerar a estrutura como um todo. Esses elementos, por sua vez, devem ser compreendidos com base nas características físico-químicas e estruturais geradas pelas propriedades dos resíduos de aminoácidos, interagindo entre si e criando, efetivamente, um novo elemento estrutural hierárquico. Somente pela consideração desses elementos na hierarquia estrutural é que podemos entender que a funcionalidade das proteínas pode ser deconvoluída em elementos de comunicação, tais como as interfaces em geral, elementos construtivos ou estrutura secundária, e elementos de atividade química. Esses últimos normalmente dão origem à funcionalidade e à especificidade da proteína como um todo. Seguindo esse raciocínio, cada elemento na hierarquia estrutural tem sua característica local distintiva e, por consequência, sua função local. Fica claro que o conhecimento geral e detalhado sobre os nanoambientes proteicos constitui, literalmente, um dicionário com o qual podemos construir complexas expressões que descrevem a relação estrutura-função das proteínas.

### 3.2 Um dicionário dos descritores dos nanoambientes terá impacto na variedade de pesquisas que visam a inovação em áreas como agricultura, medicina e biologia em geral

Uma compilação dos resultados dos trabalhos feitos desde 1998 – quando a plataforma STING foi lançada nos EUA, como parte integral das ofertas das plataformas para análise estrutural das proteínas no então Laboratório Nacional de Brookhaven, a sede de Banco de Dados das Estruturas Proteicas (PDB) – resultou em um site chamado: “Dictionary of Internal Protein Nanoenvironments” (DIPN)<sup>1</sup>.

Nas Figuras 1-3 é possível ver a interface geral dessa nova oferta do GPBC da Embrapa Informática Agropecuária. Trata-se de uma página introdutória, com a descrição geral do objetivo dessa plataforma e dos elementos detalhados, listados em uma ordem funcional.

A Figura 1 apresenta a página de entrada da plataforma Dictionary of Internal Protein Nanoenvironments (DIPN), indicando o intuito desse produto, as opções para acesso, a logística de organização do site e a lista dos dez nanoambientes proteicos mais estudados.

Na Figura 2 temos uma página da plataforma Dictionary of Internal Protein Nanoenvironments (DIPN) mostrando seis dos dez nanoambientes disponíveis, com uma curta descrição e acesso para detalhes da entrada de cada uma das opções: i) interfaces proteína-DNA, ii) interfaces proteína-membrana, iii) elementos de estrutura secundária.

A Figura 3 apresenta uma página da plataforma Dictionary of Internal Protein Nanoenvironments (DIPN) mostrando mais três dos dez nanoambientes disponíveis, com uma curta descrição e acesso para detalhes da entrada

**Figura 1**  
Página de entrada da plataforma Dictionary of Internal Protein Nanoenvironments (DIPN).

Fonte: Embrapa, 2020.

**Dictionary of Internal Protein Nanoenvironments**

We are committed to sharing the knowledge we acquired, databases and algorithms we developed, to support reproducing our work and to support efficiency in science.

**The concept of internal protein nanoenvironment**

The lab's research is driven by a conviction that internal protein structural districts/neighborhoods, or, as we named them, Internal Protein Nanoenvironments (IPN), contain a significant core of information about their ultimate function. Such information content, fully describing corresponding nanoenvironments, is selectable in form of an ensemble of specific descriptors and corresponding values. The ensemble of physical-chemical and structural parameters is peculiarly less sensitive to localized variation of sequence encoding for that structure, causing limited structural promiscuity regarding underlying protein sequences, explaining why sequences may vary to a limited extent while resulting function remains unchanged.

In conclusion: What we found is that for each nanoenvironment there is a specific ensemble of descriptors, making possible their cataloguing into a dictionary of IPNs.

Also, the lab is continually employing leading initiatives to encourage and facilitate the use of "big data" in large-scale research across the scientific and technological disciplines.

**Ten most studied internal protein nanoenvironments**

1. Protein-Protein Interfaces (PPI)
2. Hot spots (HS)
3. Antibody-antigen interfaces (AA)
4. Protein-Ligand interfaces (PL)
5. Protein-DNA interfaces (PD)
6. Protein-Lipid membrane interfaces (PLM)
7. Secondary structure elements (SSE)
8. Catalytic site residues (CSR)
9. Allosteric sites (AS)
10. Max distance reach for detection of AA Residue presence

Share [+](#) [f](#) [t](#) [in](#)

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.proteinnanoenvironments.cnptia.embrapa.br/index.html>.



**Figura 2**  
Página da plataforma Dictionary of Internal Protein Nanoenvironments (DIPN).

Fonte: Embrapa, 2020.

**Figura 3**  
Página da plataforma Dictionary of Internal Protein Nanoenvironments (DIPN).

Fonte: Embrapa, 2020.

de cada uma das opções: i) resíduos do sítio catalítico, ii) sítios alostéricos, e iii) profundidade de alcance de sensoriamento local entre aminoácidos.

Na Figura 4, o usuário pode ver os detalhes de apresentação de um dos nanoambientes: interfaces proteicas. O intuito do DIPN é oferecer ao usuário as informações que indicam quais são os descritores mais relevantes que, com a especificidade e a cobertura ampla, descrevem o nanoambiente selecionado para análise. Na parte inferior da Figura 4 pode ser vista uma tabela com os dez descritores das interfaces proteicas mais relevantes. São estes: 1) pontes de

**Figura 4**

Página da plataforma Dictionary of Internal Protein Nanoenvironments (DIPN) ilustrando as opções do usuário.

Fonte: Embrapa, 2020.

**Protein-Protein Interfaces**

Feedback

	Most Relevant Nanoenvironment Descriptors (mRnD): general class	mRn Descriptors: sub class
1	Hydrogen bond	main chain main chain
2	Sponge	Sliding window
3	Density of Contacts	Last Heavy Atom (LHA)
4	Electrostatic Potential	at the surface
5	Hydrophobicity	Relative
6	Pockets	Cavity
7	Density	at interface
8	Secondary Structure element	alpha helix
9	Curvature	Carbon alpha
10	Order of Cross Link	Last Heavy Atom

Above listed mRn Descriptors are obtained using Classification Method:  
SVN (RFD)

Precision: 0.95  
Coverage: 0.78

PhD Theses on Protein Protein Interfaces and corresponding nanoenvironment  
[Morales, Fábio Rogério de, 2012](#)

Characteristics of protein interface nano-environment revealed  
[View PhD Thesis](#)

hidrogênio do tipo cadeia principal para cadeia principal; 2) esponjicidade (no modo de uma janela deslizante); 3) densidade dos contatos entre aminoácidos (centrados no último átomo pesado da cadeia lateral dos aminoácidos); 4) potencial eletrostático na superfície proteica; 5) hidrofobicidade (na escala relativa); 6) bolsos estruturais (do tipo cavidade); 7) densidade atômica na superfície; 8) elemento da estrutura secundária presente ( $\alpha$ -hélice); 9) curvatura a partir do carbono- $\alpha$ ; e 10) a ordem de ligação cruzada (a partir de último átomo mais pesado da cadeia lateral). Esses descritores podem ser entendidos como requerimentos principais que exigem sua inclusão para que um conjunto dos aminoácidos, não necessariamente contíguos na sequência primária, construam um conjunto que poderá ser considerado apto para compor uma interface com outra proteína. Em seguida, a plataforma informa qual o método de classificação estatística foi usado para obter esse ranqueamento da importância dos descritores (neste caso: *Support Vector Machine* e *Random Forest*), e ainda informa com qual precisão e cobertura as conclusões foram atingidas. Neste caso, 0,95 e 0,78, respectivamente. Nessa mesma página, encontra-se uma variedade de informações adicionais, tais como links para a tese de doutorado que gerou os resultados, a publicação que descreve o trabalho pertinente ao assunto em pauta (na Figura 5 estamos ilustrando o *abstract* dessa publicação), e ainda um link para que o usuário possa acessar o software, se ele desejar gerar novos dados para um conjunto de proteínas de interesse biológico.

Na Figura 4, temos a página da plataforma Dictionary of Internal Protein Nanoenvironments (DIPN) ilustrando as opções que o usuário tem, uma vez selecionando o item: interfaces proteicas. Na parte superior dessa figura tem-se a indicação das publicações pertinentes ao assunto em pauta e lista dos softwares. Logo em seguida pode ser visto um abstract da publicação

**Protein-Protein Interfaces**

**Publications and Software**

**Primary Publication and Software access**  
 Fábio R. de Moraes, Izabella A. P. Neshich, Ivan Mazoni, Inácio H. Yano, José G. C. Pereira, José A. Salim, José G. Jardine, Goran Neshich

Improving Predictions of Protein-Protein Interfaces by Combining Amino Acid-Specific Classifiers Based on Structural and Physicochemical Descriptors with Their Weighted Neighbor Averages;

PLoS One. 2014 Jan 28;9(1):e87107.  
 doi: 10.1371/journal.pone.0087107.  
 eCollection 2014.

[View Abstract](#) [View Software](#)

**Abstract**

Protein-protein interactions are involved in nearly all regulatory processes in the cell and are considered one of the most important issues in molecular biology and pharmaceutical sciences but are still not fully understood. Structural and computational biology contributed greatly to the elucidation of the mechanism of protein interactions. In this paper, we present a collection of the physicochemical and structural characteristics that distinguish interface-forming residues (IFR) from free surface residues (FSR). We formulated a linear discriminative analysis (LDA) classifier to assess whether chosen descriptors from the BlueStar STING database (<http://www.cbi.cnpq.br/embrapa.br/SMS/>) are suitable for such a task. Receiver operating characteristic (ROC) analysis indicates that the particular physicochemical and structural descriptors used for building the linear classifier perform much better than a random classifier and in fact, successfully outperform some of the previously published procedures, whose performance indicators were recently compared by other research groups. The results presented here show that the selected set of descriptors can be utilized to predict IFRs, even when homologue proteins are missing (particularly important for orphan proteins whose no homologue is available for comparative analysis indicators) or, when certain conformational changes accompany interface formation. The development of amino acid type specific classifiers is shown to increase IFR classification performance. Also, we found that the addition of an amino acid conservation attribute did not improve the classification prediction. This result indicates that the increase in predictive power associated with amino acid conservation is exhausted by adequate use of an extensive list of independent physicochemical and structural parameters that, by themselves, fully describe the nano-environment at protein-protein interfaces. The IFR classifier developed in this study is now integrated into the BlueStar STING suite of programs. Consequently, the prediction of protein-protein interfaces for all proteins available in the PDB is possible through STING interfaces module, accessible at the following website: (<http://www.cbi.cnpq.br/embrapa.br/SMS-predictions/index.html>).

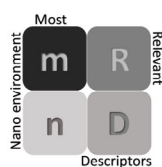
See complete publication @:  
 10.1371/journal.pone.0087107

---

**PhD Thesis on Protein Protein Interfaces and corresponding nanoenvironment**  
 Moraes, Fábio Rogério de, 2012

Characteristics of protein interface nano-environment revealed

[View Software](#)



**Figura 5** Página da plataforma Dictionary of Internal Protein Nanoenvironments (DIPN), com a opção que oferece ao usuário uma rápida consulta ao abstract da principal publicação, divulgada em revista renomada na área de biologia computacional, sobre o nanoambiente em pauta.

Fonte: Embrapa, 2020.

principal descrevendo nosso trabalho com nanoambiente das interfaces proteicas, com correspondente pointer para a publicação original. Do lado direito superior, existe um ícone com título: mRnD, ou seja, Descritores mais relevantes do nanoambiente. Passando com mouse por cima desse ícone, abre-se uma janela com informação indicada no título do ícone.

Na Figura 6 apresentamos os itens disponíveis para acesso à página do software que pode ajudar o usuário na elaboração de uma lista de descritores para um conjunto de proteínas do interesse dele. Na Figura 7 temos as duas opções principais para elaboração dos dados para interfaces proteicas: metodologia LDA (modelos lineares para inferência da lista dos mais relevantes descritores das interfaces proteicas) e opção SHI, uma metodologia alternativa que determina o índice de hidrofobicidade na superfície proteica, um indicador preciso das interfaces. O usuário pode encontrar um tutorial para se informar sobre detalhes de uso do software, descrição dos *datamarts* para definição dos *benchmarks* e descrição dos complexos usados no treinamento do método, usando tanto homo como heterocomplexos proteicos. Nas Figuras 1-7 mostramos apenas as entradas mais cruciais da plataforma DIPN.

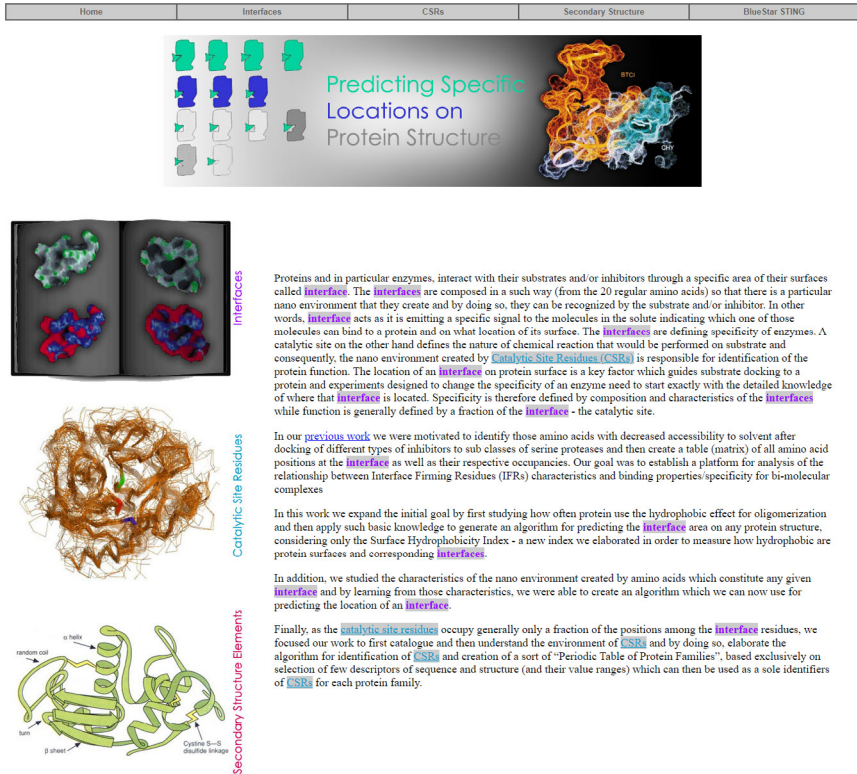
A plataforma é complexa e exige os conhecimentos de um biólogo computacional treinado para que seja possível tratar os dados para um conjunto



**Figura 6**

Página da plataforma Dictionary of Internal Protein Nanoenvironments (DIPN), com o acesso aos softwares que elaboram o ranqueamento de descritores para nanoambientes das interfaces proteicas, resíduos catalíticos e elementos da estrutura secundária nas proteínas mais relevantes.

Fonte: Tela captada da plataforma DIPN.<sup>2</sup>




de proteínas selecionadas. Entretanto, especialistas da área de biologia molecular interessados em saber quais são os descritores mais relevantes para cada nanoambiente listado na plataforma DIPN podem fazê-lo em um tempo razoável, com um treinamento mínimo, e saber quais características desses nanoambientes são cruciais. Assim, tem-se os candidatos que não poderão ser objetos de quaisquer modificações, por exemplo nas tentativas que exigem mutações sítio-dirigidas nas proteínas de interesse. As opções para uso dos algoritmos ou até para acesso ao código-fonte são providas com o intuito de oferecer um ambiente completo de trabalho, inclusive para aqueles biólogos computacionais que desejam adaptar os algoritmos aos seus próprios requerimentos, permitindo assim o compartilhamento dos trabalhos já realizados por parte da Embrapa, os quais poderão ser modificados por colegas em outros laboratórios para fins específicos.

<sup>2</sup> Disponível em: <https://www.proteinnanoenvironments.cnptia.embrapa.br/index.html>.



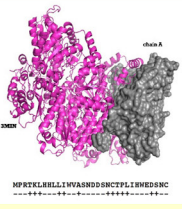
Home
Interfaces
CSRs
Secondary Structure
BlueStar STING



**Predicting Specific Locations on Protein Structure**


**LDA STING\_Interfaces**

[Linear Model for Protein - Protein Interface Prediction - Methodology Description](#)



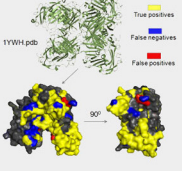
NPRTVLELLIIVANNDSNCTFLIHWSSMC  
\*\*\*\*\*+\*\*\*\*\*+\*\*\*\*\*+\*\*\*\*\*

- [Predict Protein Interface location by using specific protein structure and LDA\\_sting algorithm \(PUBLIC PDB files\)](#)
- [Predict Protein Interface location by using specific protein structure and LDA\\_sting algorithm \(modelled and non-public PDB format files\)](#)

<a href="#">Tutorial</a>	Datasets: <a href="#">DS30</a>	<a href="#">DS10</a>	<a href="#">DS100</a>	
<a href="#">Partial Source Code</a>	<a href="#">Hetero Complexes</a>	<a href="#">Homo Complexes</a>		

**USI-PEPI STING\_Interfaces**

[USI-PEPI: a Systematic Neural Network-based Methodology for Predicting Protein-Protein Interfaces using STING Database descriptors](#)



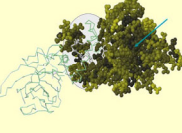
TYWVI job

True positives  
False negatives  
False positives

- [Predict Interface location by using specific protein structure and USI-PEPI algorithm](#)
- [Supplementary material](#)

**SHI STING\_Interfaces**

[Surface Hydrophobicity Index \(SHI\): insights into the relationship between hydrophobic effect and oligomerization](#)



- [Predict Interface location by using specific protein structure and SHI algorithm](#)
- [Supplementary material](#)

**Figura 7** Página da plataforma Dictionary of Internal Protein Nanoenvironments (DIPN), com as opções para o usuário que deseja elaborar o ranqueamento dos descritores mais relevantes para as interfaces proteicas usando um conjunto das proteínas de interesse para problema biológico que exige seu engajamento.

## 4 Considerações finais

De posse de um dicionário dos descritores dos principais nanoambientes proteicos, constrói-se uma realidade que orienta os pesquisadores e que possibilita o avanço nas áreas que objetivam intensificar a inovação para a agricultura, a medicina e a biologia em geral. Compreende-se que uma compilação dos descritores essenciais dos 10 nanoambientes proteicos mais estudados daria condição otimizada para o desenho mais apurado, eficaz e efetivo de novos fármacos, defensivos agrícolas, vacinas, inibidores, catalisadores e anticorpos. Podemos aqui, a título de exemplo da aplicabilidade do conteúdo apresentado neste capítulo, mencionar algumas das tecnologias, das quais o GPBC da Embrapa Informática Agropecuária conseguiu depositar o pedido

de quatro patentes ao longo dos anos, concentrando-se principalmente no entendimento, na aprendizagem e na análise dos nanoambientes proteicos, que foram cruciais para a solução de algumas demandas biologicamente relevantes e focadas em um caminho para os impactos necessários no campo para o produtor que precisa usar a tecnologia para evitar perdas e aperfeiçoar sua efetividade. São elas:

- 1) Fungicida: método para o desenho de um novo fungicida por um método para desenhar computacionalmente novos compostos com potencial função inibitória da enzima endopoligalacturonase, envolvida em processos de invasão em células vegetais. (Neshich et al., 2013a)
- 2) Biodiesel: método para previsão de mutantes que aumentem o índice de hidrofobicidade da superfície das proteínas. (Neshich et al., 2013b).
- 3) Inseticida: desenho computacional para novos inibidores de alfa-amilases. (Neshich et al., 2013c)
- 4) Bactericida: identificação de alvos terapêuticos para desenho computacional de drogas contra bactérias dotadas da proteína pilt. (Neshich et al., 2012)

Essas 4 tecnologias refletem sobre a forte interdependência entre as demandas da agricultura moderna e o conhecimento, que pede uma abordagem inovadora, interdisciplinar e, principalmente, molecular, interligada com a matemática, a computação e a estatística, para que se possa fazer um avanço nas cada vez mais complexas necessidades do setor produtivo. O exemplo do GPBC da Embrapa Informática Agropecuária é uma manifestação das possibilidades nacionais para o potencial de desenvolvimento tecnológico no nível mais alto e competitivo. As pesquisas desenvolvidas pelo GPBC da Embrapa Informática Agropecuária chamaram atenção de colaboradores e colegas internacionais das universidades mais renomadas, tais como Oxford, Cambridge, MIT, seguidas pelas companhias de maior impacto digital, tais como Microsoft Research, e companhias do ramo de defensivos agrícolas, tais como Bayer e BASF: uma meia centena de publicações nas revistas científicas com um fator de impacto médio orbitando em volta de valor 3, sendo vários com fator de impacto acima de 11; centenas de palestras e seminários, cursos e workshops internacionais, congressos de mais alto nível organizados aqui no território nacional, com participação inclusive dos vários cientistas com prêmio Nobel; uma meia centena de pacotes de software publicados e disponibilizados para uso da comunidade científica mundial; uma dúzia de bancos de dados relevantes para área de biologia estrutural computacional, incluindo o STING\_RDB; 26 projetos aprovados (90%) por fontes externas da Embrapa, com financiamentos beirando 4 milhões de dólares e com total dos entregáveis aproximando-se de 500. Toda essa biblioteca de resultados

e prêmios profissionais foi uma condição *sine qua non* para que possamos, no final, transformar nosso conhecimento adquirido em algo que podemos oferecer para a cadeia produtiva, que agora tem a opção de desenvolver essas soluções em produtos para os mercados nacional e internacional. Portanto, a plataforma chamada “Dicionário dos Nanoambientes Internos das Proteínas” é um produto que desenvolvemos sempre pensando nas aplicações que podem ser geradas a partir do nosso conhecimento, mas tendo paciência e determinação de permanecer no caminho que exige tempo e que requer aprendizagem usando a ciência básica, porque as aplicações científicas não existem sem a ciência para ser aplicada.

## 5 Referências

- BORRO, L.; YANO, I. H.; MAZONI, I.; NESHICH, G. Binding affinity prediction using a nonparametric regression model based on physicochemical and structural descriptors of the nano-environment for protein-ligand interactions. In: STRUCTURAL BIOINFORMATICS AND COMPUTATIONAL BIOPHYSICS, 2016, Orlando. **Proceedings...** Orlando: [s.n.], 2016. p. 116-117.
- EMBRAPA. Computational Biology Research Group. **Dictionary of Internal Protein NanoEnvironments**. Disponível em: <https://www.proteinnanoenvironments.cnpia.embrapa.br/index.html>. Acesso em: 18 maio 2020.
- GOODFORD, P. J. A computational procedure for determining energetically favorable binding sites on biologically important macromolecules. **Journal of Medicinal Chemistry**, v. 28, n. 7, p. 849-857, July 1985. DOI: [10.1021/jm00145a002](https://doi.org/10.1021/jm00145a002).
- MAZONI, I.; BORRO, L. C.; JARDINE, J. G.; YANO, I. H.; SALIM, J. A.; NESHICH, G. Study of specific nanoenvironments containing  $\alpha$ -helices in all- $\alpha$  and  $(\alpha + \beta)$  +  $(\alpha/\beta)$  proteins. **PLOS One**, v. 13, n. 7, p. 1-25, 2018. Artigo e0200018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200018>.
- MORAES, F. R. de; NESHICH, I. A. P.; MAZONI, I.; YANO, I. H.; PEREIRA, J. G. C.; SALIM, J. A.; JARDINE, J. G.; NESHICH, G. Improving predictions of protein-protein interfaces by combining amino acid-specific classifiers based on structural and physicochemical descriptors with their weighted neighbor averages. **PLOS ONE**, v. 9, n. 1, p. 1-15, 2014. DOI: [10.1371/journal.pone.0087107](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087107).
- NESHICH, G.; JARDINE, J. G.; NESHICH, I. A.; SALIM, J. A.; MAZONI, I. (2013). EUA Patente Nº WO2013/110147A1, 2013c.
- NESHICH, G. E. A.; BORRO, L. C.; HIGA, R. H.; KUSER, P. R.; YAMAGISHI, M. E.; FRANCO, E. H.; KRAUCHENCO, J. N.; FILETO, R.; RIBEIRO, A. A.; BEZERRA, G. B.; VELLUDO, T. M.; JIMENEZ, T. S.; FURUKAWA, N.; TESHIMA, H.; KITAJIMA, K.; BAVA, A.; SARAI, A. TOGAWA, R. C.; MANCINI, A. L. The diamond STING server. **Nucleic Acids Research**, v. 33, n. 2, p. W29-W35, July 2005. Supplement. DOI: [10.1093/nar/gki397](https://doi.org/10.1093/nar/gki397).
- NESHICH, G.; MAZONI, I.; OLIVEIRA, S. R. M.; YAMAGISHI, M. E. B.; KUSER-FALCÃO, P. R.; BORRO, L. C.; MORITA, D. U.; SOUZA, K. R. R.; ALMEIDA, G. V.; RODRIGUES, D. N.; JARDINE, J. G.; TOGAWA, R. C.; MANCINI, A. L.; HIGA, R. H.; CRUZ, S. A. B.; VIEIRA, F. D.; SANTOS, E. H.; MELO, R. C.; SANTORO, M. M. The Star STING server: a multiplatform environment for protein structure analysis **Genetics and Molecular Research**, v. 5, n. 4, p. 717-722, 2006.

DPIN: um dicionário dos nanoambientes internos das proteínas e seu potencial para transformação em ativos para a agricultura

NESHICH, G. E. A.; NESHICH, I. A. P.; MORAES, F.; SALIM, J. A.; BORRO, L.; YANO, I. H.; MAZONI, I.; JARDINE, J. G.; ROCCHIA, W. Using structural and physical-chemical parameters to identify, classify, and predict functional districts in proteins – the role of electrostatic potential. In: ROCCHIA, W.; SPAGNUOLO, M. (ed.). **Computational electrostatics for biological applications: geometric and numerical approaches to the description of electrostatic interaction between macromolecules**. Cham: Springer, 2015. p. 227-254. DOI: [10.1007/978-3-319-12211-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-12211-3_12).

NESHICH, G.; JARDINE, J. G.; NESHICH, I. A.; SALIM, J. A.; MAZONI, I. EUA Patente Nº WO2012/031343A2, 2012.

NESHICH, G.; JARDINE, J. G.; NESHICH, I. A.; SALIM, J. A.; MAZONI, I. EUA Patente Nº WO2013097012A1, 2013a.

NESHICH, G.; JARDINE, J. G.; NESHICH, I. A.; SALIM, J. A.; MAZONI, I. EUA Patente Nº WO2013/016794A1, 2013b.

OLIVEIRA, S. R. de M.; ALMEIDA, G. V.; SOUZA, K. R. R.; RODRIGUES, D. N.; KUSER-FALCÃO, P. R.; YAMAGISHI, M. E. B.; SANTOS, E. H. dos; VIEIRA, F. D.; JARDINE, J. G.; NESHICH, G. Sting\_RDB: a relational database of structural parameters for protein analysis with support for data warehousing and data mining. **Genetics and Molecular Research**, v. 6, n. 4, p. 911-922, 2007.

PEREIRA, J. G. D. C. **Caracterização dos aminoácidos da interface proteína-proteína com maior contribuição na energia de ligação e sua predição a partir dos dados estruturais**. 2012. 106 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SALIM, J. A. **Aplicação de técnicas de reconhecimento de padrões usando os descritores estruturais de proteínas da base de dados do software STING para discriminação do sítio catalítico de enzimas**. 2015. 214 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SILVEIRA, C. H. da; PIRES, D. E. V.; MINARDI, R.; RIBEIRO, C.; VELOSO, C. J. M.; LOPES, J. C. D.; MEIRA JÚNIOR, W.; NESHICH, G.; RAMOS, C. H. I.; HABESCH, R.; SANTORO, M. M. Protein cutoff scanning: a comparative analysis of cutoff dependent and cutoff free methods for prospecting contacts in proteins. **Proteins: structure, function, and bioinformatics**, v. 74, n. 3, p. 727-743, Feb 2009. DOI: [10.1002/prot.22187](https://doi.org/10.1002/prot.22187).

VIART, B.; DIAS-LOPES, C.; KOZLOVA, E.; OLIVEIRA, C. F. B.; NGUYEN, C.; NESHICH, G.; CHÁVEZ-OLÓRTEGUI, C.; MOLINA, F.; FELICORI, L. F. EPI-peptide designer: a tool for designing peptide ligand libraries based on epitope–paratope interactions. **Bioinformatics**, v. 32, n. 10, p. 1462-1470, May 2016. DOI: [10.1093/bioinformatics/btw014](https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btw014).

VILLANUEVA, J. C. How many atoms are there in the Universe. **Universe Today**, July 30, 2009. Disponível em: <https://www.universetoday.com/36302/atoms-in-the-universe/>. Acesso em: 18 maio 2020.

VON ITZSTEIN, M.; WU, W.-Y.; KOK, G. B.; PEGG, M. S.; DYASON, J. C.; JIN, B.; VAN PHAN, T.; SMYTHE, M. L.; WHITE, H. F.; OLIVER, S. W.; COLMAN, P. M.; VARGHESE, J. N.; RYAN, D. M.; WOODS, J. M.; BETHELL, R. C.; HOTHAM, V. J.; CAMERON, J. M.; PENN, C. R. Rational design of potent sialidase-based inhibitors of influenza virus replication. **Nature**, v. 363, p. 418-423, 1993. DOI: [10.1038/363418a0](https://doi.org/10.1038/363418a0).





# 10 Aplicações da bioinformática na agricultura

Adhemar Zerlotini Neto  
Antonio Nhani Jr.  
Fábio Danilo Vieira  
Leandro Carrijo Cintra  
Maurício de Alvarenga Mudadu  
Paula Regina Kuser Falcão  
Poliana Fernanda Giachetto

## 1 Introdução

A biotecnologia tem sido fundamental para o avanço observado na Agropecuária nos últimos 30 anos. A bioinformática, área multidisciplinar responsável pela análise do grande volume de dados resultantes das tecnologias genômicas, foi imprescindível nesse avanço. Com o advento das chamadas tecnologias de sequenciamento de nova geração, passou a ser produzido um volume extraordinariamente grande de dados genômicos que precisavam ser analisados. Na era da transformação digital, a capacidade de geração de dados biológicos cada vez mais rápida, com valores mais acessíveis e em maior volume produz uma vasta quantidade de dados, o *Big Data*. Esse grande e crescente volume de dados exige soluções em pelo menos três âmbitos: infraestrutura escalável, gerenciamento dos dados e uso inteligente desses dados.

A bioinformática utiliza ferramentas computacionais para responder a perguntas biológicas complexas e contribuir com resultados inovadores. O tema envolve o uso de uma infraestrutura de computação de alto desempenho e ferramentas para organizar, analisar, integrar, processar, simular e armazenar grandes volumes de dados derivados de experimentos *in vivo* e *in vitro*. Um desafio da bioinformática é integrar os dados heterogêneos gerados



pelas ciências “ômicas” (tanto entre si como com os dados gerados pelas ciências “tradicionais”), permitindo descobertas que vão além das possíveis em cada uma das disciplinas individualmente. Várias novas camadas de “ômicas”, como análises de genomas, metabolomas, transcriptomas, interactomas, tornaram-se importantes para os avanços das pesquisas. A integração de toda essa informação permite fazer descobertas e melhorar o conhecimento dos sistemas biológicos.

Acesso a alta capacidade de armazenamento e processamento, com poderosos algoritmos de indexação, assim como aplicações com aprendizado de máquina, é indispensável para a execução de atividades de bioinformática. Mais importante, uma equipe capacitada e em constante atualização para auxiliar no planejamento dos processos de geração dos dados, na análise de dados e na extração/obtenção de novos conhecimentos a partir do *Big Data* é o que vai propiciar à Embrapa ser um ator relevante nessa área do conhecimento.

Nesse contexto, em 2011, foi criado o Laboratório Multiusuário de Bioinformática (LMB) da Embrapa, com o propósito de dar suporte em bioinformática aos projetos de PD&I alinhados com os objetivos estratégicos da Embrapa. Desde sua criação, o LMB já atendeu uma ampla carteira de projetos, dentro de três diretrizes de atuação:

- **Acesso ao parque computacional** com infraestrutura de alto desempenho;
- **Consultoria na análise de dados biológicos** que requerem computação de alto desempenho, seja pelo volume de dados, seja pela complexidade das análises;
- **Treinamentos** visando multiplicar competências através de cursos e outras ações de capacitação.

O LMB tem atuado em projetos de pesquisa da Embrapa e de instituições parceiras, envolvendo mais de 20 culturas e criações estudadas em mais de 50 projetos de pesquisa. Uma peculiaridade importante é que, em bioinformática, cada projeto é único, e a equipe do LMB trabalha para atender essas demandas. Sua atuação em bioinformática baseia-se nas áreas de: análise da expressão gênica, montagem e análise de genomas, identificação de marcadores moleculares, análise de transcriptomas e metagenomas, estudos de evolução, modelagem de sistemas biológicos, predição de estruturas proteicas e interação molecular, interação ou inibição de moléculas, entre outras atividades.

### **1.1 Infraestrutura computacional do LMB para suporte a projetos de bioinformática aplicada à agropecuária**

Os projetos em bioinformática exigem uma infraestrutura computacional diferenciada, sendo muito difícil ou mesmo impossível a execução da maioria deles apenas com o uso de equipamentos computacionais comuns. Pode-se

compreender o motivo de tais requisitos quando se considera a complexidade computacional dos algoritmos executados e o volume de dados biológicos analisados.

O objetivo desta sessão é apresentar a infraestrutura computacional utilizada para o armazenamento e o processamento do grande volume de dados produzidos pelos projetos de pesquisa em biotecnologia da Embrapa e de suas instituições parceiras. Essa infraestrutura está focada na disponibilização de capacidade de processamento e memória e de armazenamento de grandes volumes de dados.

Para fazer frente aos diversos algoritmos com alta complexidade computacional presentes na bioinformática, é padrão a utilização de *clusters* computacionais para o processamento de dados. Para aqueles que estão menos familiarizados com a área de computação de alto desempenho, um *cluster* é formado por um conjunto de computadores ligados em rede com um nó de coordenação central, sendo utilizados juntos na solução dos problemas computacionais. A principal vantagem de um *cluster* é proporcionar o poder de computação de dezenas, centenas e, em alguns casos extremos, milhares de nós de processamento de uma forma transparente para o usuário, ou seja, sem que ele necessite interagir e disparar análises de dados em cada uma das máquinas individualmente. As tarefas (*jobs*) a serem executadas no sistema são disparadas a partir de um nó de gerenciamento, permanecendo em uma ou mais filas de execução e sendo automaticamente enviadas para um nó de processamento adequado, quando possível.

Com o advento da computação em multicores, cada nó de processamento nos *clusters* modernos tem algumas dezenas de núcleos; em algumas situações excepcionais, cada nó pode chegar a centenas de núcleos de processamento. Surge, então, uma questão muito importante para o processamento em bioinformática: quanto de memória deverá ter cada nó de processamento? Para a resposta, deve-se considerar que a quantidade de memória é diretamente proporcional ao número de núcleos no nó de processamento; além disso, deve-se considerar que essa proporção tem aumentado com o desenvolvimento de novas técnicas de investigação biológicas, que geram quantidades de dados cada vez mais significativas. Sendo assim, até há pouco tempo, o recomendado era que houvesse em cada nó de processamento 8 Gb de memória RAM para cada núcleo disponível. Com o significativo aumento no volume de geração dos dados biológicos, essa quantidade sofreu uma atualização, e as novas plataformas de processamento destinadas a atividades de bioinformática estão sendo desenvolvidas com 16 Gb de memória RAM para cada núcleo disponível no nó.

Outra questão relevante nas plataformas de processamento de dados biológicos está relacionada com o armazenamento e a preservação dos dados. Basicamente, o gargalo mais significativo a ser superado aqui diz respeito à quantidade de dados a ser armazenada. A velocidade de acesso a esses dados

não impacta significativamente no desempenho das plataformas, pois, no geral, as ferramentas e os programas executados para a realização das análises irão carregar os dados para a memória e executar os procedimentos por um tempo significativo. Um atraso na carga inicial não modifica demasiadamente o tempo total de execução da tarefa. No entanto, uma restrição na capacidade de armazenamento do ambiente computacional terá uma ampla gama de ocorrências negativas. Não se pode trabalhar com diversos projetos ao mesmo tempo, pois comumente eles demandam algumas centenas de gigabytes, podendo, para alguns projetos excepcionais, chegar a algumas dezenas de terabytes para o armazenamento dos dados brutos. Durante as análises, é necessário armazenar dados intermediários, que podem ser de até uma ordem de grandeza dos dados originais. Sendo assim, atualmente as plataformas para processamento de dados biológicos utilizam corriqueiramente sistemas de armazenamento com capacidade de alguns petabytes.

O ambiente de processamento disponível hoje possui um *cluster* com um nó de controle (*head node*) e 14 (quatorze) nós de processamento. Destes, 13 (treze) têm 64 núcleos e 512 Gb de memória RAM cada um. Há também um nó especial, utilizado para a execução de tarefas que exigem grande quantidade de memória. Esse nó possui 2 Tb de memória RAM e 160 núcleos para processamento. No total, o *cluster* disponibiliza 992 núcleos. Para o gerenciamento das tarefas no *cluster*, utiliza-se um sistema gestor de filas, desenvolvido inicialmente pela *Sun Microsystems*, conhecido como *SGE – Sun Grid Engine*. Especificamente para a bioinformática, uma plataforma computacional em *cluster* é bastante útil, pois, em geral, os problemas da área envolvem múltiplos conjuntos de dados (*datasets*) processados em *pipelines* constituídos por múltiplos estágios, sendo fácil a paralelização do processamento em máquinas separadas no ambiente. Problemas com tais características são ideais para a execução em *clusters*.

Para o armazenamento de dados, estão disponíveis: um *storage SGI Infinite* com capacidade para 150 Tb em uma configuração com RAID 6; e um *storage IBM DS3412* com capacidade para armazenar 51 Tb em uma configuração com RAID 5. Além do armazenamento principal, é vital que haja uma política de backup que garanta a segurança dos dados na plataforma. Em virtude do volume de informações recebido e gerado constantemente, a metodologia com o melhor custo-benefício para o backup envolve o uso de fitas LTO. Atualmente, há no ambiente uma biblioteca de fitas com capacidade para 44 unidades LTO6. Como cada fita LTO6 propicia, em média, o armazenamento de 6,25 Tb de dados, a biblioteca tem a capacidade de tratar até 275 Tb de backup on-line.

Esse tipo de infraestrutura computacional é indispensável para a execução das análises dos dados de projetos de pesquisa em bioinformática na agricultura.

## 2 Aplicações

### 2.1 A bioinformática e a cadeia produtiva do tambaqui

O primeiro objetivo estratégico da Embrapa é “desenvolver conhecimentos e tecnologias para o adequado manejo e aproveitamento sustentável dos biomas brasileiros”. A Embrapa, historicamente, sempre se preocupou com o desenvolvimento regional, atuando em linhas de frente em que o risco científico ou econômico eram fatores desestimuladores para a iniciativa privada. Em outras palavras, enfrentando problemas agropecuários que empresas privadas do setor avaliavam ser economicamente inviáveis. Esse papel insubstituível da Embrapa garantiu, para citar um único exemplo, o aproveitamento do bioma Cerrado para a agricultura, levando desenvolvimento e riqueza à região. O Brasil é um país continental com desigualdades socioeconômicas entre suas regiões geográficas. A região Norte é rica em recursos naturais, mas suas cadeias produtivas ainda carecem de desenvolvimento e inovação. Encontra-se aí uma cadeia produtiva de pescado cuja produção anual de peixes nativos é de 290 mil toneladas, segundo o Anuário da Piscicultura 2019, sendo o tambaqui (*Colossoma macropomum*) o principal produto. Visando promover o desenvolvimento dessa importante cadeia produtiva, entre outros objetivos igualmente relevantes, a Embrapa, através do projeto BRS Aqua<sup>1</sup>, identificou pontos críticos para o incremento da produção que, se adequadamente resolvidos, aumentariam a competitividade e a sustentabilidade da cadeia produtiva do tambaqui.

Um dos pontos críticos identificado pela Embrapa na cadeia produtiva do tambaqui<sup>2</sup> foi a ocorrência de cruzamentos entre matrizes aparentadas. Muitos piscicultores não sabem, mas a simples escolha das matrizes para o cruzamento pode, se mal feita, reduzir de 10% a 30% o peso final dos peixes. Isto é, usando a mesma quantidade de ração na alimentação, o produtor poderia perder até 30% de conversão alimentar. Na literatura científica, esse fenômeno é conhecido como depressão endogâmica, e poucos produtores de peixes sabem de sua existência. Só para dimensionar o tamanho do problema, veja-se o caso dos peixes nativos que são muito apreciados na região Norte. Como mencionado, em 2019, a produção foi de 290 mil toneladas, assumindo uma estimativa conservadora, pois o cruzamento de matrizes aparentadas pode ter impactado negativamente a produção em pelo menos

---

<sup>1</sup> O projeto BRS Aqua tem financiamento do Fundo Tecnológico do BNDES/Funtec, da Secretaria de Pesca e Aquicultura (SAP) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), do CNPq, da FAPDF e Embrapa. Nesta parte do projeto BRS Aqua atuaram, principalmente, as Unidades: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Embrapa Pesca e Aquicultura e Embrapa Informática Agropecuária.

<sup>2</sup> Esse ponto crítico ocorre em todas as cadeias produtivas de peixe em que não há como identificar o parentesco entre as matrizes.

30 mil toneladas. Diz-se “pelo menos” porque, além da depressão endogâmica, o cruzamento entre matrizes aparentadas acarreta mais um fenômeno danoso, conhecido cientificamente como “alelos fatais”. Numa população qualquer, alelos fatais são raros; porém, quando ocorrem em homozigose, prejudicam o desenvolvimento do embrião. Ou seja, esses alelos causam deformações nos embriões ou abortam o seu desenvolvimento quando herdados tanto do pai quanto da mãe. Daí a recomendação de se evitarem casamentos consanguíneos. Se esses alelos são raros na população como um todo, dentro de famílias portadoras desses alelos a ocorrência da homozigose é significativamente mais frequente, chegando até 25%. Isto é, num cruzamento consanguíneo, até 25% dos embriões podem ser perdidos ou apresentar defeitos congênitos. Tanto a depressão endogâmica quanto os alelos fatais são problemas críticos na cadeia produtiva dos peixes, mas que os produtores ou simplesmente ignoram ou não têm condições técnicas de evitar tais cruzamentos pela dificuldade de aferir o grau de parentesco entre as matrizes.

Além da depressão endogâmica e dos alelos fatais, outro ponto crítico é a existência de híbridos férteis no plantel de matrizes. Nas aulas de Biologia, aprende-se que, quando duas espécies diferentes cruzam, o resultado é um animal infértil. Infelizmente, no caso dos peixes, isso nem sempre é verdade. Por exemplo, o tambaqui pode cruzar com o pacu (*Piaractus mesopotamicus*), e o híbrido é um animal fértil. Ocorre, entretanto, que muitos produtores realizam o cruzamento de tambaqui com pacu porque os híbridos ganham mais peso que os animais puros e o sabor da carne não é significativamente afetado. Na literatura, esse fenômeno é conhecido como “vigor híbrido”, e é bastante usado na produção de grãos, por exemplo. O problema ocorre quando híbridos, em vez de ir para o abate, são erroneamente escolhidos para compor o plantel de matrizes. Embora essa escolha possa parecer improvável num primeiro momento, ela ocorre porque a seleção muitas vezes se baseia nas características externas, e, devido ao vigor híbrido, não é raro que um híbrido seja erroneamente selecionado por apresentar maior peso, por exemplo. Nesse caso, como os híbridos são férteis, o erro da escolha só será descoberto no momento do cruzamento, quando o produtor observará a segregação natural que acarreta muita variabilidade nas características de interesse econômico, como o peso ao abate. Produtores que vendem alevinos para engorda podem ter sua credibilidade afetada por vender animais de baixa qualidade, pois a variabilidade da segregação afeta bastante a engorda.

Uma vez identificados esses problemas, os pesquisadores da Embrapa desenvolveram dois chips de DNA que resolvem tais questões de forma inovadora, eficiente e de baixo custo. Nesses chips, marcadores moleculares, conhecidos como polimorfismos de um único nucleotídeo, ou simplesmente SNPs, podem fornecer informações suficientes para determinar o grau de parentesco e pureza de espécie. No caso de parentesco, os marcadores devem

possuir bastante variabilidade na população estudada. Matematicamente, isso equivale a exigir que o *Minor Allele Frequency* (MAF) seja próximo a 0,5. O princípio é exatamente o mesmo de um teste de paternidade, só que nessa aplicação busca-se identificar qualquer grau de parentesco para evitar cruzamentos consanguíneos, diminuindo a depressão endogâmica e minimizando a ocorrência de alelos fatais. O desafio científico é justamente escolher os tais marcadores moleculares SNPs. No caso do tabaqui, por exemplo, a falta de um genoma de referência publicamente disponível foi um primeiro obstáculo a ser vencido. Isso levou a Embrapa a realizar, internamente, um Projeto Genoma do Tabaqui, e o LMB foi responsável pela montagem desse Genoma Tabaqui. São aproximadamente 1,3 bilhão de nucleotídeos divididos em 27 cromossomos (ou grupos de ligação). De posse do genoma, o próximo passo foi selecionar uma subpopulação representativa da população de tabaquis e sequenciar o DNA do pool dessa subpopulação. O resultado desse sequenciamento foi mapeado no genoma de referência, e finalmente foi realizada a descoberta de SNPs. Mesmo com a exigência de uma cobertura mínima de 150X, foram identificados mais de 2 milhões de SNPs (Ianella et al., 2019). Apesar do número significativo, apenas um subconjunto satisfaz inúmeras exigências. A tarefa de selecionar 96 SNPs para compor o chip de parentesco levou em conta o MAF, o espaçamento dentro dos cromossomos, a anotação funcional e, finalmente, a ausência de variações genômicas nas regiões flanqueadoras do SNP candidato. Como se pode notar, o trabalho de bioinformática foi bastante intenso para realizar todas essas tarefas, o que justifica a necessidade de uma infraestrutura como a do LMB. Após a fase de validação dos SNPs em uma população diferente daquela usada na fase anterior, os SNPs validados foram incorporados ao chip, que se mostrou extremamente eficiente na determinação do grau de parentesco e já está sendo usado na cadeia produtiva do tabaqui. Ou seja, o produtor já possui uma ferramenta inovadora para eliminar a depressão endogâmica e os alelos fatais, evitando assim prejuízos silenciosos causados pelos cruzamentos consanguíneos.

Já o chip de DNA para determinação de pureza exigiu análises mais complexas. Isso porque foi necessário incluir na análise mais duas espécies que cruzam com o tabaqui e produzem híbridos férteis, a saber, o pacu e a caranha (*Piaractus brachypomus*). Como nenhuma dessas espécies possui genoma de referência, foi necessário usar o genoma do tabaqui como referência. Esse procedimento não é trivial porque, além das variações intraespécies, há também as variações interespécies (tabaqui x pacu / tabaqui x caranha), o que aumenta o grau de complexidade das análises. Até mesmo na fase de mapeamento dos *reads* no genoma de referência, a exigência de similaridade teve de ser reduzida devido às diferenças interespecíficas. Diferentemente dos SNPs de parentesco, os SNPs para aferição de pureza de espécie devem estar



“fixados”, isto é, não apresentar variação na espécie, ou seja,  $MAF = 0$ . Um exemplo pode ajudar a entender melhor o problema. Se em uma determinada posição no genoma tem-se um nucleotídeo “A” fixado no tabaqui, e nessa mesma posição tem-se o nucleotídeo “C” fixado no pacu, então essa posição do genoma é uma séria candidata a compor o chip de pureza de espécie, pois, num teste de DNA, um resultado “A” significaria “tabaqui” e um “C”, pacu. E para reduzir ainda mais os custos, buscou-se por marcadores genômicos capazes de separar simultaneamente o tabaqui das outras duas espécies. No exemplo anterior, isso significaria que a caranha também tivesse um “C” fixado naquela mesma posição genômica<sup>3</sup>. Dessa forma, com um único chip de DNA é possível avaliar a pureza do tabaqui em relação às duas principais espécies que produzem híbridos<sup>4</sup>. Mais uma vez, usando frequência alélica, espaçamento físico no genoma e anotação funcional, foram selecionados 96 SNPs para compor o chip, e depois da fase de validação em populações independentes, os SNPs validados foram incorporados ao chip de aferição de pureza. Com essa ferramenta genômica pode-se eliminar todos os híbridos que erroneamente tenham sido escolhidos para compor o plantel de matrizes.

Estudos de impacto econômico realizados pela Embrapa, supondo uma produção média de 150 mil toneladas de tabaqui, preveem ganhos adicionais entre R\$ 9 milhões e R\$ 28 milhões para os produtores<sup>5</sup>. Cada análise de amostras para pureza e parentesco, atualmente, custa R\$ 60,00. Para um produtor com 100 matrizes, isso equivaleria a um investimento de R\$ 12 mil. Como cada matriz tem uma vida útil de três anos, esse valor é amortizado por igual período. O investimento é insignificante quando comparado ao retorno. Tanto é assim que essas duas tecnologias, batizadas de TambaPlus<sup>6</sup>, já foram adotadas por produtores de cinco estados: Mato Grosso, Tocantins, Roraima, Amazonas e Rondônia. E mais de 1.500 testes já foram realizados. A importância do TambaPlus é tal que a tecnologia foi selecionada para compor um seletor grupo de tecnologias que foram destaque no 47º Aniversário da Embrapa<sup>7</sup>.

**3** Os SNPs são marcadores bialélicos, o que viabiliza separar uma espécie de outras duas simultaneamente. Há SNPs trialélicos, porém são raríssimos, e, portanto, não é factível produzir um único chip de genotipagem que separe as três espécies duas a duas simultaneamente.

**4** Pelo que já foi exposto, esse chip de pureza não separa pacu de caranha.

**5** Notícia fornecida em vídeo conferência intitulada TambaPlus®: Ferramentas genômicas para análise e gestão de matrizes de tabaqui destinadas à produção de alevinos, disponível na plataforma Agrotins: <https://agrotins.to.gov.br/programacao/tambaplus-ferramentas-genomicas-para-analise-e-gestao-de-matrizes-de-tabaqui-destinadas-a-produca.html>. Acesso em: 23 jun 2020.

**6** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/46203188/ferramentas-genomicas-ajudaram-a-evitar-cruzamentos-consanguineos-entre-matrizes-de-tabaqui>

**7** Disponível em: <https://www.embrapa.br/47-anos/solucoes-tecnologicas-em-destaque?link=47-anos>

As pesquisas na cadeia produtiva do tabaqui prosseguirão. Ainda há muito espaço para aprimorar a produção de peixes. Em qualquer programa de melhoramento genético há, grosso modo, duas fases principais, a saber, a fase de Seleção e a de Cruzamento. O tabaqui ainda está numa etapa anterior, conhecida como pré-melhoramento. Nesse início, a preocupação principal foi evitar cruzamento consanguíneo e a presença de híbridos no plantel de matrizes.

## 2.2 Bioinformática no desenvolvimento de vacinas: vacinologia reversa

Na produção animal, a utilização de vacinas é uma alternativa efetiva e de menor custo para prevenção ou redução da severidade de doenças que afetam os rebanhos. A vacinação contribui para a manutenção da saúde e do bem-estar animal, para o aumento da eficiência na produção de alimentos e para a redução da transmissão de zoonoses. Comparadas a outras formas de controle, como o uso de antibióticos e pesticidas, as vacinas apresentam vantagens, como a não contaminação do meio ambiente e dos produtos de origem animal (carne, leite e ovos).

Seguindo a metodologia convencional de desenvolvimento de vacinas, o patógeno é cultivado *in vitro* no laboratório e utilizado em sua forma atenuada (na qual perde a habilidade de causar a doença) ou morta para eliciar uma resposta imune protetora no hospedeiro. Alternativamente, componentes purificados do patógeno também podem ser utilizados como antígenos, nas chamadas vacinas de subunidades (Rappuoli; Covacci, 2003).

Embora as vacinas obtidas da forma convencional figurem entre as invenções mais importantes da humanidade, constituindo uma ferramenta poderosa no combate aos agentes biológicos causadores de doenças, nem todos os patógenos podem ser cultivados *in vitro* e utilizados no desenvolvimento de vacinas, na sua forma convencional. Além disso, os métodos convencionais são bastante demorados, podendo ser necessário de cinco a 15 anos para a obtenção de uma vacina eficaz (Vernikos, 2008).

A vacinologia reversa, metodologia publicada pela primeira vez por Rappuoli (2000), surgiu como uma estratégia alternativa para a descoberta de antígenos protetores para o desenvolvimento de vacinas que parte da análise do genoma do patógeno alvo. Viabilizada em função do sequenciamento genético em larga escala, juntamente com o desenvolvimento de ferramentas de bioinformática, a vacinologia reversa utiliza ferramentas de predição *in silico* para a identificação de alvos (antígenos) para o desenvolvimento de vacinas. Por meio dessas ferramentas, genomas, transcriptomas e proteomas são examinados *in silico*, proteínas preditas são selecionadas com base em atributos desejáveis – que podem induzir uma resposta imune capaz de proteger contra uma determinada doença, e os alvos são então identificados.

A partir deles, diferentes tipos de vacinas podem ser delineados e desenvolvidos dentro de um intervalo de um a dois anos.

Vacinas comerciais obtidas por meio dessa metodologia já são realidade. Uma vacina desenvolvida contra a doença meningocócica invasiva, causada pela bactéria *Neisseria meningitidis* sorogrupo B, foi liberada para uso na Europa em 2014 (Andrews; Pollard, 2014). Nessa vacina, a resposta imune é desencadeada por epítomos – sequências específicas de resíduos de aminoácidos presentes no antígeno que participam diretamente da interação com anticorpos, que foram identificados por meio de ferramentas de bioinformática. Os epítomos têm sido considerados particularmente interessantes no desenvolvimento de vacinas, uma vez que tem sido demonstrado que vacinas compostas por esses peptídeos são capazes de otimizar ou mesmo exceder o potencial de proteção induzido pela proteína nativa cognata (Kao; Hodges, 2009). Em contraste com as vacinas vivas atenuadas, uma vacina contendo um epítomo sintético não é capaz de reverter a virulência de um patógeno (Palatnik-De-Sousa et al., 2018). Ainda, vacinas baseadas em epítomos são mais específicas, não induzindo respostas imunes indesejáveis, são capazes de gerar imunidade de longa duração e são mais baratas do que as vacinas convencionais (Ahmad et al., 2016).

Na abordagem da vacinologia reversa, as sequências das proteínas de um organismo são analisadas utilizando-se programas de predição *in silico*. Essas proteínas, no entanto, são, em sua grande maioria, preditas a partir do sequenciamento de genomas e transcriptomas, por meio de ferramentas de bioinformática. Isso porque o sequenciamento genético em larga escala, possível graças às novas tecnologias que reduziram dramaticamente o custo de geração das sequências, do mesmo modo que aumentou exponencialmente o número de sequências geradas a partir de uma amostra, tem acumulado uma quantidade de dados genômicos e transcriptômicos sem precedentes. Por outro lado, um avanço tecnológico que permitisse o desenvolvimento de técnicas de sequenciamento de proteínas com elevada sensibilidade e em larga escala ainda não aconteceu. O avanço nas metodologias de obtenção de sequências expressas causou uma subsequente evolução nas metodologias de análise. Uma lista de programas pode ser acessada na página “*List of RNA-Seq bioinformatics tools*” (Wikipedia, 2020). Faremos a seguir uma breve descrição comentada da metodologia aplicada para obtenção de genes diferencialmente expressos na glândula salivar do carrapato bovino (Andreotti et al., 2018). Todas as ferramentas citadas são obtidas através de licença acadêmica ou de instituição de pesquisa governamental, ou possuem distribuição livre.

Com o objetivo de melhor compreender a interação parasita-hospedeiro e identificar possíveis genes e mecanismos envolvidos, um estudo iniciado em 2015, financiado pela Embrapa, gerou mais de 600 milhões de sequências a partir do sequenciamento do RNA (utilizando a metodologia de RNA-Seq)

de larvas, ninfas, glândula salivar, intestino e ovários do carrapato do boi, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Andreotti et al., 2018). Além da caracterização dos transcriptomas dos diferentes tecidos, por meio da montagem *de novo*, nosso grupo de pesquisa também identificou os genes diferencialmente expressos (GDE) entre carrapatos crescidos em bovinos resistentes (Nelore), bovinos susceptíveis (Holstein) e animais cruzados, com resistência intermediária ao parasita (Nelore x Holstein). A análise desse conjunto de dados, por meio de ferramentas que informam a função das proteínas preditas pelos GDE e as vias biológicas em que atuam, trouxe novas descobertas acerca da interação carrapato-bovino e apontou potenciais candidatos que podem ser utilizados como antígenos no desenvolvimento de vacinas para o controle do carrapato bovino (Giachetto et al., 2020).

O primeiro passo na análise de *RNA-Seq* é a verificação da qualidade das sequências geradas. Ferramentas como *FastX Toolkit* (FastX-GitHub, 2020) e *FastQC* (FastQC-GitHub, 2020) verificam vários parâmetros, dentre os quais destacamos:

- Qualidade média de bases e qualidade média por sequência. Para um bom resultado, a sequência deve ter um “Phred score” superior a 30.
- Conteúdo de GC (%GC). A porcentagem da presença das bases nucleotídicas Guanina e Citosina na sequência deve aproximar-se da distribuição normal, uma vez que o conteúdo em GC muito elevado dificulta a síntese e, muitas vezes, o agrupamento (contigagem) das sequências durante os processos de obtenção e montagem.
- Quantidade de bases indeterminadas (%N). Bases indeterminadas dificultam o processo de contigagem. Podem ocorrer no início do sequenciamento, onde existe uma saturação de reagentes; no final, pela diminuição da concentração de reagentes; ou em uma região com alta %GC, que dificulta a leitura da região pela polimerase.
- Presença de adaptadores. Adaptadores são sequências de nucleotídeos curtas, utilizadas para a preparação da biblioteca e o sequenciamento. Sua presença prejudica a contigagem, originando sequências quiméricas. Para eliminá-los, ferramentas como Trimmomatic (Bolger et al., 2014) e Trim Galore (TrimGalore-GitHub, 2020) são frequentemente utilizadas.

Como lidamos com um grande número de sequências, uma ótima ferramenta para agrupar e visualizar os dados obtidos na análise de qualidade (e mesmo passos posteriores) é o MultiQC (Ewels et al., 2016), que organiza os resultados obtidos em uma página web.

Com a qualidade das sequências verificada, passamos para a obtenção do transcriptoma, através da comparação sequência a sequência e da contigagem delas por similaridade. Várias ferramentas podem ser usadas nesse passo, citando, por exemplo, QUILT (Gurevich et al., 2013), que é recomendado

para a análise de metagenomas. A ferramenta de escolha para a análise deste trabalho foi o programa Trinity (Grabherr et al., 2011). Essa ferramenta é, na verdade, um *pipeline* que reúne, através de scripts desenvolvidos nas linguagens de programação Perl<sup>8</sup> e Python<sup>9</sup>, várias ferramentas de análise para qualidade, contigagem de sequências e estatísticas para a identificação dos GDEs, tendo como diferencial a possibilidade de identificação de isoformas (o mesmo que transcritos) de um mesmo gene, oriundas do *splicing* alternativo. Diferentes tecidos podem expressar diferentes isoformas em diferentes quantidades. Identificar a isoforma expressa localmente possibilita melhor entendimento da expressão de um determinado gene em uma determinada via metabólica ou tecido.

Obtido o transcriptoma, o próximo passo é a verificação da qualidade da montagem. Uma primeira abordagem é o mapeamento das sequências utilizadas para a montagem de volta ao transcriptoma obtido. Em uma boa montagem, mais de 80% das sequências utilizadas mapeiam no transcriptoma. Uma segunda forma de avaliação consiste na identificação e na quantificação de sequências completas, através da análise de similaridade contra bancos de dados curados, como o SwissProt ou o TrEMBL (The UniProt Consortium, 2019), ou na busca de ortólogos presentes na mais próxima classificação do organismo estudado, neste caso, os artrópodos, utilizando o software BUSCO (Seppey et al., 2019).

Vários fatores influenciam o delineamento experimental de um ensaio de *RNA-Seq* para a identificação de GDEs:

- No preparo das amostras, desde a extração do *RNA* total até a obtenção de bibliotecas para sequenciamento, pode ocorrer o efeito de lote, em que são incluídos desde a utilização de diferentes soluções (feitas em dias diferentes) até quem as prepara (Conesa et al., 2016);
- A profundidade de sequenciamento (o número de sequências geradas), que influencia no número de sequências obtidas e, portanto, na quantificação do número de GDEs identificados (Conesa et al., 2016; Lamarre et al., 2018);
- O número de réplicas técnicas (quantas vezes uma mesma amostra é sequenciada), que influencia no poder estatístico para a detecção dos GDEs, sendo recomendadas não menos que três repetições (Conesa et al., 2016), embora um maior número (cerca de seis repetições) possa aumentar a representatividade das sequências do transcriptoma (Lamarre et al., 2018). É comumente aceito um ensaio com triplicatas, pois o aumento de réplicas implica no aumento do custo de ensaio;

---

<sup>8</sup> Disponível em: <https://www.perl.org>

<sup>9</sup> Disponível em: <https://www.python.org>

- A preparação de uma repetição biológica. Conesa et al. (2016) apontam que a variabilidade biológica é particular para cada ensaio, e apesar de difícil de controlar, é importante para um estudo que envolve populações, sugerindo ao menos que a amostra biológica seja feita em triplicata. Lamarre et al. (2018) apontam a detecção de até 20% de GDEs devido à variabilidade biológica, o que pode não justificar elevar os custos do ensaio.

A correlação entre as amostras utilizadas no ensaio é também uma medida importante da qualidade da montagem e das bibliotecas construídas. A análise de componentes principais permite visualizar correlações entre replicatas técnicas e biológicas, que devem, preferencialmente, formar agrupamentos não muito distantes. Uma discrepância entre amostras de um mesmo grupo pode indicar contaminação, mistura de amostras, erro de sequenciamento ou efeitos de lote, que devem ser considerados para o descarte da referida amostra. Importante também o fato de que sem uma triplicata técnica, uma duplicata biológica deverá ser descartada, prejudicando toda a análise.

Com um transcriptoma de boa qualidade, passamos à identificação das sequências diferencialmente expressas, os GDEs. Trinity incorpora diversas ferramentas estatísticas para esse fim. Neste caso, optamos pelo uso de RSEM (Li; Dewey, 2011), que estima a quantidade de cada transcrito realinhando as sequências de cada biblioteca (ou tratamento experimental) ao transcriptoma gerado – motivo da importância da qualidade e da relação entre as replicatas – e edgeR (Robinson et al., 2010), um pacote desenvolvido no programa estatístico R (R Core Team, 2020) e integrante do Projeto Bioconductor (Huber et al., 2015) para análise de dados biológicos, que realiza a comparação par a par das sequências geradas entre todas as amostras e identifica aquelas com expressão diferencial.

O penúltimo passo é a anotação (ou identificação) de cada sequência diferencialmente expressa, através da análise de similaridade em bancos de dados de sequências nucleotídicas e proteicas, buscando homologia a sequências já conhecidas, e em bancos de dados de vias metabólicas que informam em qual (quais) delas o gene participa. Seguem uma análise manual de cada resultado, o embasamento bibliográfico buscando a importância de tal gene ao desenvolvimento no ciclo de vida do carrapato, e a seleção de possíveis alvos para a fabricação de vacinas.

A existência de vacinas comerciais disponíveis para o controle do carrapato bovino demonstrou que elas podem atuar de maneira efetiva no controle das infestações, reduzindo a aplicação de acaricidas. A adoção dessas vacinas, no entanto, tem sido limitada, principalmente, por não se mostrarem efetivas contra todos os estágios de vida do parasita, além de apresentarem baixa eficácia contra algumas cepas regionais do *R. (B.) microplus* (Andreotti,



2006). Resultados obtidos em teste conduzido pela Embrapa com um isolado regional do carrapato evidenciaram uma eficácia de 46,4% e 49,2%, respectivamente, para as vacinas TickGARD® e GavacTM (Andreotti, 2006). Assim, tendo como base o banco de dados descrito anteriormente, nossa equipe coordena hoje um estudo que prevê a identificação de epítomos imunogênicos candidatos ao desenvolvimento de vacinas contra o carrapato bovino, utilizando a metodologia da vacinologia reversa, a partir das proteínas preditas dos transcriptomas do parasita. Por meio da execução de um *pipeline* contendo uma série de ferramentas de análise, os genes candidatos a alvos para a produção de vacinas são analisados quanto à presença dos epítomos que podem interagir com o sistema imune do bovino para a produção de anticorpos, auxiliando no combate à infestação do carrapato.

A obtenção de uma vacina com alta eficácia, utilizada de forma integrada em estratégias de controle do carrapato bovino, deverá reduzir consideravelmente as infestações dos rebanhos e as implicações relacionadas ao uso de acaricidas, que incluem, além do custo e da contaminação ambiental, uma preocupação crescente da população com a segurança alimentar, o que tem levado, cada vez mais, ao consumo de alimentos livres de resíduos químicos, obtidos a partir de sistemas produtivos sustentáveis. Ainda, com a validação do *pipeline* que estamos propondo, o LMB poderá aplicar a metodologia de vacinologia reversa na identificação de alvos para o controle de outros problemas de interesse da agropecuária.

### 2.3 Ferramentas de bioinformática

Conforme preconizado pela agricultura digital, para serem transformadas em conhecimento útil, as informações geradas a partir de experimentos biológicos devem estar acessíveis e, se possível, disponibilizadas na Internet. Os bioinformatas e os biólogos computacionais lidam com esse cenário há mais de uma década, num ambiente com infraestrutura adequada como a que foi descrita anteriormente, e implementam bibliotecas de software, kits de ferramentas, plataformas e bancos de dados para obter sucesso nesse assunto.

No LMB da Embrapa, várias ferramentas de análise de dados são utilizadas, e tornou-se necessária uma busca por uma solução de integração dos dados. Os resultados das análises são armazenados criteriosamente em uma estrutura de diretórios e relatórios são gerados. Algumas ferramentas geram resultados em formato já disponível para a Internet ou, até mesmo, podem ser executadas diretamente on-line. Duas ferramentas em desenvolvimento têm contribuído muito para a integração dos dados gerados e a transformação desses dados em informação.

### 2.3.1 Machado: um framework de integração de dados genômicos

Iniciou-se, em 2017, um projeto para descoberta de proteínas candidatas para *pipelines* de construção de plantas transgênicas (Prado et al., 2014; Napier et al., 2019) resistentes a estresses abióticos denominado PlantAnnot – desenvolvimento de um sistema de bioinformática aplicado na descoberta de genes relacionados a estresses abióticos em plantas, focado no tema de mudanças climáticas. Para realização desse projeto, um grande volume de dados genômicos foi extraído de bancos de dados públicos. O conjunto de dados extraído corresponde a 53 genomas de plantas, totalizando mais de 1,8 milhão de genes e mais de 2,3 milhões de proteínas. Esses dados foram utilizados para realizar análises computacionais de forma a selecionar 72 mil proteínas de interesse para os *pipelines*. Um dos objetivos do projeto era o de armazenar e disponibilizar os dados e as análises realizadas.

Para solucionar esse problema de uma forma mais ampla, desenvolveu-se um software de código aberto chamado Machado, um framework de integração de dados genômicos escrito em Python<sup>10</sup> que permite aos grupos de pesquisa armazenar dados genômicos e que também oferece interfaces para navegação, buscas e visualização. O Machado utiliza a biblioteca BioPython (Cock et al., 2009) que suporta a grande maioria dos formatos de arquivos e programas utilizados na bioinformática. Além disso, o Python vem se consolidando como uma das principais linguagens de programação na área de ciências de dados (Millman; Aivazis, 2011), e o Machado pode também se beneficiar das ferramentas dessa área. Esse framework utiliza o esquema de banco de dados Chado e, portanto, deve ser bastante intuitivo para adoção ou execução em bancos de dados que já existem, pelos atuais desenvolvedores.

O esquema de banco de dados relacional biológico do GMOD, Generic Model Organism Database Project<sup>11</sup>, conhecido como Chado (Mungall; Emmert, 2007), é uma das poucas iniciativas de código aberto que obteve relativo sucesso em adoção pela comunidade. Muitos softwares conseguem se conectar a ele, como o Gbrowse (Stein et al., 2002), o Jbrowse (Skinner et al., 2009) e o Apollo (Lee et al., 2013), que são importantes ferramentas para visualização e anotação de genomas. Existem algumas ferramentas para integração de dados que usam o Chado como esquema de banco de dados ou que conseguem extrair os dados desse esquema, porém elas foram desenvolvidas em linguagens de programação pouco utilizadas na bioinformática (Kalderimis et al., 2014; Spoor et al., 2019).

---

<sup>10</sup> Disponível em: <https://www.python.org>

<sup>11</sup> Disponível em: <http://www.gmod.org>

O Machado possui várias ferramentas de carregamento de dados para dados genômicos e para resultados de análises de softwares conhecidos no meio biológico (BLAST, InterproScan etc.) (Altschul et al., 1990; Quevillon et al., 2005), e sua interface web contém uma poderosa ferramenta de buscas que permite filtrar e ordenar os resultados de forma rápida.

No âmbito do projeto PlantAnnot, foi criada uma ferramenta, utilizando o Machado, denominada *Plant Co-expression Annotation Resource*, para armazenar e disponibilizar esses dados<sup>12</sup>. Essa ferramenta é uma implementação do Machado que serve como exemplo de sua utilidade para pesquisadores que necessitam armazenar e tornar acessível um grande volume de dados genômicos.

Para exemplificar, uma das utilidades do *Plant Co-expression Annotation Resource* é a de possibilitar a navegação pelo genoma de 53 espécies de plantas angiospermas, permitindo a visualização de detalhes sobre genes, proteínas e RNA por meio do navegador de genomas JBrowse. Outra utilidade dessa ferramenta é a de realizar buscas por palavras-chave e uso de filtros. Dessa forma, o usuário consegue realizar buscas simples por genes, proteínas e RNA, pelo uso de palavras de interesse. Mas também poderá agregar à busca filtros mais complexos, produzindo listas de resultados mais específicas, por exemplo um conjunto de proteínas sem função conhecida, candidatas para a criação de plantas transgênicas resistentes à estresses abióticos, como seca, calor, frio, entre outros.

O Machado pretende ser um framework objeto-relacional moderno, que usa os mais recentes módulos Python para produzir um programa de código aberto eficaz para pesquisa genômica, podendo ser um projeto envolvente para novos desenvolvedores, colaboradores e usuários. Para tanto, criamos uma conta corporativa para o LMB no GitHub, que acreditamos ser a primeira conta da Embrapa nessa plataforma<sup>13</sup>. Também foi criada uma versão demonstração do sistema<sup>14</sup>.

A ferramenta Machado vai passar por fases de aperfeiçoamento para projetos em andamento na Embrapa, como o projeto “O Hologenoma de Nelore: Implicações na Qualidade de Carne e em Eficiência Alimentar”, com foco em melhoramento genômico de bovinos, liderado pela Embrapa Pecuária Sudeste. Esse projeto pretende identificar mecanismos moleculares relacionados à maciez da carne, e, para isso, foram produzidos diversos conjuntos de dados que precisam ser integrados, como genomas, transcriptomas, proteomas, genotipagens, entre outros.

---

<sup>12</sup> Disponível em: <https://www.machado.cnptia.embrapa.br/plantannot>

<sup>13</sup> Disponível em: <https://github.com/lmb-embrapa>

<sup>14</sup> Disponível em: [https://www.machado.cnptia.embrapa.br/demo\\_machado](https://www.machado.cnptia.embrapa.br/demo_machado)

### 2.3.2 BDPFG: sistema web para recuperação de informação de pedigree, fenótipos e genótipos

O desenvolvimento de tecnologias de genotipagem em larga escala de marcadores moleculares do tipo *Single Nucleotide Polymorphisms* (SNP) – para estimar o perfil genômico de animais – permitiu tanto o desenvolvimento de estudos de associação genótipo-fenótipo em escala genômica (do inglês *genome-wide association studies* – GWAS) quanto a introdução da tecnologia de seleção genômica em programas de melhoramento genético. As tecnologias atuais para geração de dados moleculares são capazes de realizar a genotipagem de dezenas a centenas de milhares de marcadores SNP, em um único ensaio para cada indivíduo, com enorme velocidade e automação (Caetano, 2009).

Por outro lado, essa conjuntura implica na necessidade de armazenamento de um enorme volume de dados, não somente de genótipos, mas também de fenótipos e pedigree de um número cada vez maior de animais. Dessa forma, realizar o armazenamento adequado e a extração de conhecimento útil a partir dessa quantidade de dados torna-se um grande desafio. Dado o volume de dados armazenado, uma questão importante a se considerar no desenvolvimento de uma solução computacional é a adequabilidade da modelagem do banco de dados à aplicação desejada, pois esta terá impacto direto nos tempos de consulta e escrita em sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais (SGBD), onde essa informação estará armazenada.

Diante disso, com o objetivo de fornecer uma solução que fosse eficiente tanto no armazenamento quanto na integração e na consulta desse alto volume de dados, o sistema Banco de Dados de Pedigree, Fenótipos e Genótipos (BDPFG) foi desenvolvido. O objetivo desse sistema é integrar dados enviados, de vários formatos, para que se possam analisá-los nos softwares de avaliação genética/genômica. O BDPFG foi inicialmente desenvolvido utilizando um diagrama de dados proposto por Higa e Oliveira (2015). Esse diagrama foi redesenhado de forma que possibilitasse a implementação do tipo *JavaScript Object Notation* (JSON). Com a implementação dos tipos JSON e texto em algumas tabelas, foi possível o uso da abordagem *Not Only SQL*<sup>15</sup> (NoSQL) para armazenar parte dos dados, agilizando consultas que necessitariam realizar junções (*joins*) com outras tabelas.

Para o desenvolvimento do sistema, foram escolhidos componentes de tecnologia de informação dentro da filosofia do uso de software livre. O sistema gerenciador de banco de dados escolhido foi o PostgreSQL<sup>16</sup>, por ser um SGBD confiável, amplamente utilizado no mercado. Como software

---

<sup>15</sup> Disponível em: <http://nosql-database.org>

<sup>16</sup> Disponível em: <https://www.postgresql.org>

para controle de versão, foi utilizado o GitLab<sup>17</sup>, hospedado na Embrapa. A linguagem de programação escolhida foi Java<sup>18</sup> e seus componentes da tecnologia *Java Enterprise Edition* (Java EE).

Dentre as tecnologias Java EE disponíveis e utilizadas pelo BDPFG destaca-se, entre outras, a estrutura *Java Server Faces* (JSF). A arquitetura do framework JSF emprega o modelo MVC (*Model, View, Controller*), que faz a separação entre as camadas de apresentação e de aplicação. O servidor de aplicação escolhido para abrigar o sistema BDPFG foi o WildFly<sup>19</sup>.

O projeto de desenvolvimento do sistema utilizou alguns conceitos do Scrum, que é um framework ágil para a realização de projetos complexos. O Scrum reúne atividades de monitoramento e *feedback*, em geral, por meio de reuniões rápidas e diárias com toda a equipe, procurando identificar e corrigir quaisquer deficiências no processo de desenvolvimento. Além disso, o método Scrum baseia-se em fundamentos como: equipes pequenas, requisitos desconhecidos e iterações curtas, estas denominadas de *sprints* (Schwaber, 2004).

O sistema BDPFG possui muitos recursos implementados e está em processo de homologação pelos usuários. Por meio de sua interface web é possível realizar consultas e importações de dados fenotípicos, genotípicos e de pedigree de diversas espécies de animais. Ao acessá-lo, a página de login será exibida (Figura 1):

Entre suas funcionalidades, destaca-se a visualização dos dados de animais (Figura 2). Nessa tela, o usuário encontra diversas informações sobre o indivíduo, tais como: código identificador do indivíduo, nome original, pai,



**Embrapa** Banco de Dados de Pedigree, Fenótipos e Genótipos

Usuário \*

Senha

Log in

**Figura 1.** Tela de login do sistema BDPFG<sup>20</sup>.

<sup>17</sup> Disponível em: <https://gitlab.com>

<sup>18</sup> Disponível em: <https://www.oracle.com/br/java/>

<sup>19</sup> Disponível em: <http://wildfly.org/downloads/>

<sup>20</sup> Disponível em: <http://www.bdpfg.cnptia.embrapa.br/>

**Figura 2.**

Tela mostrando indivíduos cadastrados no sistema<sup>21</sup>.

The screenshot shows a web interface titled "VISUALIZAR INDIVÍDUOS". At the top, there are dropdown menus for "População", "Colunas", "Categorias", and "Grupo Contemporâneo". Below these is a toolbar with a "Deletar" button, a page number "10", and navigation arrows. The main content is a table with the following data:

				TOTAL DE INDIVÍDUOS: 1 - 10 DE 1203			
				INDIVIDUALID ↕	ORIGINALID ↕	NOME ↕	FATHER ↕
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>			10362675	501	JOCELYN VINCENT	CONRAD HOLDE
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>			10362676	SELENIUM FORMULA 1	SELENIUM FORMULA 1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>			10362677	SELENIUM FORMULA 2	SELENIUM FORMULA 2	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>			10362678	SELENIUM FORMULA 3	SELENIUM FORMULA 3	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>			10362679	SELENIUM FORMULA 4	SELENIUM FORMULA 4	

mãe, data de inserção na população, população e outras informações contidas nas variáveis JSON relativas ao tipo do indivíduo (gado de corte, ave, etc.). Contudo, cabe ressaltar que as variáveis dos fenótipos relacionados às espécies consideradas pelo sistema devem ser previamente registradas, sendo importadas do Sistema de Experimentos da Embrapa – SIEXP (Apolinário et al., 2016), onde foram definidas para a espécie com a qual o usuário trabalhará no seu grupo de usuários (ex: bovinos, suínos, etc.).

É possível também importar dados de arquivos com colunas separadas por tabulações (TSV). Esses arquivos precisam seguir um formato padronizado. Depois de importar os dados, é possível visualizar o pedigree de um animal listado na página de visualização de animais. A janela de pedigree pode ser expandida para facilitar a visualização dos animais e dos seus antepassados.

O banco de dados disponibiliza vários filtros para que o usuário possa conferir os dados que foram carregados e, então, exportar para o formato dos softwares de avaliação. Geralmente, os dados são exportados em formato tabular, para serem analisados no programa R, já que são extensas tabelas com medições de características dos animais. Também é possível exportar os dados desses animais (fenótipos, pedigree) para arquivos no formato CSV e manipulá-los no Excel. Os filtros existentes permitem consultas por população, categoria, nome do animal, nome do pai, nome da mãe. Uma outra ferramenta, talvez a mais importante do sistema, é a de identificação de animais duplicados, possibilitando ao usuário realizar a associação de animais duplicados em um animal apenas.

O sistema BDPFG faz parte de uma solução computacional proposta em outros projetos Embrapa (MaxiDep e MaxiPlat). Esses projetos buscaram aglutinar esforços para estruturação de uma solução computacional (da qual

<sup>21</sup> Disponível em: <http://www.bdpfg.cnptia.embrapa.br/>



o BDPFG é um dos componentes) para suporte à rotina de avaliação genética de programas de melhoramento genético de gado de corte, no escopo do programa Embrapa-Geneplus. Tal esforço compreendeu tanto o desenvolvimento de ativos para suporte à organização dos dados utilizados nas avaliações genéticas (sistema BDPFG) quanto o desenvolvimento de uma solução nacional para a resolução de modelos genético-estatísticos (software brBlup). Dessa forma, o sistema BDPFG faz o “meio de campo” na organização dos dados para que o software brBlup os utilize na geração de modelos genético-estatísticos.

Uma comparação com a busca em outros softwares com interface web desenvolvidos pela Embrapa Informática Agropecuária (Vieira, 2012a, 2012b), com funcionalidade de armazenamento de genótipos e fenótipos e que contemplam consultas básicas a dados moleculares (SNPs), mostra que uma consulta simples em cerca de 800 animais e 700 mil marcadores SNP demorava, pelo menos, uma hora para ser processada nesses outros softwares desenvolvidos. Uma consulta semelhante realizada no banco BDPFG leva menos de um minuto, pois a utilização de campos dos tipos JSON e texto nas tabelas retira parte da normalização necessária do modelo tradicional, agilizando as pesquisas.

### 3 Considerações finais

As pesquisas relatadas neste capítulo estão em andamento e prosseguirão para outras etapas. Na pesquisa com o tambaqui, com o avanço da produção no futuro próximo, poder-se-á dar início ao melhoramento genético propriamente dito, a exemplo do que já ocorre no exterior. As ferramentas genômicas apresentadas neste capítulo poderão evoluir para ajudar na fase de seleção das matrizes, com o objetivo de melhorar alguma característica de interesse econômico, por exemplo o peso ao abate. Na cadeia produtiva de carne bovina, a seleção genômica já é uma realidade, e os resultados são excelentes. O mesmo pode ocorrer com a cadeia produtiva de peixes. Com a crescente importância da proteína de peixes no cardápio mundial, talvez a região amazônica possa se tornar, em breve, uma grande produtora e, quem sabe, até exportadora de peixes nativos. Há ainda muito caminho a percorrer, mas a Embrapa já deu uma contribuição significativa indicando e abrindo o caminho, e a bioinformática desempenha um papel fundamental.

A validação de uma metodologia que inclui a identificação de antígenos por meio de um *pipeline* de vacinologia reversa e a obtenção de uma vacina multiepítomos está em andamento na Embrapa, com a participação do LMB, e tem como objetivo o controle do carrapato bovino. A infestação de rebanhos bovinos por esse parasita é considerada, hoje, um dos problemas mais

importantes na pecuária em termos econômicos, atingindo todos os países de clima tropical e subtropical. Só no Brasil, as perdas anuais devidas à infestação pelo carrapato são da ordem de US\$3,24 bilhões (Grisi et al., 2014). A obtenção de uma vacina eficaz certamente irá contribuir para o controle do parasita, reduzindo as aplicações de acaricidas e o prejuízo ambiental e econômico decorrentes dessa prática. Ainda, uma vez validada, são várias as aplicações possíveis da metodologia, incluindo a identificação de alvos para o controle de outros problemas de interesse da agropecuária envolvendo sanidade e bem-estar animal.

A ferramenta Machado vai atender outros projetos em andamento na Embrapa. Já existe programação para seu uso no projeto Genômica Aplicada à Otimização de Programas de Melhoramento Genético de Espécies Forrageiras Tropicais, liderado pela Embrapa Cerrados, com foco em melhoramento de plantas forrageiras. Nesse projeto, está previsto o sequenciamento de genomas de referência para seis espécies forrageiras tropicais, com a caracterização de conjuntos amplos de variantes genômicas, e espera-se usar o Machado como base para a implementação de um portal de acesso aos dados genômicos gerados.

O banco de dados BDPFG está sendo estruturado de forma a permitir sua utilização em outras coleções de dados, com algumas alterações específicas para cada projeto.

Como mostrado nas pesquisas aqui relatadas, a bioinformática tornou-se fundamental e será ainda mais importante nas agendas de inovação em direção à transformação digital da agricultura. A existência de estruturas multiusuários para atender projetos de pesquisa que não possuem a estrutura necessária para análises complexas é fundamental, possibilitando, ainda, melhor uso de recursos. Com a dependência da bioinformática da disponibilidade de uma equipe especialista e de infraestrutura adequada, o gerenciamento da estrutura que atende os projetos de pesquisa deve estar com a atenção voltada para manter ambos os aspectos atualizados.

## 4 Referências

- AHMAD, T. A.; EWEIDA, A. E.; SHEWEITA, S. A. B-cell epitope mapping for the design of vaccines and effective diagnostics. **Trials in Vaccinology**, v. 5, p. 71-83, 2016. DOI: [10.1016/j.trivac.2016.04.003](https://doi.org/10.1016/j.trivac.2016.04.003).
- ALTSCHUL, S. F.; GISH, W.; MILLER, W.; MYERS, E. W.; LIPMAN, D. J. Basic local alignment search tool. **Journal of Molecular Biology**, v. 215, n. 3, p. 403-410, Oct 1990. DOI: [10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2).
- ANDREOTTI, R. Performance of two Bm86 antigen vaccine formulation against tick using crossbreed bovines in stall test. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v.15, p. 97-100, 2006.
- ANDREOTTI, R.; GIACHETTO, P. F.; CUNHA, R. C. Advances in tick vaccinology in Brazil: from gene expression to immunoprotection. **Frontiers in Biosciences**, v. 10, p. 127-42, Jan 2018. DOI: [10.2741/s504](https://doi.org/10.2741/s504).

ANDREWS, S. M.; POLLARD, A. J. A vaccine against serogroup B *Neisseria meningitidis*: dealing with uncertainty. **The Lancet Infectious Diseases**, v. 14, n. 5, p. 426-434, May 2014. DOI: [10.1016/s1473-3099\(13\)70341-4](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(13)70341-4).

APOLINÁRIO, D. R. de F.; QUEIROS, L. R.; VACARI, I.; CRUZ, S. A. B. da. **SIExp – Sistema de Informação de Experimentos da Embrapa**. Versão v. 1.7.6. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2016.

BOLGER, A. M.; LOHSE, M.; USADEL, B. Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data. **Bioinformatics**, v. 30, n. 15, p. 2114-2120, Aug 2014. DOI: [10.1093/bioinformatics/btu170](https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu170).

CAETANO, A. R. Marcadores SNP: conceitos básicos, aplicações no manejo e no melhoramento animal e perspectivas para o futuro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 64-71, 2009. Número especial. DOI: [10.1590/s1516-35982009001300008](https://doi.org/10.1590/s1516-35982009001300008).

COCK, P. J. A.; ANTAO, T.; CHANG, J. T.; CHAPMAN, B. A.; COX, C. J.; DALKE, A.; FRIEDBERG, I.; HAMELRYCK, T.; KAUFF, F.; WILCZYNSKI, B.; DE HOON, M. J. Biopython: freely available Python tools for computational molecular biology and bioinformatics. **Bioinformatics**, v. 25, n. 11, p. 1422-1423, June 2009. DOI: [10.1093/bioinformatics/btp163](https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btp163).

CONESA, A.; MADRIGAL, P.; TARAZONA, S.; GOMEZ-CABRERO, D.; CERVERA, A.; MCPHERSON, A.; SZCZEŚNIAK, M. W.; GAFFNEY, D. J.; ELO, L. L.; ZHANG, X.; MORTAZAVI, A. A survey of best practices for RNA-seq data analysis. **Genome Biology**, v. 17, article number 13, 2016. DOI: [10.1186/s13059-016-0881-8](https://doi.org/10.1186/s13059-016-0881-8).

EWELS, P.; MAGNUSSON, M.; LUNDIN, S.; KÄLLER, M. MultiQC: summarize analysis results for multiple tools and samples in a single report. **Bioinformatics**, v. 32, n. 19, p. 3047-3048, Oct 2016. DOI: [10.1093/bioinformatics/btw354](https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btw354).

FastQC-GitHub. Disponível em: <https://github.com/s-andrews/FastQC/releases>. Acesso em: 7 maio 2020.

FastX-Github. Disponível em: [https://github.com/agordon/fastx\\_toolkit](https://github.com/agordon/fastx_toolkit). Acesso em: 7 maio 2020.

GIACHETTO, P. F.; CUNHA, R. C.; NHANI JUNIOR, A.; GARCIA, M. V.; FERRO, J. A.; ANDREOTTI, R. Gene expression in the salivary gland of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* fed on tick-susceptible and tick-resistant hosts. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v. 9, p. 477, Jan 2020. DOI: [10.3389/fcimb.2019.00477](https://doi.org/10.3389/fcimb.2019.00477).

GRABHERR, M. G.; HAAS, B. J.; YASSOUR, M.; LEVIN, J. Z.; THOMPSON, D. A.; AMIT, I.; ADICONIS, X.; FAN, L.; RAYCHOWDHURY, R.; ZENG, Q.; CHEN, Z.; MAUCELI, E.; HACOEN, N.; GNIRKE, A.; RHIND, N.; DI PALMA, F.; BIRREN, B. W.; NUSBAUM, C.; LINDBLAD-TOH, K.; FRIEDMAN, N.; REGEV, A. Full-length transcriptome assembly from RNA-seq data without a reference genome. **Nature Biotechnology**, v. 29, n. 7, p. 644-652, 2011. DOI: [10.1038/nbt.1883](https://doi.org/10.1038/nbt.1883).

GRISI, L.; LEITE, R. C.; MARTINS, J. R. de S.; BARROS, A. T. M. de; ANDREOTTI, R.; CANÇADO, P. H. D.; LEÓN, A. A. P. de; PEREIRA, J. B.; VILLELA, H. S. Reassessment of the potential economic impact of cattle parasites in Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 23, n. 2, p. 150-156, Apr/June 2014. DOI: [10.1590/S1984-29612014042](https://doi.org/10.1590/S1984-29612014042).

GUREVICH, A.; SVELIEV, V.; VYAHHI, N.; TESLER, G. QUILT: quality assessment tool for genome assemblies. **Bioinformatics**, v. 29, n. 8, p. 1072-1075, Apr 2013. DOI: [10.1093/bioinformatics/btt086](https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btt086).

HIGA, R. H.; OLIVEIRA, G. B. **Banco de Dados de Genótipos e Fenótipos (BDGF) para suporte a estudos de associação genômica ampla e seleção genômica em programas de melhoramento animal**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2015. 30 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 133). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/138127/1/Doc133.pdf>. Acesso em: 7 maio 2020.

HUBER, W.; CAREY, V. J.; GENTLEMAN, R.; ANDERS, S.; CARLSON, M.; CARVALHO, B. S.; BRAVO, H. C.; DAVIS, S.; GATTO L.; GIRKE, T.; GOTTARDO, R.; HAHNE, F.; HANSEN, KD.; IRIZARRY, R. A.; LAWRENCE, M.; LOVE, M. I.; MACDONALD, J.; OBENCHAIN, V.; OLE'S, A. K.; PAG'ES, H.; REYES, A.; SHANNON, P.; SMYTH, G.K.; TENENBAUM, D.; WALDRON, L.; MORGAN, M. Orchestrating high-throughput genomic analysis with Bioconductor. **Nature Methods**, v. 12, n. 2, p. 115-121, Jan 2015. DOI: [10.1038/nmeth.3252](https://doi.org/10.1038/nmeth.3252).

IANELLA, P.; YAMAGISHI, M. E. B.; VARELA, E. S.; VILLELA, L. C. V.; PAIVA, S. R.; CAETANO, A. R. Tambaqui (*Colossoma macropomum*) single nucleotide polymorphism discovery by reduced representation library deep sequencing. In: AQUACULTURE, 2019, New Orleans. **Abstracts**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 491. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/208846/1/CNPASA-2019-Aqua2.pdf>. Acesso em: 7 maio 2020.

KALDERIMIS, A.; LYNE, R.; BUTANO, D.; CONTRINO, S.; LYNE, M.; HEIMBACH, J.; HU, F.; SMITH, R.; ŠTĚPÁN, R.; SULLIVAN, J.; MICKLEM, G. InterMine: extensive web services for modern biology. **Nucleic Acids Research**, v. 42, n. W1, p. W468-W472, July 2014. DOI: [10.1093/nar/gku301](https://doi.org/10.1093/nar/gku301).

KAO, D. J.; HODGES, R. S. Advantages of a synthetic peptide immunogen over a protein immunogen in the development of an anti-pilus vaccine for *Pseudomonas aeruginosa*. **Chemical Biology & Drug Design**, v. 74, p. 33-42, 2009. DOI: [10.1111/j.1747-0285.2009.00825.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-0285.2009.00825.x).

LAMARRE, S.; FRASSE, P.; ZOUINE, M.; LABOURDETTE, D.; SAINDERICHIN, E.; HU, G.; LE BERRE-ANTON, V.; BOUZAYEN, M.; MAZA, E. Optimization of an RNA-Seq differential gene expression analysis depending on biological replicate number and library size. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, article 108, Feb 2018. DOI: [10.3389/fpls.2018.00108](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00108).

LEE, E.; HELT, G. A.; REESE, J. T.; MUNOZ-TORRES, M. C.; CHILDERS, C. P.; BUELS, R. M.; STEIN, L.; HOLMES, I.H.; ELSIK, C.G.; LEWIS, S.E. Web Apollo: a web-based genomic annotation editing platform. **Genome Biology**, v. 14, n. 8, article number R93, Aug 2013. DOI: [10.1186/gb-2013-14-8-r93](https://doi.org/10.1186/gb-2013-14-8-r93).

LI, B.; DEWEY, C. N. RSEM: accurate transcript quantification from RNA-Seq data with or without a reference genome. **BMC Bioinformatics**, v. 12, n. 1, article number 323, Aug 2011. DOI: [10.1186/1471-2105-12-323](https://doi.org/10.1186/1471-2105-12-323).

MILLMAN, K. J.; AIVAZIS, M. Python for scientists and engineers. **Computing in Science & Engineering**, v. 13, n. 2, p. 9-12, Mar 2011. DOI: [10.1109/MCSE.2011.36](https://doi.org/10.1109/MCSE.2011.36).

MUNGALL, C. J.; EMMERT, D. B. A Chado case study: an ontology-based modular schema for representing genome-associated biological information. **Bioinformatics**, v. 23, n. 13, p. i337-i346, July 2007. DOI: [10.1093/bioinformatics/btm189](https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btm189).

NAPIER, J. A.; HASLAM, R. P.; TSALAVOUTA, M.; SAYANOVA, O. The challenges of delivering genetically modified crops with nutritional enhancement traits. **Nature Plants**, v. 5, n. 6, p. 563-567, June 2019. DOI: [10.1038/s41477-019-0430-z](https://doi.org/10.1038/s41477-019-0430-z).

PALATNIK-DE-SOUSA, C. B.; SOARES, I. da S.; ROSA, D. S. Epitope discovery and synthetic vaccine design. **Frontiers in Immunology**, v. 9, p. 826, 2018. DOI: [10.3389/fimm.2018.01826](https://doi.org/10.3389/fimm.2018.01826).

PRADO, J. R.; SEGERS, G.; VOELKER, T.; CARSON, D.; DOBERT, R.; PHILLIPS, J.; COOK, K.; CORNEJO, C.; MONKEN, J.; GRAPES, L.; REYNOLDS, T.; MARTINO-CATT, S. Genetically engineered crops: from idea to product. **Annual Reviews of Plant Biology**, v. 65, n. 1, p. 769-790, Apr 2014. DOI: [10.1146/annurev-arplant-050213-040039](https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-040039).

QUEVILLON, E.; SILVENTOINEN, V.; PILLAI, S.; HARTE, N.; MULDER, N.; APWEILER, R.; LOPEZ, R. InterProScan: protein domains identifier. **Nucleic Acids Research**, v. 33, p. W116-W120, July 2005. Issue suppl\_2. DOI: [10.1093/nar/gki442](https://doi.org/10.1093/nar/gki442).

R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 7 maio 2020.

RAPPUOLI, R. Reverse vaccinology. **Current Opinion in Microbiology**, v. 3, n. 5, p. 445-450, Oct 2000. DOI: [10.1016/s1369-5274\(00\)00119-3](https://doi.org/10.1016/s1369-5274(00)00119-3).

RAPPUOLI, R.; COVACCI, A. Reverse vaccinology and genomics. **Science**, v. 302, n. 5645, p. 602, Oct 2003. DOI: [10.1126/science.1092329](https://doi.org/10.1126/science.1092329).

ROBINSON, M. D.; MCCARTHY, D. J.; SMYTH, G. K. edgeR: a bioconductor package for differential expression analysis of digital gene expression data. **Bioinformatics**, v. 26, n. 1, p. 139-140, Jan 2010. DOI: [10.1093/bioinformatics/btp616](https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btp616).

SCHWABER, K. **Agile project management with scrum**. United States: Microsoft Press, 2004. 163 p.

SEPPEY, M.; MANNI, M.; ZDOBNOV, E. M. BUSCO: assessing genome assembly and annotation completeness. In: KOLLMAR, M. (ed.). Gene prediction. New York: Humana, 2019. p. 227-245. (Methods in molecular biology, v. 1962). DOI: [10.1007/978-1-4939-9173-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9173-0_14).

SKINNER, M. E.; UZILOV, A. V.; STEIN, L. D.; MUNGALL, C. J.; HOLMES, I. H. JBrowse: a next-generation genome browser. **Genome Research**, v. 19, n. 9, p. 1630-1638, 2009. DOI: [10.1101/gr.094607.109](https://doi.org/10.1101/gr.094607.109).

SPOOR, S.; CHENG, C. H.; SANDERSON, L. A.; CONDON, B.; ALMSAEED, A.; CHEN, M.; BRETAUDEAU, A.; RASCHE, H.; JUNG, S.; MAIN, D.; BETT, K.; STATON, M.; WEGRZYN, J. L.; FELTUS, F. A.; FICKLIN, S. P. Tripal v3: an ontology-based toolkit for construction of FAIR biological community databases. **Database**, v. 2019, 2019. DOI: [10.1093/database/baz077](https://doi.org/10.1093/database/baz077).

STEIN, L. D.; MUNGALL, C.; SHU, S.; CAUDY, M.; MANGONE M.; DAY, A.; NICKERSON, E.; STAJICH, J. E.; HARRIS, T. W.; ARVA, A.; LEWIS, S. The generic genome browser: a building block for a model organism system database. **Genome Research**, n. 516, p. 1599-1610, 2002. DOI: [10.1101/gr.403602](https://doi.org/10.1101/gr.403602).

THE UNIPROT CONSORTIUM. UniProt: a worldwide hub of protein knowledge. **Nucleic Acids Research**, v. 47, p. D506-D515, Jan 2019. Issue D1. DOI: [10.1093/nar/gky1049](https://doi.org/10.1093/nar/gky1049).

TRIMGALORE-GITHUB. Disponível em: <https://github.com/FelixKrueger/TrimGalore>. Acesso em: 7 maio 2020.

WIKIPEDIA. **List of RNA-Seq bioinformatics tools**. 2020. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_RNA-Seq\\_bioinformatics\\_tools](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_RNA-Seq_bioinformatics_tools). Acesso em: 07 maio 2020.

VERNIKOS, G. S. Genome watch: overtake in reverse gear. **Nature Reviews Microbiology**, v. 6, n. 5, p. 334-335, 2008. DOI: [10.1038/nrmicro1898](https://doi.org/10.1038/nrmicro1898).

VIEIRA, F. D. **Sistema Bife de Qualidade**. Versão 1.6. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2012a. 1 CD-ROM.

VIEIRA, F. D. **Sistema Suínos**. Versão 1.1. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2012b. 1 CD-ROM.



# 11 Genômica aplicada às mudanças climáticas: biotecnologia para a agricultura digital

Juliana Erika de Carvalho Teixeira Yassitepe  
Ricardo Augusto Dante  
Isabel Rodrigues Gerhardt  
Fernanda Rausch Fernandes  
Rafael Soares Correa de Souza  
Jaderson Silveira Leite Armanhi  
Viviane Cristina Heinzen da Silva  
Ana Paula Ribeiro  
Márcio José da Silva  
Paulo Arruda

## 1 Introdução

Mudanças climáticas, causadas principalmente pelo aumento crescente na temperatura atmosférica global, têm sido observadas frequentemente em várias regiões do mundo. Os cenários climáticos projetados para as próximas décadas evidenciam aumentos na frequência e na intensidade de eventos extremos, como longos períodos de calor e seca, precipitações pesadas, inundações, entre outros (Mbow et al., 2019). A produção de alimentos nas regiões tropicais, subtropicais e semiáridas, como as que ocorrem na América do Sul, na Ásia e na África, está particularmente em risco. Entre 1981 e 2010, reduções na produtividade média mundial de milho, trigo e soja de 4,1, 1,8 e 4,5%, respectivamente, foram atribuídas às mudanças no clima especialmente nessas regiões (Iizumi; Ramankutty, 2016). Impactos na produção de frutas, verduras e animais também estão previstos para esses mesmos ambientes.



As variações no clima colocam em risco a segurança alimentar mundial não apenas por reduzir a produção e a disponibilidade de alimentos. O clima afeta vários processos biológicos importantes para o crescimento e o desenvolvimento de plantas e animais, e mudanças nesses mecanismos podem alterar taxas de crescimento e reprodução, além da qualidade e do teor de nutrientes (Damatta et al., 2010; Lara; Rostagno, 2013). Reduções na oferta e na qualidade de alimentos podem impactar os consumidores globalmente, mas impactará especialmente os de menor renda – até cerca de 183 milhões de pessoas poderão passar fome nos cenários de mudanças climáticas projetados (Mbow et al., 2019).

A resposta aos cenários atuais e futuros de mudanças no clima requer duas abordagens possíveis e necessárias, mitigação e adaptação. A aplicação de melhores práticas agrícolas e o desenvolvimento de variedades mais adaptadas e tolerantes a essa nova realidade no clima são estratégias de adaptação imprescindíveis e urgentes para o aumento sustentável da produção agrícola nas próximas décadas. Tolerância aumentada às altas temperaturas e aos longos períodos de restrição hídrica, especialmente nas fases mais sensíveis do ciclo de desenvolvimento da cultura, são critérios de seleção que devem ser aplicados nos programas de melhoramento para o desenvolvimento das novas cultivares. Ferramentas de biotecnologia, como marcadores moleculares, edição gênica, transgenia e microbioma, e técnicas de fenotipagem mais precisas e em larga escala podem e devem ser empregadas visando acelerar a disponibilização de genótipos adaptados às condições regionais específicas modificadas pelas alterações recentes no clima.

A redução no financiamento público de programas de melhoramento tem sido observada em todo o mundo em relação às empresas do setor privado, apesar da importância incontestável do papel da pesquisa pública na produção agrícola e na segurança alimentar, principalmente em cenários de médio e longo prazo (Alson et al., 2009). Esse declínio vem acompanhado de práticas de proteção da Propriedade Intelectual (PI) e do aumento em investimentos privados, principalmente por empresas do setor de sementes, que após uma série de aquisições e fusões, resultaram em maior concentração de participação no mercado mundial e no domínio tecnológico (Ray et al., 2015; Gutiérrez et al., 2014; Concentration..., 2018). Até meados da década de 1990, a participação das empresas nacionais, incluindo a Embrapa, nos mercados brasileiros de sementes de soja e milho foi de 70% e 30% (Silva et al., 2015). Com a criação das Leis de Patentes (1996) e de Proteção de Cultivares (1997), as multinacionais de biotecnologia introduziram maciçamente sementes proprietárias com características biotecnológicas no mercado brasileiro (Castro et al., 2006). Por não realizarem investimento em desenvolvimento tecnológico na mesma escala, a participação das empresas públicas no mercado de sementes foi reduzida a menos de 10% (Silva et al., 2015).

Com altos investimentos e capacidade de inovação, essas grandes empresas multinacionais conseguem desenvolver, continuamente, através de *pipelines* de pesquisa e desenvolvimento que integram melhoramento e biotecnologia, novas cultivares com modificações genéticas específicas, que incorporam caracteres como resistência a herbicidas e pragas e, mais recentemente, tolerância a seca (Eisenstein, 2013; Rippey, 2015). *Pipeline* é o processo sequencial de fases de pesquisa e desenvolvimento em que tecnologias transitam, em linhas gerais, desde a descoberta, passando pela validação, otimização e, por fim, o lançamento comercial. Como *pipelines* funcionam em fluxo contínuo, em qualquer dado momento, diferentes tecnologias encontram-se em fases diversas de maturação tecnológica ao longo de seu desenvolvimento. Muitos desses caracteres biotecnológicos são também combinados em uma mesma cultivar, ou mesmo licenciados para empresas concorrentes. No entanto, por desenvolverem quase que exclusivamente as novas características biotecnológicas nos países de origem, onde estão localizados seus centros de pesquisa e desenvolvimento, o máximo desempenho dessas tecnologias não é conseguido nos mercados consumidores globais, onde as novas descobertas são incorporadas ou adaptadas aos programas locais de pesquisa e desenvolvimento. É estratégico para o setor agrícola brasileiro, responsável por um quarto do Produto Interno Bruto (PIB), que instituições públicas e privadas nacionais fortaleçam sua produção científica e tecnológica para contribuir com o desenvolvimento nacional de tecnologias e variedades apropriadas às nossas demandas.

Reconhecida por seu notável histórico de melhoramento de culturas agrícolas, ampla rede de locais de testes e recursos humanos qualificados e multidisciplinares, atualmente a operação de um *pipeline* de biotecnologia pela Embrapa está apenas emergindo como resposta às demandas para propiciar novas pesquisas em biotecnologia visando desenvolver variedades adaptadas às novas e complexas condições impostas pelas mudanças climáticas. Essa iniciativa requer financiamento de longo prazo, abordagens e parcerias interdisciplinares altamente coordenadas, muitas vezes entre empresas públicas e privadas. Parcerias público-privadas têm sido bem-sucedidas na descoberta, no desenvolvimento e na comercialização de características biotecnológicas. As multinacionais Bayer, BASF, Corteva e Syngenta e seus respectivos parceiros públicos e privados têm desenvolvido cultivares incorporando caracteres biotecnológicos cada vez mais avançados. Em dois casos, genes introduzidos por engenharia genética foram capazes de aumentar os rendimentos de grãos de milho em entre 15% e 120% sob forte estresse hídrico em uma ampla gama de locais testados (Castiglioni et al., 2008; Nuccio et al., 2015). Cultivares de culturas economicamente importantes, geradas por edição gênica, já estão entrando no mercado americano de sementes. No início de 2019, cultivares de soja com alto teor de ácido oleico, geradas pelo sistema TALEN (*Transcription activator-like effector nucleases*), foram liberadas para uso comercial. Também

em 2019, híbridos de milho com alto teor de amilopectina, gerada através de CRISPR-Cas9, estavam na fase de pré-lançamento, com perspectivas de estarem disponíveis em 2020 (Kim; Kim, 2019; Gao et al., 2020). Do mesmo modo, é esperada a melhoria de caracteres de resistência à seca através de CRISPR-Cas9 (Shi et al., 2016). No Brasil, iniciativas similares para implementar *pipelines* de biotecnologia agrícola são incipientes, tanto no setor público como no privado, principalmente as que englobam a fase inicial de descoberta de novos genes de importância biotecnológica.

No fim de 2017, uma parceria entre a Embrapa, a Unicamp e a Fapesp criou o Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (*Genomics for Climate Change Research Center - GCCRC*), unindo competências das duas primeiras instituições em biotecnologia agrícola. O Centro tem como missão desenvolver, ao longo de 10 anos, ativos biotecnológicos que aumentem a tolerância de plantas à seca e ao calor, além de transferir as tecnologias desenvolvidas ao setor produtivo. Os ativos biotecnológicos em desenvolvimento podem se encaixar em diferentes estratégias de proteção intelectual, que equilibram a captura de valor e o acesso à tecnologia. Estes incluem (mas não estão limitados a) genes, alelos e construções gênicas – os quais podem ser adequadamente desenvolvidos em caracteres por terceiros –, inoculantes microbianos, comunidades sintéticas de microrganismos, novas tecnologias de suporte como métodos e elementos reguladores de expressão gênica, além de know-how regulatório e patentário.

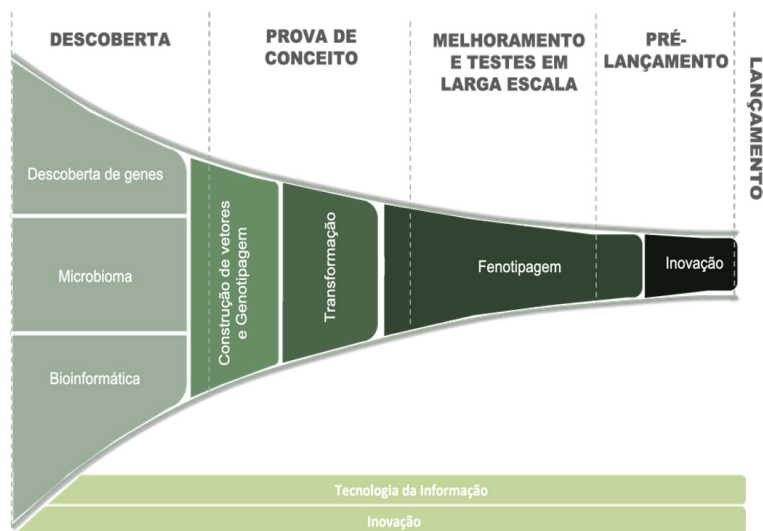
O GCCRC é a consolidação e a expansão da Unidade Mista de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (UMiP GenClima), acordo de cooperação técnica-científica entre a Embrapa e a Unicamp celebrado no final de 2012. O GCCRC é composto por pesquisadores e analistas de ambas as instituições, e as atividades são organizadas em processos, na forma de um *pipeline* comparável e em menor escala que o das grandes empresas de biotecnologia. Parceiros nacionais e internacionais, públicos e privados, contribuem com a equipe do GCCRC para atingir sua missão.

No cenário da transformação digital, o uso de biotecnologia integrada com as tecnologias da informação e da comunicação, por meio do uso de ferramentas computacionais em seu *pipeline* de pesquisa, sensores e câmeras para monitoramento e captura de dados, além de modelos matemáticos e análises estatísticas para estudo do grande volume de dados gerado pelas ciências “ômicas”, vão propiciar o avanço da pesquisa no melhoramento genético de plantas. O GCCRC contribui com a implantação da agricultura digital no Brasil por meio de suas pesquisas em biotecnologia e biologia molecular que, na fase de pré-produção, permitirão o desenvolvimento de novos ativos biotecnológicos para o agronegócio. Neste capítulo será apresentado o *pipeline* de pesquisa do GCCRC, mostrando as etapas envolvidas na geração desses ativos biotecnológicos e ilustrando como as tecnologias digitais auxiliam na obtenção dos resultados das pesquisas.

## 2 O *pipeline* de pesquisa do GCCRC

As atividades principais de pesquisa do GCCRC são executadas através de um *pipeline* de pesquisa e desenvolvimento em biotecnologia que abrange desde a fase de descoberta até a fase de prova de conceito em condições de campo (Figura 1). A espécie escolhida como alvo dos trabalhos de pesquisa foi o milho, uma das mais importantes culturas agrícolas no Brasil e no mundo e que possui ampla disponibilidade de recursos genéticos e genômicos.

**Figura 1.**  
Etapas do *pipeline*  
de pesquisa  
do GCCRC.<sup>1</sup>



O *pipeline* de pesquisa possui cinco fases, das quais as três primeiras concentram a maior parte dos esforços da equipe exclusivamente dedicada ao Centro:

- 1) Descoberta: quando novos genes e microrganismos são identificados e, após análise da propriedade intelectual e de biossegurança, indicados para introdução no *pipeline*.
- 2) Prova de conceito: construções gênicas e inoculantes são elaborados, plantas transgênicas e editadas são geradas, e os primeiros testes, em condições de ambiente controlado (câmaras de crescimento e casa de vegetação) e em pequena escala no campo, são realizados para observação inicial de eficácia das estratégias.

<sup>1</sup> Elaborada por Paula Malloy Mota Diniz.

As fases subsequentes são realizadas em parceria com outras organizações via colaboração e/ou licenciamentos, a saber:

- 3) Melhoria e Testes em larga escala: transgenes, alelos editados e/ou inoculantes descobertos e selecionados na etapa anterior são testados em experimentos de campo de maior escala, em vários locais e diferentes épocas. Eventos promissores são introgridos em linhagens elites de milho.
- 4) Pré-lançamento: cultivares comerciais contendo as tecnologias são desenvolvidas.
- 5) Lançamento: as tecnologias desenvolvidas pelo centro são lançadas no mercado agrícola.

Para que a operação do *pipeline* de pesquisa seja realizada de forma efetiva, uma infraestrutura dedicada às suas atividades foi construída. A estrutura física é composta por um laboratório de biologia molecular (Figura 2), um laboratório de transformação genética de plantas (Figura 3), um laboratório de fenotipagem em condições de ambiente controlado (em construção) e uma moderna casa de vegetação (Figura 4). O laboratório de biologia molecular abriga todas as atividades da etapa de descoberta e grande parte do time de pesquisa (Figura 2). O laboratório de transformação genética de plantas é equipado com uma infraestrutura completa para transformação de milho, incluindo duas câmaras de crescimento desenhadas para regeneração e aclimação de plantas transformadas (Figura 3). Uma moderna casa de vegetação foi construída para cultivo de milho para produção de embriões (explantes usados na transformação genética), cultivo de eventos transgênicos e editados gerados no *pipeline*, avanço de gerações, introgressões em material elite, testes de inoculantes e experimentos iniciais de triagem em ambientes controlados. Essa estrutura possui cinco ambientes com controle de temperatura e suplementação de luz com lâmpadas LED e um viveiro telado para acomodar outras espécies em estudo. Todos os ambientes possuem acesso à internet, e as condições ambientais são monitoradas constantemente (Figura 4).



Fotos: Ana Paula Ribeiro

**Figura 2.** Laboratório de Biologia Molecular. Entrada do laboratório (A); Sala de reuniões (B); Vista interna das bancadas de trabalho e escritório (C) e (D).



**Figura 3.**

Laboratório de Transformação Genética de Plantas. Vista externa do laboratório (A); Vista interna do laboratório (B) e (C); Sala de regeneração de plantas (D); Sala de aclimação de plantas (E).



Fotos: Ana Paula Ribeiro

**Figura 4.**

Casa de Vegetação. Vista frontal da casa de vegetação (A); Plantas crescendo na casa de vegetação (B) e (C); Plantas crescendo com suplementação de iluminação LED (D); Vista noturna externa da casa de vegetação (E).



Fotos: Juliana Erika de Carvalho Teixeira Yassitepe

Todas as rotinas e os processos da *pipeline* são registrados em um sistema de gerenciamento integrado de laboratório (*Laboratory Integrated Management System – LIMS*), garantindo que as informações sejam armazenadas, gerenciadas e rastreadas corretamente, principalmente para fins de propriedade intelectual, biossegurança e integridade de dados e procedimentos (registro de atividades, rotinas, protocolos, relatórios, documentos relacionados, etc).



## 2.1 Descoberta de genes e microrganismos

A fase de descoberta é fundamentada em duas frentes focadas na identificação e na caracterização de novos (i.e., pouco ou nada estudados) genes candidatos e microrganismos com potencial biotecnológico para promoção de aumento de tolerância a estresses. Ambas as frentes são estruturadas, em grande medida, em abordagens multidisciplinares para exploração de diversidade de espécies vegetais agrícolas e selvagens, com especial foco naquelas adaptadas a condições ambientais limitantes caracterizadas pela incidência de um ou vários estresses. Essas abordagens demandam uso intensivo de ferramentas bioinformáticas e computacionais, em decorrência da análise de grandes volumes de dados produzidos pelas tecnologias de ciências genômicas e relacionadas (transcritômica, metabolômica e metagenômica) utilizadas.

As mudanças climáticas globais, em associação aos crescimentos populacional e de concorrência por terras, farão a produção de alimentos e bioenergia ser deslocada crescentemente para ambientes marginais (Backlund et al., 2008; Ornella et al., 2012). Esses ambientes são caracterizados por um ou mais estresses abióticos, como níveis subótimos de temperatura (calor ou frio) e de disponibilidade hídrica (seca ou inundação), propriedades físicas desfavoráveis do solo e disponibilidade muito baixa de nutrientes, que impõem limitações à produtividade (Belaid; Morris, 1991). Portanto, o desafio imposto pelas mudanças climáticas globais requer o desenvolvimento de novos genótipos agrícolas adaptados e mais produtivos em ambientes propensos a estresses, os quais naturalmente limitam o crescimento vegetal. Assim, a compreensão da adaptação de espécies vegetais a ambientes limitantes, utilizando uma série de mudanças morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares em resposta a estresses que afetam negativamente o crescimento e a produtividade, pode contribuir para moldar a produção alimentar e bioenergética global nas próximas décadas. Investigar espécies selvagens (não só aquelas evolutivamente próximas, mas também as distantes das espécies cultivadas) proporciona conhecimento para guiar o desenvolvimento de novos genótipos capazes de prosperar em ambientes marginais (Mccouch et al., 2013). Entre essas espécies estão as extremófilas e as tolerantes à dessecação.

Organismos extremófilos habitam ambientes severamente limitantes, como aqueles caracterizados por extremos térmicos, de disponibilidade de água ou de nutrientes e alta salinidade, estresses que ocorrem isolada ou simultaneamente (Oh et al., 2012). Por sua vez, as espécies tolerantes à dessecação podem sobreviver a períodos longos e/ou severos de seca, suportando níveis dramaticamente baixos de teor relativo de água nos tecidos vegetativos (Bartels; Hussain, 2011). Conjuntos de dados derivados de abordagens “ômicas” dessas espécies são um recurso crescente para a descoberta de novas características genéticas, cujo emprego biotecnológico pode contribuir para a adaptação a estresses abióticos. Muitas dessas características são exclusivas

de espécies individuais (ou um pequeno grupo de espécies relacionadas) ou pertencem a famílias de genes presentes em muitas espécies de plantas que se diversificaram funcionalmente através de duplicação e seleção adaptativa (Gollery et al., 2006; Horan et al., 2008). Particularmente, os genes de função ora desconhecida representam 20-40% dos genes de cada novo genoma sequenciado, constituindo a maioria das diferenças espécie-específicas (Gollery et al., 2006, 2007), e, potencialmente, são associados a mecanismos adaptativos, incluindo tolerância a estresses (Mittler; Blumwald, 2010).

A família Velloziaceae de angiospermas é a que contém mais espécies tolerantes à dessecação (aproximadamente 200 de suas 270 espécies). Mais de 80% das espécies de Velloziaceae ocorrem na América do Sul, onde é encontrada também a maior diversidade morfológica. O maior gênero, *Vellozia*, compreende espécies tanto tolerantes quanto sensíveis à dessecação, oferecendo um excelente modelo para estudar a evolução dos caracteres de tolerância à dessecação e à seca. *V. nivea* e *V. intermedia*, espécies respectivamente tolerantes e sensíveis à dessecação, são ambas tolerantes à seca, endêmicas dos campos rupestres brasileiros e altamente adaptadas às suas condições extremas. Esses ambientes são caracterizados por uma estação seca prolongada, tipicamente entre o final do outono e o início da primavera, alta radiação solar e solos rochosos, pouco profundos e pobres em nutrientes, particularmente fósforo. Ao contrário da maioria das espécies-modelo de plantas, as quais se originam de ambientes onde nitrogênio é o principal nutriente limitante, o gênero *Vellozia* evoluiu em um ambiente onde fósforo é o nutriente mais limitante, tornando-se um modelo valioso para culturas cultivadas em solos tropicais, nos quais a baixíssima disponibilidade desse mineral impera. O grupo vem explorando genomas, transcritomas e metabolomas de *V. nivea* e *V. intermedia*, além de outras espécies de Velloziaceae. O conhecimento decorrente ajudará na identificação de genes e vias subjacentes à adaptação dessas espécies aos seus ambientes limitantes, auxiliando na geração de futuros genótipos agrícolas com capacidade aumentada de produção em ambientes marginais.

A sobrevivência das plantas a condições estressantes envolve uma combinação de mecanismos adaptativos que vão além da contribuição exclusiva de seus genomas (Rodriguez et al., 2008; Lau; Lennon, 2012). Microrganismos associados aos tecidos vegetais cumprem papel na adaptação das plantas a estresses bióticos e abióticos e desempenham um papel fundamental na plasticidade fenotípica vegetal (Woodward et al., 2012; Coleman-Derr; Tringe, 2014). Além disso, avanços recentes têm mostrado a existência de uma comunidade microbiana inexplorada com impacto significativo nos seus hospedeiros (Bulgarelli et al., 2013; Souza et al., 2016). Esses achados tornam a pesquisa de microbiomas uma importante fonte de recursos genéticos e

biológicos para uso biotecnológico na melhoria da adaptação de plantas a condições estressantes.

Tradicionalmente, a pesquisa em microrganismos associados às plantas é fundamentada em técnicas dependentes de cultivo, que se baseiam no isolamento e no cultivo de microrganismos. Porém, o uso restrito dessas metodologias de cultivo pode enviesar a amostragem da microbiota, uma vez que apenas os microrganismos capazes de crescer nos meios de cultivo são amostrados. Além disso, essas metodologias não trazem informações a respeito da real abundância ou da contribuição funcional real do isolado em seu habitat de origem. Mais recentemente, ferramentas de sequenciamento em larga escala permitiram o acesso à diversidade microbiana de forma independente de cultivo, possibilitando o mapeamento mais preciso do perfil filogenético e funcional da microbiota associada às plantas. Porém, apesar das técnicas de sequenciamento elucidarem questões vitais do microbioma associado às plantas, o isolamento de microrganismos ainda é necessário para aplicações biotecnológicas. No entanto, mesmo que sejam complementares, ambas as estratégias raramente são utilizadas em conjunto.

Diferentemente das abordagens tradicionais, o *pipeline* de investigação em microbioma faz uso das técnicas dependentes e independentes de cultivo de forma concomitante. O uso das ferramentas de investigação genômica traz informações a respeito de diversidade, padrões de colonização e funções desempenhadas pela microbiota em associação com a planta. Esses dados permitem identificar os microrganismos mais eficientes na associação com plantas e na promoção do crescimento vegetal. Com base nessas informações, são desenhadas comunidades microbianas sintéticas utilizando a coleção de microrganismos isolados (Armanhi et al., 2018). As comunidades sintéticas são validadas em experimentos de inoculação para avaliação da capacidade de aumentar a tolerância a estresses e manter a produtividade das plantas mesmo em condições desfavoráveis.

De maneira complementar e sinérgica à exploração de espécies vegetais dos campos rupestres, essa abordagem vem sendo aplicada no *pipeline* para investigar as estratégias pelas quais os microrganismos contribuem para a sobrevivência vegetal nas condições estressantes desses habitats. Isso se baseia no pressuposto de que as comunidades microbianas associadas a espécies vegetais que evoluíram em ambientes historicamente expostos à seca e à escassez nutricional são mais propensas a promover tolerância a esses estresses na planta do que os microrganismos originados em ambientes onde esses recursos não são limitantes (Rodriguez et al., 2008; Redman et al., 2011; Lau; Lennon, 2012). Esses estudos estão em andamento e vêm permitindo o mapeamento da composição, da abundância e da diversidade de comunidades bacterianas e fúngicas associadas com plantas nativas adaptadas a ambientes limitantes; criação de uma coleção abrangente de microrganismos associados

a essas espécies; a investigação das interações de plantas e microrganismos relacionados ao crescimento de plantas sob condições estressantes; e a análise ampla dos genomas dos microbiomas (metagenomas, produzidos a partir de DNA recuperado diretamente das amostras) em busca de funções gênicas relacionadas à tolerância a estresses.

Os microbiomas associados a Velloziaceae e outras espécies dos campos rupestres não haviam sido caracterizados até recentemente. Um primeiro estudo realizado pelo GCCRC, o *Joint Genome Institute* (JGI, EUA) e outros parceiros descreve a identificação de grande diversidade e novidade bacteriana e fúngica nos microbiomas de duas Velloziaceae endêmicas que habitam solo e rocha em campos rupestres na Serra do Cipó (MG) (Camargo et al., 2019). A diversidade e a abundância microbianas nos compartimentos epifíticos (externo) e endofíticos (interno) de raízes, caules, folhas e substratos foram avaliadas por sequenciamento de marcadores moleculares. Também se sequenciaram os metagenomas de raízes e substratos de cada espécie. Os resultados compõem os primeiros bancos de dados de microbiomas associados a espécies de Velloziaceae endêmicas dos campos rupestres. Esses achados subsidiarão significativamente a descoberta de novos microrganismos e, conseqüentemente, a potencial obtenção de novos inoculantes.

## 2.2 Prova de conceito

A etapa de prova de conceito envolve desde o desenho das construções gênicas que serão inseridas nas plantas de milho para desenvolvimento de eventos transgênicos ou editados e o preparo de inoculantes microbianos até o teste das tecnologias desenvolvidas em ambientes controlados e, em pequena escala, no campo.

Após a definição das construções gênicas contendo genes candidatos e sequências reguladoras, as equipes de Construção de vetores e Genotipagem, conforme mostrado na Figura 1, constroem os vetores e iniciam a fase de validação das moléculas de DNA recombinante, usando sequenciamento e outras ferramentas de biologia molecular. Uma vez disponibilizadas as construções gênicas validadas, a equipe de Transformação é acionada para realizar a transformação genética da espécie-alvo, o milho. A equipe de Transformação realiza transformação de milho usando protocolos otimizados localmente e genótipos de milho adequados. A plataforma de transformação foi projetada para transformar rotineiramente embriões imaturos, usando semanalmente as construções de genes fornecidas pelas equipes de Construção de vetores e Genotipagem. A equipe de Transformação está constantemente aperfeiçoando os protocolos de transformação de milho por meio de parcerias estabelecidas com parceiros nacionais e internacionais. Alternativamente, para estratégias baseadas em genes candidatos (ou seus genes relacionados) que são identificados em milho, métodos de edição gênica estão sendo utilizados

para realizar modificações específicas. Essa abordagem tem sido utilizada paralelamente, visando à obtenção de ativos biotecnológicos. As plantas regeneradas são avaliadas quanto ao número de cópias e ao nível de expressão, e as plantas editadas são avaliadas quanto à presença do alelo editado por meio de sequenciamento. Uma vez confirmada a transformação ou edição gênica, as plantas são consideradas eventos de transgênicos e editados, respectivamente, e são posteriormente transferidas à casa de vegetação para cruzamento (ou autofecundação) e fenotipagem pela equipe de Fenotipagem.

Microrganismos com potencial função na tolerância de plantas a estresses abióticos descobertos pela equipe de Descoberta são organizados em comunidades microbianas sintéticas. Inoculantes compreendendo diferentes combinações de microrganismos e/ou comunidades microbianas são preparados e utilizados nos experimentos para validação de sua eficácia, realizada pela equipe de Fenotipagem a partir da avaliação de sua capacidade em promover tolerância de plantas às condições abióticas.

A avaliação fenotípica das plantas é uma das fases mais importantes em qualquer programa de desenvolvimento de cultivares, pois definirá quais genótipos serão eliminados e quais prosseguirão para as etapas seguintes. Em *pipelines* de biotecnologia, essa fase é ainda mais importante, principalmente para caracteres de tolerância a estresses abióticos, como estresse hídrico e calor. Essas são características complexas, e muitas vezes o efeito do transgene, do alelo editado e/ou do inoculante conferindo tolerância poderá ser significativo, mas difícil de ser separado do efeito do *background* genético da planta. Em um *pipeline* em que centenas de transgenes, alelos editados e/ou inoculantes e milhares de plantas devem ser avaliadas, um procedimento de seleção rápido e confiável é necessário para eliminar descobertas pouco promissoras. Os instrumentos convencionalmente usados na rotina dos laboratórios para avaliar a condição fisiológica das plantas são confiáveis, mas muitas vezes requerem amostragens destrutivas, além de permitirem apenas avaliações pontuais. Instrumentos adequados para uma avaliação fenotípica contínua e em tempo real permitem avaliar mais detalhadamente a resposta fisiológica das plantas às variáveis ambientais e aos tratamentos sendo aplicados e podem fornecer informações adicionais com potencial de melhorar o entendimento da resposta fenotípica. Várias tecnologias não invasivas e não destrutivas emergiram no âmbito da fenotipagem de plantas nos últimos anos, entre elas a espectroscopia, a fluorescência, a termografia e a captura de imagem digital. Essas novas tecnologias estão sendo empregadas para incrementar a quantidade, a qualidade e a pluralidade dos caracteres medidos e permitir, com o apoio de análises estatísticas modernas, a distinção de efeitos fenotípicos.

Na maioria dos *pipelines* de biotecnologia, a avaliação de eventos transgênicos, editados e/ou inoculantes microbianos é realizada em três etapas: 1) Triagem inicial, realizada em câmara de crescimento e/ou casa de vegetação;

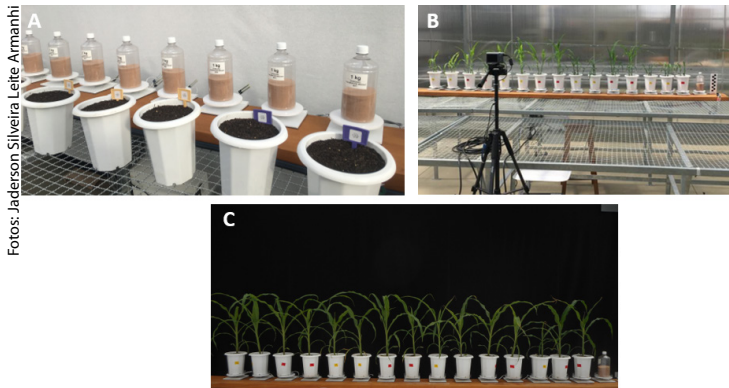
2) Caracterização detalhada, em casa de vegetação; e 3) Fenotipagem, realizada em experimentação no campo. Os ambientes controlados, como câmaras de crescimento e casa de vegetação, contam com plataforma de fenômica de baixo custo, que utiliza sensores e câmaras para monitorar os ambientes e as respostas das plantas aos tratamentos aplicados. Na fase de triagem inicial, as plantas são avaliadas quanto à sua resistência a estresses a ciclos curtos de calor e seca, durante o estágio vegetativo. Os caracteres são medidos em partes aéreas e raízes de plântulas, de acordo com o efeito esperado do evento ou do inoculante testado. Na fase de caracterização detalhada, as plantas são avaliadas durante todo o ciclo de desenvolvimento, incluindo estágio reprodutivo e produção de grãos. Várias avaliações biométricas e fisiológicas são realizadas em diferentes momentos do desenvolvimento, e os eventos promissores são avaliados quanto ao número de cópias, os níveis de expressão, os perfis proteicos e metabólicos, entre outros, para caracterizar e compreender o efeito do gene/construção e dos microrganismos aplicados à planta.

A plataforma de fenômica de baixo custo desenvolvida no Centro conta com sensores e câmeras fotográficas que acompanham, continuamente e em tempo real, a resposta fenotípica das plantas (Armanhi, 2018). Microcontroladores *Raspberry Pi* e *Arduino* controlam automaticamente as leituras dos sensores que monitoram o ambiente (intensidade luminosa, umidade relativa do ar e temperatura) e a resposta individual das plantas (temperatura foliar, umidade do substrato e perda de água do sistema vaso-planta). Além dos parâmetros registrados, outros podem ser obtidos de forma indireta, como o déficit de pressão de vapor (*vapor-pressure deficit*, *VPD*), parâmetro que indica a propensão da planta a perder água para o ambiente, e a evapotranspiração, através da perda de água do sistema vaso-planta. Os dados registrados são estatisticamente tratados, armazenados e enviados para um servidor local. Um *website* desenvolvido internamente possibilita a visualização gráfica de todos os parâmetros mencionados em tempo real.

Os microcomputadores também controlam automaticamente câmeras fotográficas, que registram as plantas em diferentes ângulos, na frequência desejada, e enviam as imagens para o servidor local. Toda a série temporal de imagens é acessada remotamente, sendo utilizada para avaliações biométricas das plantas através de *softwares* disponíveis para análise de imagens. As imagens também podem ser utilizadas para construção de vídeos *time-lapse*, úteis na visualização da resposta contínua ao longo do tempo, além de permitir a observação de pequenas variações ao longo do dia, como o movimento de expansão e enrolamento das folhas em resposta às variações na intensidade luminosa e na temperatura do ambiente, por exemplo.

A Figura 5 ilustra alguns aspectos da plataforma de fenômica instalada na casa de vegetação. Balanças são utilizadas para monitorar o peso do vaso ao longo do experimento (Figura 5A). Antes do início de cada experimento,



**Figura 5.**

Alguns aspectos da plataforma de fenômica instalada na casa de vegetação. Balanças e sensores instalados para o monitoramento contínuo do peso do sistema vaso-planta e da umidade do solo/substrato (A); Câmera fotográfica instalada para registrar continuamente o crescimento das plantas (B); Plantas de milho monitoradas continuamente em experimentos realizados (C).

uma calibração das balanças é realizada para verificar seu funcionamento e a qualidade das medidas. Uma câmera fotográfica é instalada para registrar o crescimento das plantas em tempo real (Figura 5B). Câmeras e sensores instalados nas plantas, no vaso e no ambiente monitoram constantemente o peso do sistema vaso-planta, a umidade do solo/substrato, a temperatura foliar, além da temperatura, a umidade relativa e a intensidade luminosa do ambiente (Figura 5C).

Após as fases de avaliações em ambientes controlados, eventos e inoculantes promissores são selecionados com base no aumento da resistência aos estresses de seca e calor (por exemplo, maior taxa de crescimento, menor temperatura foliar, menor perda de água, maior eficiência fotossintética, entre outros) em comparação com plantas controle, e passam para a fase de avaliação no campo.

Na fase de fenotipagem em campo, os eventos testados são avaliados em experimentos com restrição hídrica, na fase reprodutiva, em ao menos três ambientes e duas épocas diferentes. Características agrônômicas e produção de grãos são avaliadas. Eventos que demonstrarem superioridade em relação aos controles, em mais de um local e época, são selecionados e seguem para as próximas etapas do *pipeline*, em que otimizações de construções, introgressão em germoplasma elite e testes em larga escala são realizados.

### 2.3 Melhoramento, testes em larga escala, pré-lançamento e lançamento

As etapas do *pipeline* de pesquisa posteriores à prova de conceito são realizadas em parceria com instituições públicas e privadas que mostrarem interesse em avançar no desenvolvimento das tecnologias geradas para posterior comercialização.

Após a fase de prova de conceito, um transgene, alelo editado e/ou inoculante microbiano que mostrou efeito superior em campo, na tolerância a seca e calor, quando comparado aos tratamentos controles, poderá ser explorado

em *pipelines* de desenvolvimento de produtos. Genes e alelos editados podem ser incorporados em programas de melhoramento como fonte adicional de variabilidade para tolerância a estresses abióticos. Testes em larga escala, em vários locais e anos, devem ser realizados como parte da rotina de seleção de genótipos superiores nos programas de melhoramento, podendo indicar o potencial de ganhos que a introdução do gene ou alelo editado poderá gerar em novas cultivares. A equipe trabalha conjuntamente com parceiros para garantir uma ótima avaliação dos eventos desenvolvidos pelo centro, seguindo todas as normas de biossegurança exigidas.

Do mesmo modo, inoculantes microbianos que apresentarem performance superior em testes de campo em prova de conceito devem ser investigados em testes ampliados, principalmente para avaliar os efeitos da interação genótipo x inoculante e o desempenho em diferentes locais e épocas. Além de eficácia agronômica, o processo de desenvolvimento de um inoculante comercial envolve uma série de testes visando identificar a melhor formulação, a dose a ser aplicada, as condições de aplicação e armazenamento, entre outros, seguindo as recomendações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

A equipe de inovação desenvolverá ações para: (i) colaboração e prospecção de parcerias; (ii) avaliação de tecnologias; (iii) mapeamento e monitoramento dos mercados potenciais de nossas tecnologias. Todas essas atividades são incorporadas ao Plano Estratégico, que funciona como uma diretriz para o *pipeline* e compõe a vitrine de tecnologias. Nesse ponto, o estabelecimento de parcerias com empresas privadas pode fornecer informações e demandas para orientar o desenvolvimento de soluções tecnológicas aplicáveis, em alinhamento com as demandas do mercado, e facilitar a transferência em futuros negócios.

A transferência de tecnologia deve considerar a concepção de novos modelos comerciais, que justifiquem a exploração do mercado das tecnologias em novas variedades e/ou híbridos de diversas culturas. Alguns desses modelos podem considerar licenças e benefícios de exploração comercial que contemplem investimentos feitos pelo licenciado em processos de regulamentação e administração e desenvolvimento de produtos, uma vez que o objetivo é o avanço das tecnologias à fase de prova de conceito.

### 3 Considerações Finais

O GCCRC tem como alvo de pesquisa a cultura do milho, mas as tecnologias desenvolvidas poderão potencialmente ser transferidas para demais culturas agrícolas. O GCCRC construiu uma infraestrutura moderna para atender às demandas do *pipeline*, com novas casas de vegetação e

laboratórios de transformação de plantas, biologia molecular, bioinformática e fenotipagem. Esse último, em particular, possui tecnologia que incorpora diversos sensores de baixo custo e alta precisão e sistemas de informação, desenvolvida localmente para a coleta de grande número de dados fenotípicos em tempo real. Os primeiros resultados científicos e tecnológicos já estão sendo alcançados. Genes inexplorados e ora de função desconhecida, associados a respostas a estresses abióticos, foram descobertos, e os primeiros estão em fase de prova de conceito em milho e em testes de campo em cana-de-açúcar. A equipe já domina a tecnologia de edição gênica em milho, e plantas editadas estão sendo geradas de forma contínua. Comunidades microbianas sintéticas compostas por microrganismos benéficos, que aumentam o rendimento de milho em condições estressantes, foram descobertas e testadas em condições controladas e no campo. Recentes esforços no sequenciamento e na montagem dos genomas e microbiomas de plantas dos campos rupestres abrem um caminho novo a ser explorado, em busca de novos genes e microrganismos adaptados a ambientes hídrica e nutricionalmente limitantes. Seguindo o racional de *pipeline*, novos genes e microrganismos estão continuamente sendo descobertos e testados.

As pesquisas desenvolvidas no âmbito do GCCRC vão promover a implantação da agricultura digital, uma vez que propiciarão o desenvolvimento de novas cultivares, com modificações genéticas que incorporam características de tolerância a seca e outros estresses, contribuindo para que o país seja capaz de aumentar sua produtividade de forma sustentável, com economia de recursos naturais.

## 4 Referências

ALSON J. M.; BEDDOW, J. M.; PARDEY, P. G. Agricultural research, productivity, and food prices in the long run. **Science**, v. 325, n. 5945, p. 1209-1210, Sept. 2009. DOI: [10.1126/science.1170451](https://doi.org/10.1126/science.1170451).

ARMANHI, J. S. L. **Construção de uma comunidade sintética bacteriana promotora do crescimento vegetal oriunda do microbioma de cana-de-açúcar**. 2018. 148 f. Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas.

ARMANHI, J. S. L.; SOUZA, R. S. C.; DAMASCENO, N. B.; ARAÚJO, L. M.; IMPERIAL, J.; ARRUDA, P. A. Community-based culture collection for targeting novel plant growth-promoting bacteria from the sugarcane microbiome. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, article 2191, 2018. DOI: [10.3389/fpls.2017.02191](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02191).

BACKLUND, P.; JANETOS, A.; SCHIMEL, D. **The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States**: synthesis and assessment product: report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Washington, DC: Environmental Protection Agency, Climate Change Science Program, 2008. 240 p. and the Subcommittee on Global Change Research.

BARTELS, D.; HUSSAIN, S. Resurrection plants: physiology and molecular biology. In: LÜTTGE, U.; BECK, E.; BARTELS, D. (ed.). **Plant desiccation tolerance**. Berlin: Springer, 2011. p. 339-364. (Ecological studies. Analysis and synthesis, v. 215). DOI: [10.1007/978-3-642-19106-0\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-19106-0_16).

BELAID, A.; MORRIS, M. L. **Wheat and barley production in rainfed marginal environments of West Asia and North Africa**: problems and prospects. Mexico, D.F.: CIMMYT, 1991. (CIMMYT economics working paper 91/02).

BULGARELLI, D.; SCHLAEPPI, K.; SPAEPEN, S.; VAN THEMAAT E. V. L.; SCHULZE-LEFERT, P. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. **Annual Review in Plant Biology**, v. 64, p. 807-838, 2013. DOI: [10.1146/annurev-arplant-050312-120106](https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120106).

CAMARGO, A. P.; SOUZA, R. S. C.; DE BRITTO COSTA, P.; GERHARDT, I. R.; DANTE, R. A.; TEODORO, G. S.; ABRAHAO, A.; LAMBERS, H.; CARAZZOLLE, M. F.; HUNTEMANN, M.; CLUM, A.; FOSTER, B.; FOSTER, B.; ROUX, S.; PALANIAPPAN, K.; VARGHESE, N.; MUKHERJEE, S.; REDDY, T. B. K.; DAUM, C.; COPELAND, A.; CHEN, I. A.; IVANOVA, N. N.; KYRPIDES, N. C.; PENNACCHIO, C.; ELOE-FADROSH, E. A.; ARRUDA, P.; OLIVEIRA, R. S. Microbiomes of Velloziaceae from phosphorus-impooverished soils of the campos rupestres, a biodiversity hotspot. **Scientific Data**, v. 6, article number 140, p. 1-11, 2019. DOI: [10.1038/s41597-019-0141-3](https://doi.org/10.1038/s41597-019-0141-3).

CASTIGLIONI, P.; WARNER, D.; BENSEN, R.J.; ANSTROM, D. C.; HARRISON, J.; STOECKER, M.; ABAD, M.; KUMAR, G.; SLAVADOR, S.; D'ORDINE, R.; NAVARRO, S.; BACK, S.; FERNANDES, M.; TARGOLLI, J.; DASGUPTA, S.; BONIN, C.; LUETHY, M. H.; HEARD, J. E. Bacterial RNA chaperones confer abiotic stress tolerance in plants and improved grain yield in maize under water-limited conditions. **Plant Physiology**, v. 147, p. 446-455, 2008. DOI: [10.1104/pp.108.118828](https://doi.org/10.1104/pp.108.118828).

CASTRO, A. M. G. de; LIMA, S. M. V.; LOPES, M. A.; MACHADO, M. dos S.; MARTINS, M. A. G. **O futuro do melhoramento genético vegetal no Brasil**: impactos da biotecnologia e dos direitos de proteção do conhecimento. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa-Secretaria de Pesquisa e Desenvolvimento, 2006. 506 p.

COLEMAN-DERR, D.; TRINGE, S. G. Building the crops of tomorrow: advantages of symbiont-based approaches to improving abiotic stress tolerance. **Frontiers in Microbiology**, v. 5, article 283, 2014. DOI: [10.3389/fmicb.2014.00283](https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00283).

CONCENTRATION in seed markets: potential effects and policy responses. Paris: OECD Publishing, 2018. 236 p. DOI: [10.1787/9789264308367-en](https://doi.org/10.1787/9789264308367-en).

DAMATTA, F. M.; GRANDIS, A.; ARENQUE, C. C.; BUCKERIDGE, M. S. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1814-1823, Aug 2010. DOI: [10.1016/j.foodres.2009.11.001](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.11.001).

EISENSTEIN, M. Discovery in a dry spell. **Nature**, v. 501, p. S7-S9, Sept 2013. DOI: [10.1038/50157a](https://doi.org/10.1038/50157a).

GAO, H.; GADLLAGE, M. J.; LATIFFE, H. R.; LENDERTS, B.; YANG, M.; SCHRODER, M.; FARRELL, H.; SNOPEK, K.; PETERSON, D.; FEIGENBUTZ, L.; JONES, S.; CLAIR, G. S.; RAHE, M.; SANYOUR-DOYEL, N.; PENG, C.; WANG, L.; YOUNG, J. K.; BEATTY, M.; DAHLKE, B.; HAZEBROEK, J.; GREENE, T. W.; CIGAN, A. M.; CHILCOAT, N. D.; MEELEY, R. B. Superior field performance of waxy corn engineered using CRISPR-Cas9. **Nature Biotechnology**, v. 38, p. 579-581, 2020. DOI: [10.1038/s41587-020-0444-0](https://doi.org/10.1038/s41587-020-0444-0).

GOLLERY, M.; HARPER, J.; CUSHMAN, J.; MITTLER, T.; GIRKE, T.; ZHU, J. K.; BAILEY-SERRES, J.; MITTLER, R. What makes species unique? The contribution of proteins with obscure features. **Genome Biology**, v. 7, article R57, 2006. DOI: [10.1186/gb-2006-7-7-r57](https://doi.org/10.1186/gb-2006-7-7-r57).

GOLLERY, M.; HARPER, J.; CUSHMAN, J.; MITTLER, T.; MITTLER, R. POFs: what we don't know can hurt us. **Trends in Plant Science**, v. 12, n. 11, p. 492-496, Nov 2007. DOI: [10.1016/j.tplants.2007.08.018](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.08.018).

GUTIÉRREZ, A. P.; ENGLE, N. E.; DE NYS, E.; MOLEJÓN, C.; MARTINS, E. S. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 95-106, June 2014. DOI: [10.1016/j.wace.2013.12.001](https://doi.org/10.1016/j.wace.2013.12.001).

HORAN, K.; JANG, C.; BAILEY-SERRES, J.; MITTLER, R.; SHELTON, C.; HARPER, J.F.; ZHU, J. K.; CUSHMAN, J. C.; GOLLERY, M.; GIRKE, T. Annotating genes of known and unknown function by large-scale coexpression analysis. **Plant Physiology**, v. 147, p. 41-57, 2008. DOI: [10.1104/pp.108.117366](https://doi.org/10.1104/pp.108.117366).

IIZUMI, T.; RAMANKUTTY, N. Changes in yield variability of major crops for 1981–2010 explained by climate change. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 3, article 034003, 2016. DOI: [10.1088/1748-9326/11/3/034003](https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/3/034003).

KIM, J.; KIM, J. New era of precision plant breeding using genome editing. **Plant Biotechnology Reports**, v. 13, p. 419-421, 2019. DOI: [10.1007/s11816-019-00581-w](https://doi.org/10.1007/s11816-019-00581-w).

LARA, L.; ROSTAGNO, M. Impact of heat stress on poultry production. **Animals**, v. 3, p. 356-369, 2013. DOI: [10.3390/ani3020356](https://doi.org/10.3390/ani3020356).

LAU, J. A.; LENNON, J. T. Rapid responses of soil microorganisms improve plant fitness in novel environments. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, v. 109, p. 14058-14062, 2012. DOI: [10.1073/pnas.1202319109](https://doi.org/10.1073/pnas.1202319109).

MBOW, C. C.; ROSENZWEIG, L. G.; BARIONI, T. G.; BENTON, M.; HERRERO, M.; KRISHNAPILLAI, E.; LIWENGA, P.; PRADHAN, M. G.; RIVERA-FERRE, T.; SAPKOTA, F. N.; TUBIELLO, Y. XU. Food security. In: SHUKLA, P. R.; SKEA, J.; BUENDIA, E. C.; MASSON-DELMOTTE, V.; PÖRTNER, H. O.; ROBERTS, D. C.; ZHAI, P.; SLADE, R.; CONNORS, S.; VAN DIEMEN, R.; FERRAT, M.; HAUGHEY, E.; LUZ, S.; NEOGI, S.; PATHAK, M.; PETZOLD, J.; PEREIRA, J. P.; VYAS, P.; HUNTLEY, E.; KISSICK, K.; BELKACEMI, M.; MALLEY, J. (ed.). **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. [S.l.]: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019. p. 437-550. In press.

MCCOUCH, S.; BAUTE, G. J.; BRADEEN, J.; BRAMEL, P.; BRETTING, P. K.; BUCKLER, E.; BURKE, J. M.; CHAREST, D. C.; CLOUTIER, S.; COLE, G.; DEMPEWOLF, H.; DINGKUHN, M.; FEUILLET, C.; GEPTS, P.; GRATTAPAGLIA, D.; GUARINO, L.; JACKSON, S.; KNAPP, S.; LANGRIDGE, P.; LAWTON-RAUH, A.; LIJUA, Q.; LUSTY, C.; MICHAEL, T.; MYLES, S.; NAITO, K.; NELSON, R. L.; PONTAROLLO, R.; RICHARDS, C. M.; RIESEBERG, L.; ROSS-IBARRA, J.; ROUNSLEY, S.; HAMILTON, R. S.; SCHURR, U.; STEIN, N.; TOMOOKA, N.; KNAAP, E. VAN DER; TASSEL, D. VAN; TOLL, J.; VALLS, J.; VARSHNEY, R. K.; WARD, J.; WAUGH, R.; WENZL, P.; ZAMIR, D. Feeding the future. **Nature**, v. 499, p. 23-24, July 2013. DOI: [10.1038/499023a](https://doi.org/10.1038/499023a).

MITTLER, R.; BLUMWALD, E. Genetic engineering for modern agriculture: challenges and perspectives. **Annual Review of Plant Biology**, v. 61, p. 443-462, 2010. DOI: [10.1146/annurev-arplant-042809-112116](https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112116).

NUCCIO, M. L.; WU, J.; MOWERS, R.; ZHOU, H. P.; MEGHJI, M.; PRIMAVESI, L. F.; PAUL, M. J.; CHEN, X.; GAO, Y.; HAQUE, E.; BASUL, S. S.; LAGRIMINI, L. M. Expression of trehalose-6-phosphate phosphatase in maize ears improves yield in well-watered and drought conditions. **Nature Biotechnology**, v. 33, p. 862-869, 2015. DOI: [10.1038/nbt.3277](https://doi.org/10.1038/nbt.3277).

OH, D.-H.; DASSANAYAKE, M.; BOHNERT, H. J.; CHEESEMAN, J. M. Life at the extreme: lessons from the genome. **Genome Biology**, v. 13, article number 2747, 2012. DOI: [10.1186/gb4003](https://doi.org/10.1186/gb4003).

ORNELLA, L.; CERVIGNI, G.; TAPIA, E. Applications of machine learning for maize breeding for stress. In: VENKATESWARLU, B.; SHANKER, A. K.; SHANKER, C.; MAHESWARI, M. (ed.). **Crop stress and its management: perspectives and strategies**. Netherlands: Springer Netherlands, 2012. p. 163-192. DOI: [10.1007/978-94-007-2220-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2220-0_5).

RAY, D. K.; GERBER, J. S.; MACDONALD, G. K.; WEST, P.C. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature Communication**, v. 6, article number 5989, p. 1-9, 2015. DOI: [10.1038/ncomms6989](https://doi.org/10.1038/ncomms6989).

REDMAN, R. S.; KIM, Y. O.; WOODWARD, C. J. D.; GREER, C.; ESPINO, L.; DOTY, S. L.; RODRIGUEZ, R. J. Increased fitness of rice plants to abiotic stress via habitat adapted symbiosis: a strategy for mitigating impacts of climate change. **PLoS One**, v. 6, issue 7, e14823, 2011. DOI: [10.1371/journal.pone.0014823](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014823).

RIPPEY, B. R. The U.S. drought of 2012. **Weather and Climate Extremes**, v. 10, part A, p. 57-64, Dec 2015. DOI: [10.1016/j.wace.2015.10.004](https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.004).

RODRIGUEZ, R. J.; HENSON, J.; VAN VOLKENBURGH, E.; HOY, M.; WRIGHT, L.; BECKWITH, F.; KIM, Y.-O.; REDMAN, R. S. Stress tolerance in plants via habitat-adapted symbiosis. **The ISME Journal**, v. 2, p. 404-416, 2008. DOI: [10.1038/ismej.2007.106](https://doi.org/10.1038/ismej.2007.106).

SHI, J.; GAO, H.; WANG, H.; LAFITTE, W. H.; ARCHIBALD, R. L.; YANG, M.; HAKIMI, S. M.; MO, H.; HABBEN, J. E. ARGOS8 variants generated by CRISPR-Cas9 improve maize grain yield under field drought stress conditions. **Plant Biotechnology Journal**, v. 15, p. 207-216, July 2016. DOI: [10.1111/pbi.12603](https://doi.org/10.1111/pbi.12603).

SILVA, F. F.; BRAGA, M. J.; GARCIA, J. C. Concentração nos mercados de sementes de milho, soja e algodão: uma abordagem ECD. **Agroalimentaria**, v. 21, p. 133-150, 2015.

SOUZA, R. S. C.; OKURA, V. K.; ARMANHI, J. S. L.; JORRÍN, B.; LOZANO, N.; DA SILVA, M. J.; GONZÁLEZ-GUERRERO, M.; ARAÚJO, L. M.; VERZA, N. C.; BAGHERI, H. C.; IMPERIAL, J.; ARRUDA, P. Unlocking the bacterial and fungal communities assemblages of sugarcane microbiome. **Scientific Reports**, v. 6, article number 28774, June 2016. DOI: [10.1038/srep28774](https://doi.org/10.1038/srep28774).

WOODWARD, C.; HANSEN, L.; BECKWITH, F.; REDMAN, R. S.; RODRIGUEZ, R. J. Symbiogenics: an epigenetic approach to mitigating impacts of climate change on plants. **HortScience**, v. 47, n. 6, p. 699-703, June 2012. DOI: [10.21273/HORTSCI.47.6.699](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.6.699).





# **Ecosistema de inovação e perspectivas futuras**

**PARTE**  
**3**



# 12 Ecosistema de inovação em agricultura: evolução e contribuições da Embrapa

Luciana Alvim Santos Romani

Martha Delphino Bambini

Joice Machado Bariani

Debora Pignatai Drucker

André Fachini Minitti

Adriana Farah

Vinícius Milléo Kuromoto

Guiomar Alessandra de Souza Telles

Ricardo Araújo

Cleidson Nogueira Dias

Breno Silva Beda de Assunção

Shalon Silva Souza

Ariovaldo Luchiarini Júnior

Carlos Alberto Alves Meira

## 1 Introdução

A questão da transformação digital no campo enfrenta vários desafios, e na visão de Simões et al. (2017, p. 52), “um modelo de agricultura digital, adaptada e barateada com o uso de tecnologia nacional, pode ser a grande revolução no campo, uma vez que pequenos agricultores a grandes produtores de grãos buscam inovar, tornando suas lavouras mais eficientes e sustentáveis”.

O conceito de inovação aberta reflete bem o cenário de colaboração, grande chave para atuar em um contexto tão dinâmico quanto o da inovação digital (Chesborough et al., 2003), no qual o conhecimento, a experiência e as capacidades estão dispersos entre várias organizações. Gomes et al. (2018)

consideram a perspectiva de criação conjunta de valor em um ecossistema de inovação, com processos de cooperação e competição.

O trabalho de Teixeira et al. (2017) destaca que a atuação em ecossistemas de inovação envolve a reciprocidade entre atores públicos e privados (incluindo desde corporações até *startups* tecnológicas), organizações de apoio à geração de empreendimentos (como incubadoras, aceleradoras de empresas, associações, *coworkings*, *hubs* de inovação), investidores, serviços como o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) e organizações de apoio ao empreendedorismo como a Endeavor.

O conceito de “ecossistema” foi desenvolvido na década de 1930, com o objetivo de criar uma nomenclatura mais clara e simples para os sistemas biológicos no campo da ecologia (Golley, 1991), sendo utilizado, posteriormente, em outros campos de estudo. Bambini e Bonacelli (2019) destacam outros usos do termo “ecossistema” nas ciências sociais, fazendo referência ao ambiente empreendedor. Algumas abordagens ressaltam o ecossistema empreendedor desenvolvido no entorno de grandes universidades (Fetters et al., 2010), enquanto outras enfatizam o protagonismo dos empreendedores em influenciar seu ecossistema (Feld, 2012). A abordagem de Malecki (2018) considera que o empreendedor é um ator central de um ecossistema de inovação, sempre de forma integrada a outras organizações e instituições igualmente importantes, atuando com interdependência e complementaridade.

Uma das raízes do conceito de ecossistema de inovação é justamente a abordagem sistêmica da inovação (Suominen et al., 2019), desenvolvida no início dos anos 1990 por autores como Lundvall (1992) e Nelson (1993), que consideram que a inovação é o resultado de relacionamentos estabelecidos entre vários atores para produzir, difundir e implementar novos conhecimentos, economicamente úteis, no âmbito de uma nação.

A abordagem de sistemas de inovação difundiu-se rapidamente no ambiente acadêmico, também em perspectivas regional e setorial (Edquist, 2006). O foco de sistemas setoriais de inovação considera as especificidades de cada setor econômico em relação aos processos de inovação, a partir de suas fontes de conhecimento científico e oportunidades tecnológicas, campos de pesquisa envolvidos, atores, relacionamentos, atuação das instituições e políticas, mercado, entre outros (Malerba, 2006).

A análise dos processos inovativos na agropecuária vem sendo desenvolvida com foco sistêmico e, mais recentemente, também sob a abordagem de ecossistema de inovação, conforme Pigford et al. (2018). A distinção dessa abordagem é o fato de que os atores do ecossistema interagem entre si e com o ecossistema como um todo, criando um valor que não seria gerado sem os relacionamentos e a complementaridade de outros atores envolvidos. O conceito de ecossistema está associado a um ambiente compartilhado de evolução para a criação de valor e inovação, com diferenças de papéis e competências,

marcado pelo compartilhamento e pelo fortalecimento mútuo das capacidades dinâmicas dos atores participantes (Teece, 2009; Suominen et al., 2019).

Várias categorias de atores estão envolvidas com a inovação agrícola, a saber: a) produtores agropecuários; b) sistema educacional e de capacitação; c) sistema de pesquisa agropecuária; d) organismos de fomento à pesquisa e inovação; e) agências de crédito; f) sistema de extensão rural e assistência técnica; g) empresas fornecedoras de insumos, equipamentos e serviços; h) organizações de produtores e de empresas; i) agroprocessadores; j) exportadores; k) instituições governamentais; e l) consumidores finais (Rajalahti, 2012). Fazem parte ainda os chamados “Mecanismos de Geração de Empreendimentos”, como incubadoras de empresas, aceleradoras, *coworkings* e laboratórios abertos (Audy; Piqué, 2016), e, com papel central, as *startups* de base tecnológica agropecuária, chamadas *AgTechs*, *Agritechs* ou *Agrifoodtechs* (AgFunder, 2020). Entende-se que as *AgTechs* têm mais agilidade, conhecimento e ousadia para fazer chegar as novas tecnologias ao campo, uma vez que possuem um modus operandi e uma mentalidade mais ágeis e disruptivas (Cook, 2020).

Nesse novo contexto inovativo, a Embrapa Informática Agropecuária, unidade de pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), atuando em tecnologias digitais, tem sido contatada por empresas de diversos segmentos, com destaque para tecnologia da informação, seguro bancário, tecnologias da comunicação, investidores e aceleradoras, e também por Organizações Não Governamentais (ONGs). Pesquisadores da Embrapa Informática Agropecuária vêm oferecendo mentoria técnica em vários programas para desenvolvimento de *startups*, fortalecendo as empresas e o capital humano do setor.

Este capítulo relata a atuação da Embrapa Informática Agropecuária no sentido de fortalecer o ecossistema de inovação agrícola brasileiro. A próxima seção descreve as características do contexto brasileiro e as ações desenvolvidas pela Embrapa em âmbito nacional. A seção 3 detalha iniciativas desenvolvidas no estado de São Paulo, tendo em vista o tipo de ator envolvido e a forma de relacionamento estabelecida. Na seção 4, descreve-se a iniciativa AgroAPI, exemplo de modelo inovador de parceria público-privada para agricultura digital. Ao final do capítulo são apresentadas as considerações finais.

## 2 Histórico de atuação da Embrapa em ecossistemas de inovação agrícola

### 2.1 Ecossistema de inovação agrícola no Brasil: atores, recursos e diferenças regionais

A geografia econômica é um campo que busca entender a dinâmica e a competitividade, analisando a aglomeração espacial da atividade econômica como

uma fonte de benefícios crescentes. Feldman e Kogler (2010) apontam que a inovação está geograficamente concentrada, existindo diferenças entre os locais em função de suas capacidades e configuração para inovação, definida por processos históricos, cumulativos e evolucionários desenvolvidos ao longo do tempo. A perspectiva evolucionária<sup>1</sup> da geografia econômica considera também a influência dos eventos históricos, sejam eles próximos ou remotos, aleatórios ou não, sobre a trajetória e os resultados das mudanças econômicas que ocorrem ao longo do tempo (Davi, 1985; Arthur, 1994).

O trabalho de Sotarauta (2004) analisa as capacidades de cada região de utilizar e criar recursos, desenvolvendo um modelo estratégico de desenvolvimento regional, baseado em capacidades dinâmicas, um conceito estabelecido originalmente por Teece et al. (1997) para entender os processos de aquisição de novas vantagens competitivas por parte da firma, inserida em ambientes de rápida mudança.

As *startups* de base tecnológica agrícola – *AgTechs* – têm um papel central na oferta e na disseminação de tecnologias e inovações para os produtores, utilizando-se de novos modelos de negócios, e na interação com instituições de ensino, centros de pesquisa, investidores, grandes corporações e outras organizações de apoio à inovação.

Bambini e Bonacelli (2019) identificaram várias organizações brasileiras com papel relevante para a inovação agrícola que possuem capilaridade nacional: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae); Sistema Senai-Sesi-IEL, formado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), o Serviço Social da Indústria (Sesi) e o Instituto Euvaldo Lodi (IEL); Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia; Unidades de Pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), com forte influência regional; Serviço Nacional de Aprendizagem Rural; e a Rede de Extensão Rural Pública, vinculada aos governos estaduais e presente em todo o País.

Oliveira Júnior. et al. (2019) destacam que tanto o empreendedorismo de base tecnológica quanto os ambientes de inovação e as universidades de ponta brasileiras estão localizados nas regiões Sudeste e Sul do País, mais industrializadas e responsáveis por cerca de 75% do Produto Interno Bruto brasileiro (PIB). A Tabela 1 corrobora essa informação, a partir da análise dos relatórios recentes sobre a distribuição de ambientes de inovação, como parques tecnológicos, e de mecanismos de geração de empreendimentos, conforme a definição de Audy e Piqué (2016).

---

<sup>1</sup> A economia evolucionária, desenvolvida na década de 1980, a partir dos trabalhos seminais de Nelson e Winter (1977, 1982), foi adotada pela geografia econômica para entender melhor a geografia do progresso técnico; a dinâmica da vantagem competitiva; a reestruturação econômica; e o crescimento econômico, segundo Boschma e Martin (2010).

**Tabela 1.**

Presença percentual de Parques Tecnológicos, Mecanismos Geradores de Novos Empreendimentos e *AgTechs* nas regiões brasileiras.

Fonte: Associação Nacional de Entidades Promotoras de Empreendimentos Inovadores (2019), Brasil (2019) e Dias et al. (2019).

Região	Parques Tecnológicos (%)	Incubadoras (%)	Aceleradoras (%)	<i>AgTechs</i> (%)
Centro-Oeste	9,7	10,7	6,9	6,5
Nordeste	8,7	16,8	12	3,4
Norte	5,8	8,5	1,7	1,1
Sudeste	39,9	36,4	57	66
Sul	35,9	27,6	22,4	23

A Tabela 2 apresenta as principais cidades que concentram *AgTechs* no Brasil, totalizando 55% delas. As cidades paulistas elencadas representam 36,4% das *AgTechs* mapeadas. Essa concentração corresponde à nova região dinâmica do estado de São Paulo, identificada por Marighetti e Sposito (2009). O estado de São Paulo concentra 58% das *startups* mapeadas por Dias et al. (2019).

**Tabela 2.**

Principais cidades brasileiras em localização de *AgTech*

Fonte: Dias et al. (2019).

	Cidade	Quantidade	UF	Participação percentual (%)	Percentual acumulado (%)
1	São Paulo	262	SP	23,3	23,3
2	Piracicaba	41	SP	3,6	26,9
3	Campinas	38	SP	3,4	30,3
4	Ribeirão Preto	37	SP	3,3	33,6
5	Curitiba	36	PR	3,2	36,8
6	Rio de Janeiro	35	RJ	3,1	39,9
7	Porto Alegre	29	RS	2,6	42,5
8	Belo Horizonte	24	MG	2,1	44,6
9	Florianópolis	21	SC	1,9	46,5
10	Uberlândia	19	MG	1,7	48,2
11	Goiânia	17	GO	1,5	49,7
12	São José Dos Campos	17	SP	1,5	51,2
13	Londrina	15	PR	1,3	52,5
14	Campo Grande	14	MS	1,2	53,8
15	São Carlos	14	SP	1,2	55,0



Em termos de recursos e capacidades de inovação, destacam-se as regiões de Campinas, São José dos Campos, São Carlos e Ribeirão Preto como polos de desenvolvimento relacionados a Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e Telecomunicações. Em relação às ciências agrárias, um estudo recente identificou 154 instituições paulistas atuando nesse campo, entre unidades de pesquisa agrícola (50%), faculdades públicas (30%), faculdades de tecnologia (15%) e faculdades particulares (7%), estando 30% dessas instituições concentradas nas cidades de Campinas, Piracicaba e São Paulo (Firetti et al., 2016).

A cidade de São Paulo concentra 23% das *AgTechs*. Apesar de ser uma grande metrópole urbana, a concentração de *startups* de base tecnológica agrária justifica-se pelos recursos e capacidades de inovação oferecidos pela capital do estado, considerada o maior centro de inovação e empreendedorismo da América Latina. A cultura de *startups* e empreendedorismo da capital está em grande emergência, conforme Oliveira Júnior et al. (2019). O Ranking dos ecossistemas de *startups* de 2019 (StartupBlink, 2019) classificou a cidade de São Paulo como o 23º ecossistema de *startups* do mundo, o único da América Latina classificado na lista dos 25 ecossistemas mais relevantes, considerando-se quantidade de *startups*, qualidade do ecossistema e ambiente de negócios. A Tabela 3 apresenta uma classificação internacional dos ecossistemas empreendedores a partir da pesquisa de StartupBlink (2019).

Os Estados Unidos têm destaque nesse ranking com vários ecossistemas relevantes. O País é um importante produtor agropecuário, e o setor agrega mais de dois milhões de empresas, gerando importante faturamento e cerca

Classificação	País
1	Estados Unidos
2	Reino Unido
3	Canadá
4	Israel
5	Austrália
6	Holanda
7	Suécia
8	Suíça
9	Alemanha
10	Espanha

**Tabela 3.** Ranking dos Ecossistemas de *Startups* de 2019  
 Fonte: StartupBlink (2019)

de 11% dos empregos do País (Australian Trade and Investment Commission, 2018). Os Land Grant Colleges tiveram o papel de atuar junto às comunidades, desenvolvendo novas tecnologias agropecuárias com estações experimentais e serviços de extensão rural. Lyons et al. (2018) consideram que a transferência de tecnologias geradas nas universidades e o compartilhamento de recursos, como serviços de extensão e estações experimentais, podem contribuir para desenvolver as oportunidades identificadas junto a empreendedores *AgTech*, além de apoiar a captação de investimentos.

Os Estados Unidos são responsáveis por 35% do volume de investimentos em novos empreendimentos (*Venture Capital*) para o setor *AgTech*, de acordo com AgFunder (2020). O relatório de Austrade (Australian Trade and Investment Commission, 2018) destaca os seguintes estados americanos como importantes clusters *AgTech*: a) Califórnia (CA); b) North Carolina (NC); c) Missouri (MI); d) Colorado (CO); e f) Illinois (IL). O documento cita ainda clusters emergentes: Minnesota (MN); Indiana (IN); Wisconsin (WI).

Vale destacar, na Califórnia, o ecossistema de Salinas, cidade localizada no Condado de Monterey, na costa Central do estado, a aproximadamente 100 km do Vale do Silício. A cidade atua como um importante *hub* econômico na região, que tem uma indústria agrícola relevante tanto em termos de produção (com horticultura, produção de morangos e vinhos) quanto da presença de grandes empreendimentos de produção agrícola (Myrick; Deloffre, 2017). Os recursos estabelecidos na localidade para sustentar esse projeto foram: a) um programa de aceleração de *startups*; b) uma incubadora de empresas, com espaços de trabalho e colaboração, bem como iniciativas de pesquisa aplicada a casos reais; c) programas de incentivo a jovens empreendedores; e d) parcerias entre as escolas de ensino médio da região para fortalecer a formação dos jovens.

Outro país de destaque em inovação agrícola é o Reino Unido, o quarto em investimentos de risco em *AgTechs*, segundo AgFunder (2020). O ecossistema de inovação britânico atrai muitos empreendedores e investidores e responde por 45% do investimento de risco europeu no setor de *AgTech* (AgFunder, 2019). Outra região importante em termos de investimento de risco *AgTech* é Israel, o 5º país em recursos investidos (AgFunder, 2020). Conhecida como a “nação *startup*”, Israel é um centro global de inovação com uma cultura baseada em capacidades interdisciplinares, habilidades tecnológicas e espírito empreendedor (Israel Innovation Authority, 2019).

O Brasil vem atraindo o interesse de investidores e fomentando seu ecossistema de inovação agrícola, a partir da atuação de vários atores. Conforme identificado no estudo de Dias *et al.* (2019), o Brasil possui 1125 *startups* *AgTech* sediadas em seu território. Atuando em vários campos tecnológicos, as *startups* possuem um importante papel na disseminação de novas tecnologias para os produtores agropecuários, em especial, novas ferramentas digitais.

## 2.2 Relacionamentos estabelecidos pela Embrapa com atores do ecossistema

Com enfoque na inovação aberta, o modelo de inovação da Embrapa busca parcerias para as diversas fases de criação dos ativos tecnológicos. Dentre todos os tipos de parcerias, têm ganhado cada vez mais destaque aquelas realizadas com as *AgTechs*, empresas de tecnologia aplicadas à agricultura, em estágio inicial ou médio de maturidade. O ecossistema de *AgTechs* é considerado de fundamental importância, pois se utiliza de novos conceitos de operação, que vêm contribuindo com o desenvolvimento de soluções tecnológicas capazes de aumentar a sustentabilidade e a competitividade do agronegócio brasileiro, tais como *agile management*; *lean startup*; gamificação; equipes autogerenciáveis; entre outras.

Em diversas cadeias agropecuárias, a interação entre os atores de Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs), empresas privadas, produtores rurais e consumidores ainda é incipiente, de forma que cada elo trabalha de forma individualizada. O ideal seria que cada parte pudesse interagir com as demais, de forma que os produtores rurais e os consumidores apresentassem suas necessidades às ICTs, referentes a pesquisas tecnológicas, e também às empresas privadas, em relação à capacidade de complementar o desenvolvimento das soluções e o processo de disponibilização para o mercado produtor e/ou consumidor.

Assim, é visível que o ambiente de inovação e empreendedorismo brasileiro tem mudado rapidamente nos últimos anos, especialmente com o fortalecimento de iniciativas conjugadas entre empresas privadas, *startups*, agências de fomento e gestoras de fundos de risco (*Venture Capital*). Quando se fala em empreendedorismo e crescimento rápido de empresas intensivas em tecnologia, o Vale do Silício, na Califórnia (EUA), é a referência, e um dos pontos-chave nesse processo é a existência de fontes de financiamento de capital de risco. A alocação de recursos financeiros dessa natureza – *Venture Capital* – é imprescindível para que essas empresas possam ter condições financeiras para o trabalho nas fases iniciais do seu processo de inovação e desenvolvimento.

A aproximação de empreendedores e centros de pesquisa é potencializada com a inclusão do elo financeiro no processo de construção de empresas inovadoras. Nesse sentido, a Embrapa tem interação com empresas de *Venture Capital* no segmento de *startups* do agro (*AgriTechs*), como a Cedro Capital, SP Ventures e NTagro, de maneira que empresas com tecnologia Embrapa recebem aporte de recursos financeiros para acelerar seus negócios.

Uma das maneiras de se ampliar essa interação e fomentar os ecossistemas de inovação pode se dar por meio de ações voltadas ao desenvolvimento e ao fortalecimento de *startups*. Dentre as ações com maior impacto, temos os chamados desafios de inovação, tais como *hackathons*, *demodays*, rodadas de negócio, eventos de *matchmaking* e *bootcamps*.

Interagir com as diferentes fontes de conhecimento é condição fundamental para uma empresa inovar e incorporar novas soluções. Esse movimento em prol da inovação, da busca por tecnologias disruptivas, também chegou com intensidade na Embrapa, a qual tem acompanhado com bastante entusiasmo as iniciativas desenvolvidas pelas suas Unidades Descentralizadas (UDs) e por parceiros.

Dentre as possibilidades com as quais a Embrapa tem acessado conhecimento externo e gerado novas parcerias para implementar seu modelo de inovação aberta, podemos citar as iniciativas apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4.**

Iniciativas de Inovação aberta da Embrapa.

Fonte: Embrapa (2020b).

Nome	Objetivo
Avança Café	O Avança Café é um programa de pré-aceleração de <i>startups</i> que tem por objetivo fomentar o desenvolvimento de soluções tecnológicas para o setor cafeeiro.
Seminário Caminho das <i>Startups</i>	Seminário para discussão das oportunidades e dos desafios em São Carlos para as <i>startups</i> , com a apresentação das <i>startups</i> ligadas à Embrapa Instrumentação, a AgroRobótica e a <i>Fine Instrument Technology</i> (FIT).
Soja Open Innovation	O <i>Open Innovation Soja</i> é um edital público de seleção de <i>startups</i> com interesse no desenvolvimento de projetos de inovação aberta, tendo a Embrapa Soja como parceira técnica no desenvolvimento ou aperfeiçoamento de soluções em áreas que tenham aderência às linhas de pesquisa prioritárias indicadas no edital.
TechStart AgroDigital	O <i>TechStart Agro Digital</i> é um programa de aceleração criado pela Embrapa Informática Agropecuária e pela Venture Hub®, com apoio da Associação Nacional de Entidades Promotoras de Empreendimentos Inovadores (Anprotec), para ajudar <i>startups</i> , grandes empresas e instituições a acelerarem negócios e tecnologias para o agronegócio.
Ideas for Farm	<i>Ideas for Farm</i> é um desafio para inovação que busca soluções tecnológicas para o agronegócio brasileiro, com foco na região Meio-Norte do Brasil.
Pitch Deck AgTechs	O <i>Pitch Deck</i> é uma apresentação rápida e visual utilizada para chamar a atenção de investidores e mostrar ao público os principais diferenciais do segmento de alimentos, meio ambiente, gestão de resíduos, controle de pragas, fenotipagem e soluções para a pecuária.
Ideas for Milk	O <i>Ideas for Milk</i> é um desafio de <i>startups</i> que cria oportunidades para jovens empreendedores validarem e apresentarem suas ideias e soluções, conectando investimentos de grandes corporações que valorizam a inovação e que impulsionam a incorporação de tecnologia digital ao mundo do leite. O objetivo é aumentar o nível de inovação da cadeia do leite, elevando a eficiência desde a fazenda até a relação com o consumidor final, com respeito aos animais, ao meio ambiente e à sociedade de maneira geral.

Continua...

Nome	Objetivo
Vacathon	Um <i>hackathon</i> cujo objetivo é debater ideias para o desenvolvimento de softwares e hardwares voltados para a solução de problemas da cadeia produtiva do leite.
InovaPork	O InovaPork é o primeiro desafio de ideias na suinocultura. A proposta é fomentar a inovação de impacto na suinocultura e atrair pessoas inovadoras com ideias em qualquer estágio de maturidade, colaborando para que se tornem negócios e soluções para a cadeia produtiva de suínos.
InovaAvi	O InovaAvi é o primeiro desafio de ideias na avicultura. A proposta é fomentar a inovação de impacto na avicultura e atrair pessoas inovadoras com ideias em qualquer estágio de maturidade, colaborando para que se tornem negócios e soluções para a cadeia produtiva de aves.
Camp de Ecolnovação Agrotech	É um desafio de ideias/ <i>startups</i> voltado para a ecoinovação, promovido pela ONU Meio Ambiente, Sebrae e Embrapa, e tem como objetivo buscar soluções ecoinovadoras para o agronegócio. Na primeira edição, o desafio foi para cadeia de grãos; para a próxima edição está sendo programado o tema “desperdício de alimentos”.
Gado de Corte 4.0	O Evento Gado de Corte 4.0 foi uma ação inovadora para a cadeia do gado de corte no Brasil. A partir de demandas reais levantadas com empresas da cadeia, foi promovida uma chamada por propostas, aberta para <i>startups</i> e ICTs interessadas em trabalhar para a cadeia.
Pontes para Inovação	A chamada Pontes para Inovação é uma iniciativa desenvolvida em parceria entre Embrapa e Cedro Capital, que tem como objetivo conectar as <i>agritechs</i> com investidores, parceiros e clientes, visando permitir que elas possam ter acesso a recursos para acelerar seus negócios.
Hackathon Embrapa	O <i>Hackathon</i> Acadêmico Embrapa Nacional é um concurso destinado à participação de equipes de estudantes e egressos, com o objetivo de escolher as melhores soluções tecnológicas em desenvolvimento de aplicativos móveis, soluções de hardware, soluções em internet das coisas (IoT), peças educacionais ou jogos, com foco na inovação tecnológica de interesse agropecuário.
Agritech Semiárido	É um desafio de iniciativas de inovação com o intuito de fomentar o desenvolvimento de soluções inovadoras por meio de <i>startups</i> para problemas do agronegócio voltados para o semiárido brasileiro, promovendo mentorias com especialistas do agro, de tecnologia e de negócios e possibilitando a conexão com o setor produtivo.
Inova Agro-Brasília	Inova AgroBrasília é o primeiro desafio de soluções tecnológicas realizado pela Secretaria de Agricultura do DF, Emater-DF, Embrapa, AgroBrasília e Coopa-DF. Tem como objetivo atrair empresários, acadêmicos ou empreendedores com ideias inovadoras em qualquer estágio de maturidade e colaborar para que essas ideias se tornem negócios com potencial para solucionar problemas vivenciados pelo setor.

**Tabela 4.**  
Continuação.

Continua...

Tabela 4.  
Continuação.

Nome	Objetivo
InoveAqua	O objetivo do InoveAqua é propiciar ambiência favorável para transferir conhecimento a universitários, comunidade e profissionais das áreas contempladas, no tocante aos diversos segmentos da cadeia aquícola. Visa o desenvolvimento de competências e a promoção de inovações para o desenvolvimento da aquicultura brasileira, contribuindo para o incremento da produção e proporcionando aumento da competitividade, da sustentabilidade e da inovação na cadeia produtiva.
Horta & Escola	O objetivo desse concurso é promover uma competição entre estudantes dos ensinos fundamental, médio e técnico das escolas do Distrito Federal e cidades de Goiás do seu entorno, estimulando-os no trabalho em equipe e na criação de negócios, processos, produtos, serviços e soluções inovadoras de impacto social e econômico. Com isso, busca-se promover a prática da inovação e a difusão da cultura empreendedora.

Durante os eventos apresentados, as *startups* receberam mentorias com especialistas em agronegócio, tecnologia e negócios; tiveram oportunidades de apresentar suas ideias para representantes do setor produtivo e investidores, recebendo *feedbacks* sobre suas fortalezas e fragilidades; participaram de ações de premiação e *matchmaking* com grandes empresas do setor produtivo, *hubs* de inovação, aceleradoras e investidores de *seed* e *venture capital*.

Como resultado, tanto as *AgTechs* parceiras da Embrapa quanto empresas-chave no setor agropecuário tiveram oportunidades de crescimento e contribuíram para ampliar o efeito das tecnologias geradas por instituições no setor de pesquisa agropecuária e codesenvolvidas, adotadas ou em fase de adoção pelas empresas privadas instaladas no País. Em cada iniciativa de inovação, a Embrapa estabeleceu acordos de cooperação para o desenvolvimento de soluções e ativos tecnológicos, catalisando a inovação aberta e o retorno ao governo federal, por meio do pagamento de *royalties* ou participação nos lucros na comercialização das soluções desenvolvidas.

Considera-se que as ações de inovação aberta empreendidas pela Embrapa apoiaram o fortalecimento do ecossistema de inovação agrícola brasileiro pela interação entre empresas, universidades, institutos de pesquisa agropecuária e o setor produtivo, pela apresentação de novas soluções tecnológicas e pelo fomento ao empreendedorismo de base tecnológica agropecuária. Além disso, a empresa continua priorizando, em seu plano de negócios 2019-2023, a meta de implementar 25 iniciativas de inovação, sendo nove já realizadas em 2019.

Vale notar que as ações protagonizadas pela Embrapa foram reconhecidas no âmbito do governo federal, o que levou à inclusão de um representante da Embrapa no Comitê Nacional de Iniciativas de Apoio às *Startups*, criado pelo Decreto nº 10.122/2019, para articular as ações do Poder Executivo destinadas às empresas nascentes inovadoras.

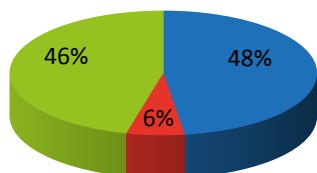


### 2.3 Relacionamentos da Embrapa Informática Agropecuária com o ecossistema de inovação

Uma das Unidades Descentralizadas da Embrapa, a Embrapa Informática Agropecuária tem como missão viabilizar soluções de pesquisa, desenvolvimento e inovação em agricultura digital, sendo fortemente demandada nos últimos cinco anos por vários atores do ecossistema de inovação em agricultura. Dessa forma, para difundir e potencializar suas iniciativas de pesquisa, desenvolvimento e inovação junto ao setor produtivo, essa Unidade de Pesquisa tradicionalmente vem estabelecendo contratos de pesquisa colaborativa com instituições de ensino e pesquisa e empresas privadas. Na Figura 1 são apresentados dois gráficos com o percentual de acordos, licenciamentos e termos de confidencialidade com instituições públicas e privadas nos últimos cinco anos. Foram assinados 44 Acordos de Cooperação Técnica com instituições públicas e foram concedidas 28 licenças de software, em especial do software Ainfo para gestão de bibliotecas. Com a maior inserção da Embrapa Informática no ecossistema de inovação, por meio de diferentes iniciativas, como realização de *hackathons*, participação em programas de inovação, organização de workshops e feiras, entre outros, e conseqüentemente maior exposição das linhas de pesquisa da Unidade, houve um aumento no interesse de parceria por parte das empresas. As negociações com as instituições privadas são precedidas, em sua maioria, pela celebração dos Termos de Confidencialidade ou Non-Disclosure Agreement (NDA), do inglês. Ao longo desses últimos anos, foram assinados 22 NDAs, dos quais muitos acabaram levando a um Acordo, somando 23 até o início de 2020.

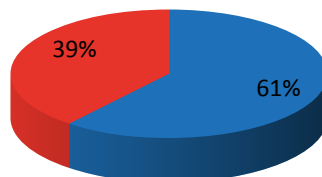
Empresas privadas (2014 a 2020)

■ Acordos ■ Licenciamento de sw ■ NDA



Instituições Públicas (2014-2020)

■ Acordos ■ Licenciamento de sw

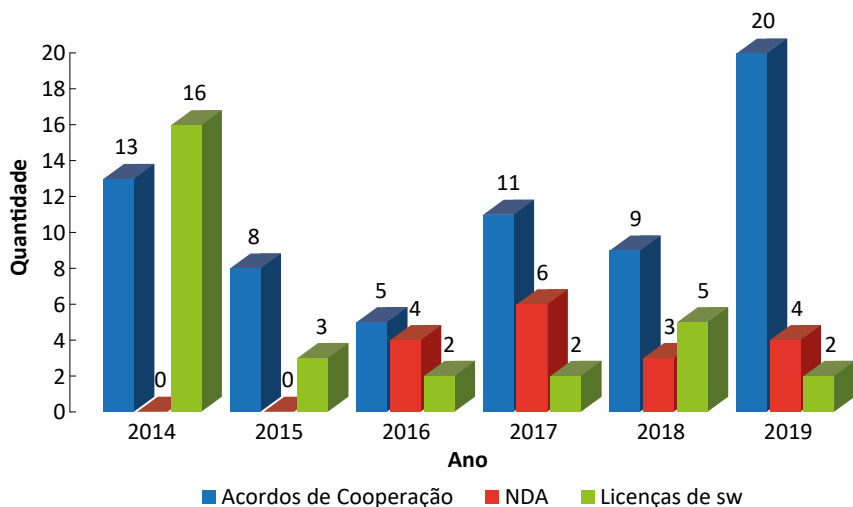


**Figura 1.** Percentual de instrumentos jurídicos firmados entre a Embrapa Informática Agropecuária e instituições públicas e empresas nos últimos cinco anos.

Como apresentado na Figura 2, o número de Acordos, NDAs e Licenciamento de software têm aumentado ao longo dos últimos anos, como um resultado da inserção da Unidade no ecossistema de inovação. Como o ano de 2020 não pôde ser totalmente contabilizado, este não foi incluído no gráfico apresentado na Figura 2. No entanto, até maio de 2020, foram firmados seis Acordos de Cooperação, cinco NDAs e um licenciamento de software.

**Figura 2.**

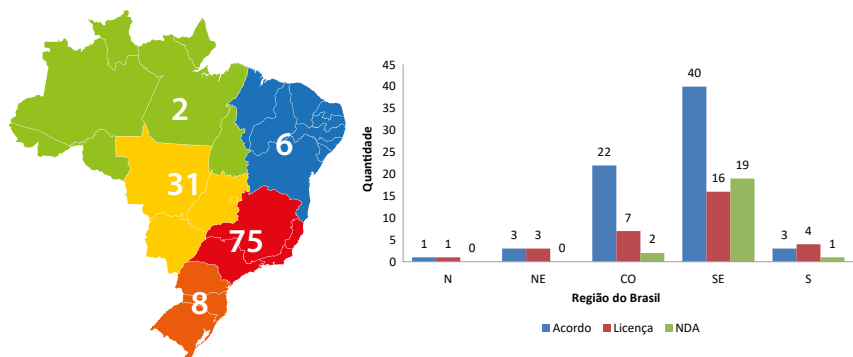
Instrumentos jurídicos firmados pela Embrapa Informática Agropecuária nos últimos cinco anos.



A Unidade tem estabelecido parcerias com instituições em todo o território nacional, com ênfase para as regiões Sudeste e Centro-Oeste, como pode ser visto na Figura 3.

**Figura 3.**

Parcerias da Unidade no território Nacional.



## 2.4 Contribuição da Embrapa para adoção e avaliação de impacto de tecnologias na agropecuária

A Embrapa, como empresa pública de pesquisa em agricultura, com mandato para todo o território brasileiro, recebe a maioria de seus recursos do governo federal. Anualmente, a Empresa avalia taxas de adoção e impactos das tecnologias e das inovações geradas, considerando seus diversos públicos de interesse.

A preocupação quanto à disponibilização de informações sistematizadas sobre a adoção e os impactos das tecnologias geradas pela Embrapa,

principalmente nas dimensões econômicas e sociais, remontam à primeira edição do Balanço Social da Empresa, publicado em 1997. Em sua introdução, o presidente à época, Alberto Duque Portugal, considerou que as diversas experiências de desenvolvimento rural realizadas pela Embrapa, muitas delas em parceria, levaram a impactos sociais positivos pela adoção de tecnologias desenvolvidas e transferidas à sociedade, beneficiando todo o país, ao que ele chamou de lucro social.

Esse processo foi se desenvolvendo com a capacitação do corpo técnico da Empresa e o desenvolvimento de metodologias. Em 2008 foi publicada uma metodologia de referência denominada Avaliação dos Impactos de Tecnologias Geradas pela Embrapa. Atualmente todas as Unidades Descentralizadas da Empresa seguem um mesmo modelo de avaliação de impactos, baseado no proposto em 2008, mas com adequações necessárias ao momento presente. As dimensões analisadas atualmente são: a) econômica; b) socioambiental; c) emprego; e d) desenvolvimento institucional.

Anualmente, todas as Unidades de Pesquisa da Embrapa relatam os impactos de suas principais tecnologias, e esse esforço de sistematização das informações é consolidado em um Balanço Social, que é divulgado em meios digitais (internet) e impressos como forma de prestação de contas e transparência ao processo. A partir desses dados, calcula-se a relação entre o lucro social e a receita operacional, gerando-se um índice que mostra os retornos à sociedade para cada real aplicado na Empresa. Nos últimos dois anos, segundo os dados relatados nos Balanços Sociais de 2018 e 2019, esses índices foram superiores a R\$ 12 retornados para cada real investido. Esse dado ganha importância na medida em que bilhões de reais são investidos pelo governo federal na Empresa, ou seja, esse grande aporte de capital é compensado pela contrapartida 12 vezes maior que o investido. Dessa forma, os lucros sociais em 2018 e 2019 foram de R\$ 43,52 bilhões e 46,49 bilhões, respectivamente.

Para efeito da administração federal, os relatórios de impactos são utilizados na medição da efetividade da Empresa, na divulgação de seus resultados e nas prestações de contas nos órgãos de controle, tornando-se importante balizador para a viabilidade operacional da Embrapa.

Como uma das 42 Unidades Descentralizadas da Empresa, a Embrapa Informática Agropecuária também se dedica à elaboração de relatórios de avaliação de impactos. Como centro de referência em agroinformática para toda a Empresa, desenvolve tecnologias digitais aplicadas a vários problemas da agricultura e da pecuária brasileiras. Essa variedade de temas reflete-se nos relatórios de impactos das tecnologias geradas por esse centro de pesquisa nos últimos dez anos. A Tabela 5 apresenta cada ativo tecnológico relatado, seu respectivo período de avaliação e o tema correlato à iniciativa.

**Tabela 5.**  
Tecnologias analisadas pela Embrapa Informática Agropecuária via relatórios de impactos, nos últimos dez anos.

<b>Tecnologia</b>	<b>Período analisado</b>	<b>Site</b>	<b>Tema associado à tecnologia</b>	<b>Impacto econômico (R\$) Ano base 2019</b>
Sistema Informatizado para Gestão de Acervos Impressos e Digitais de Bibliotecas (Ainfo)	2012 a 2019	<a href="http://www.ainfo.cnptia.embrapa.br">www.ainfo.cnptia.embrapa.br</a>	Gestão de bibliotecas e disponibilização de conhecimento	R\$ 15.054.680,91
Agência de Informação Embrapa (Ageitec)	2010 a 2019	<a href="http://www.agencia.cnptia.embrapa.br">www.agencia.cnptia.embrapa.br</a>	Disponibilização de conhecimento	R\$ 6.279.104,22
Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg)	2019	<a href="http://www.satveg.cnptia.embrapa.br">www.satveg.cnptia.embrapa.br</a>	Geotecnologias	R\$ 1.057.989,27
Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (Sisla)	2013 a 2018	<a href="http://www.sisla.imasul.ms.gov.br">www.sisla.imasul.ms.gov.br</a>	Geotecnologias	R\$ 1.564.350,84* (dados de 2018)
Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo)	2014 a 2019	<a href="http://www.agritempo.gov.br">www.agritempo.gov.br</a>	Agrometeorologia	R\$ 2.491.920,01
Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc)	2017 a 2019	-	Metodologia aplicada à política pública	R\$ 4.661.047.163,73
Diagnose Virtual	2010 a 2012	<a href="http://www.diagnose.cnptia.embrapa.br">www.diagnose.cnptia.embrapa.br</a>	Diagnóstico remoto de doenças de plantas	R\$ 332.941,00* (dados 2012)
Rede de Software Livre para Agropecuária (Agrolivre)	2010 a 2011	<a href="http://www.agrolivre.gov.br">www.agrolivre.gov.br</a>	Repositório de softwares livres	R\$ 118.156,02* (dados 2011)

### 3 Desenvolvimento do ecossistema de inovação agrícola no estado de São Paulo

A Embrapa Informática Agropecuária vem desenvolvendo importantes ações no seu entorno, a fim de fortalecer o ecossistema de inovação agrícola local e estadual. Esta seção detalha iniciativas desenvolvidas no estado de São Paulo, tendo em vista o tipo de ator envolvido e a forma de relacionamento estabelecida.

O estado de São Paulo é responsável por cerca de 32% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. O agronegócio representou, em 2019, 12% do PIB do estado. A cidade de São Paulo destaca-se por ser o maior centro de inovação e empreendedorismo da América Latina, concentrando uma grande quantidade de recursos e capacidades de inovação, como centros de pesquisa, universidades, parques tecnológicos, incubadoras de empresas, laboratórios abertos, *hubs* de inovação, *coworkings* e vários eventos dedicados à tecnologia, ao empreendedorismo e à inovação. Além disso, concentra a sede de grande número de corporações, instituições financeiras e investidores de risco.

Além da capital, várias cidades do estado possuem importantes ecossistemas de inovação, com destaque para Campinas, terceiro município paulista em população e PIB, onde fica localizada a Embrapa Informática Agropecuária. A Região Metropolitana de Campinas, que inclui a cidade de Campinas e 20 municípios de seu entorno, corresponde a 18% do PIB do estado e cerca de 7% de sua população (Sistema Estadual de Análise de Dados, 2020). A região vem conquistando e consolidando, nos últimos anos, uma importante posição econômica nos cenários estadual e nacional, concentrando muitas indústrias de tecnologia, centros de pesquisa tecnológica e científica, assim como universidades e faculdades privadas, importante estrutura de pesquisa agrícola e produção agroindustrial significativa (Agência Metropolitana de Campinas, 2020).

O fortalecimento do ecossistema de inovação agrícola envolve relacionamentos, parcerias e interações estabelecidas com novas empresas de base tecnológica, como o programa de aceleração para *startups* de base tecnológica agrícola denominado TechStart AgroDigital (TSAD). Criado em parceria com a Venture Hub, aceleradora e criadora de novos negócios, e a Associação Nacional de Entidades Promotoras de Empreendimentos Inovadores (Anprotec), o programa baseia-se em processos de identificação, seleção e oferta de suporte a empreendimentos inovadores do agronegócio (*startups*), durante um período de seis meses, oferecendo a eles diversas atividades de desenvolvimento. Foram oito temas de interesse do programa: a) *biotech*; b) pecuária de precisão; c) automatização e robotização do campo; d) nutrição e sanidade animal; e) identificação e detecção de pragas e doenças; f) gestão de risco agrícola; g) cadeia de hortifrúti; e e) manejo e monitoramento de água,

solo e plantas. Durante o programa, promovido no 2º semestre de 2019, foram conduzidas mentorias técnicas e de negócios para apoiar desenvolvimento e validação das tecnologias selecionadas. No primeiro ciclo do TSAD, mais de 90 *startups* fizeram inscrição e passaram por um processo que selecionou 13 *startups* para participar do programa, sendo que 11 delas se graduaram no início de 2020. O programa, portanto, contribui para a solução de diversos problemas da cadeia produtiva do agronegócio, atendendo expectativas de clientes, beneficiários e usuários nos oito temas do programa.

Entende-se que o TSAD, pelo relacionamento mais próximo com as *startups* selecionadas, permitiu um maior conhecimento e aquisição de mais agilidade por parte da Embrapa para interagir com esse novo tipo de ator (*startups*), assim como com uma aceleradora de novos negócios. Além disso, o programa representou oportunidade de fortalecimento institucional da Embrapa, tornando-a mais conhecida no ecossistema de inovação agrícola brasileiro e aumentando seu protagonismo no cenário de transformação digital na agricultura. Nesse programa, houve a participação de colegas de outras Unidades de Pesquisa da Embrapa, atuando em mentorias ou na sugestão de conteúdos e palestras. Dentre elas tem-se: a) Secretaria de Inovação e Negócios (SIN); b) Embrapa Instrumentação Agropecuária (São Carlos); c) Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas); e d) Embrapa Soja (Londrina).

Outras ações recentes relacionadas à interação com *startups* foram:

- Em 2017, a equipe de avaliadores da Embrapa Informática Agropecuária, durante a rodada de negócios *Open Innovation - 100 Open Startups e 100 Open Techs*, realizada em Campinas, foi reconhecida por ser uma das organizações mais demandadas pelas *startups* participantes, atendendo 14 *startups* em um único dia da rodada.
- A Embrapa Informática Agropecuária vem contribuindo com mentoria em curso oferecido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) a empresas contempladas em seu programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (PIPE). Alguns dos objetivos do PIPE são: a) apoiar a pesquisa em ciência e tecnologia como instrumento para a inovação tecnológica, o desenvolvimento e a competitividade empresarial de pequenas empresas; e b) possibilitar que as empresas se associem a pesquisadores do ambiente acadêmico em projetos de pesquisa visando à inovação tecnológica. A FAPESP oferece capacitação para as empresas participantes visando ao aprimoramento de seus modelos de negócios e conta, para isso, com o apoio dos mentores. Empregados da Embrapa Informática Agropecuária têm participado como mentores do programa desde 2018.
- A Unidade tem apoiado, desde 2018, o programa de pré-aceleração para *startups* digitais – *Startup SP* –, realizado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae-SP), que dá suporte ao



desenvolvimento de empresas inovadoras que utilizam softwares ou serviços de tecnologia da informação como ponto central do seu modelo de negócio. Em Piracicaba, o foco do programa tem sido as *startups* ligadas à cadeia de valor do agronegócio. Durante o programa, as empresas participam de workshops, oficinas, mentorias individuais e coletivas, e têm a oportunidade de interagir com investidores e aceleradoras – atividades que ajudam na validação do produto ou serviço desenvolvido e sua chegada ao mercado. O programa é realizado em quatro meses, de abril a julho, e a Embrapa Informática Agropecuária participa das etapas de mentoria com uma equipe composta por pesquisadores e analistas das áreas de Transferência de Tecnologia (TT) e Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

- A Embrapa e seus parceiros organizaram e realizaram, durante o XI e o XII Congresso Brasileiro de Agroinformática (SBIAgro), em 2017 e 2019, o SBIAgroConect@, que teve por objetivo promover o contato e a formação de *networking* de mercado qualificado entre instituições, empresas, usuários, aceleradoras, investidores e desenvolvedores de TIC relacionados ao tema de ciência de dados e agricultura digital. A dinâmica envolveu palestras de instituições e empresas, apresentação de iniciativas de programas de inovação e conversas de relacionamento, com o propósito de permitir que soluções integradas, avançadas ou diferenciadas pudessem ser ofertadas ao mercado. Em 2017, o evento contou com 100 participantes e atingiu o objetivo de promover um ambiente para contatos e *networking* qualificado nas soluções tecnológicas para o agronegócio.
- Em 2017, a Embrapa Informática Agropecuária promoveu o Desafio de Inovação do XI SBIAgro, realizado na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). O desafio buscou incentivar jovens estudantes e profissionais a desenvolverem soluções tecnológicas inovadoras, no formato de aplicativos móveis, voltadas à resolução de problemas enfrentados pela agricultura brasileira. Equipes de até cinco integrantes submeteram propostas dentro da temática “Ciência de Dados na Era da Agricultura Digital”, a mesma do Congresso. Cada proposta envolvia uma solução tecnológica implementada em um aplicativo móvel, um artigo de uma página que a descrevia e um vídeo de até 120 segundos.

Foram considerados os seguintes critérios pelo comitê de avaliação: a) relevância do problema a ser solucionado; b) qualidade do design; e c) funcionamento correto do aplicativo. Ao final do evento, sete propostas foram classificadas para participar da etapa final, a Competição de Pitch. Pode-se dizer que o Desafio de Inovação SBIAgro 2017 promoveu a aproximação de pesquisas em agroinformática com problemas reais da agricultura, proporcionando a interação das equipes com uma banca julgadora composta por profissionais e despertando o interesse de investidores nas soluções tecnológicas

apresentadas, que envolveram os temas: a) classificação de pragas que atacam as lavouras; b) zoneamento agroclimático; c) previsão da colheita de banana e rentabilidade da safra; d) avaliação das condições térmicas de ambientes; e) acompanhamento de malhadas de javalis; f) identificação de espécies de moscas-de-frutas; e g) avaliação do bem-estar animal durante o transporte do gado de corte. Os artigos apresentados pelas equipes foram publicados nos anais do evento.

A Embrapa Informática Agropecuária tem participado do Agropolo Campinas-Brasil, que é uma iniciativa, com início em 2015, objetivando executar projetos para a promoção do desenvolvimento da bioeconomia na região de Campinas, por meio da aproximação de instituições de pesquisa com o setor produtivo. Participam do Agropolo Campinas-Brasil: a) Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA) do estado de São Paulo, por meio do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC); b) Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL); c) Instituto Biológico (IB); d) Instituto de Zootecnia (IZ); e) Secretaria Estadual de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação; f) Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); g) Prefeitura Municipal de Campinas; h) Associtech Techno Park Campinas; e i) Associação Agropolis Internacional, com interveniência da Embrapa. Fundamentada no conceito da “inovação colaborativa”, sob a forma de plataforma interinstitucional, o Agropolo Campinas-Brasil iniciou suas atividades promovendo uma série de reuniões de trabalho, por meio de workshops e oficinas, para a seleção de áreas temáticas focos das ações, com a participação de representantes da Embrapa Informática Agropecuária. Com a aprovação do projeto “Agropolo Campinas-Brasil: *Roadmap* para Identificação de Áreas Estratégicas de Pesquisa Visando a Criação de um Ecossistema Bioeconômico de Classe Mundial”, financiado pela FAPESP, teve início um novo plano de atividades, envolvendo a promoção de workshops sobre vários temas relacionados à bioeconomia e à agropecuária, entre 2016 e 2018.

Outra importante iniciativa de relacionamento e comunicação na Região Metropolitana de Campinas envolve a participação da Embrapa Informática Agropecuária no evento Inova Campinas (*Tradeshaw*), ocorrendo mais intensamente desde 2017. O evento InovaCampinas é promovido pela Fundação Fórum Campinas Inovadora (FFCi) durante dois dias, reunindo em um mesmo espaço empresas, *startups*, instituições de pesquisa, universidades, incubadoras, aceleradoras e parques científicos e tecnológicos. O evento busca apresentar ao público o potencial tecnológico da região e as novas tendências e iniciativas do ecossistema, assim como promover interações com rodadas de negócios e *networking* entre os participantes. Destaca-se a participação da Embrapa Informática Agropecuária em 2018, com estande próprio no evento, promovendo apresentações de tecnologias próprias, *pitch*s de *AgTech* e um encontro do *Biotech Hacking* Campinas, um grupo profissional para troca de

informações sobre biotecnologia, iniciativa da aceleradora Venture Hub. Em 2019, houve um estande compartilhado chamado Inova#Agro, com participação de parceiros como a Bayer e a Venture Hub. Várias *startups* aceleradas no Programa TechStart Agro Digital participaram palestrando sobre suas soluções e tecnologias e interagindo com empresários, investidores e pesquisadores presentes. A participação no InovaCampinas tornou-se uma forma de criar oportunidade de conexão da Embrapa Informática Agropecuária com *startups* de várias áreas, empresas de pequeno e médio porte, investidores e outros profissionais, de forma a comunicar sobre suas atividades e estabelecer novos relacionamentos.

#### 4 Modelos inovadores de parceria público-privada para inovação digital na agropecuária

Diante de um cenário de transformação digital, inclusive em agricultura, faz-se premente a necessidade de proposição de novos modelos de negócios. Nesse contexto, a iniciativa AgroAPI foi criada pela Embrapa Informática Agropecuária com o objetivo de promover a criação de valor na agricultura com a oferta de dados e serviços via APIs. A sigla API significa “Application Programming Interface”, em inglês, e frequentemente é traduzida como “interface de programação de aplicações”, podendo ser definida como especificações que governam a interoperabilidade entre aplicações e serviços (Vukovic et al., 2016). Sendo assim, são consideradas fundamentais no processo de transformação digital nas organizações, uma vez que facilitam a integração de sistemas de informação, com redução de custo e de tempo.

As APIs representam um conjunto de padrões e linguagens de programação que permitem, de maneira automatizada, a comunicação entre sistemas diferentes. Apesar de invisíveis para o usuário comum, elas são responsáveis pelo funcionamento de diversos recursos presentes em aplicativos de mobilidade, sites de comércio eletrônico e redes sociais, entre outros nichos de mercado.

Com a grande procura por tecnologias e inteligência da Embrapa por parceiros público e privados, a plataforma AgroAPI foi concebida como estratégia de inovação e negócios voltada para o mercado de tecnologias em agricultura digital, possibilitando que informações e modelos gerados pela Embrapa possam ser acessados por meio de APIs, de forma ágil, confiável e de ampla abrangência, uma vez que a mesma API pode ser útil para inúmeras finalidades e clientes, permitindo a criação de soluções para apoiar a tomada de decisão no campo, em tempo real.

Para o gerenciamento das APIs da AgroAPI, tem sido utilizada a ferramenta WSO2 API Manager (Vaz et al., 2017). Os principais componentes da

ferramenta são: a) publicador de APIs: interface de usuário para que criadores de API possam desenvolver, documentar e versionar APIs; b) loja de APIs ou portal do desenvolvedor: interface colaborativa para que os desenvolvedores hospedem e divulguem APIs para que consumidores as usem de maneira segura, protegida e autenticada. O portal é utilizado para os usuários registrarem-se, descobrirem e avaliarem as APIs, bem como para se inscreverem a fim de utilizá-las; c) API *gateway*: protege, gerencia e escalona as chamadas às APIs; e d) outros componentes para gerenciamento de chaves, gerenciamento de tráfego e análise de dados (WSO2 Inc., 2017). A Plataforma AgroAPI foi lançada em 2019 com duas APIs inicialmente publicadas para uso por parceiros externos: API Agritec e API SATVeg.

A API Agritec reúne informações úteis para o gerenciamento da produção de culturas agrícolas e é baseada na versão web do serviço chamado WebAgritec (Massruhá et al., 2008). A API contempla a oferta de dados e modelos sobre época ideal de plantio para dezenas de culturas, com base no zoneamento agrícola de risco climático; na relação de cultivares mais aptas, para 12 culturas diferentes; na indicação de adubação e correção de solo, para cinco culturas, conforme resultado prévio de análise de solo; na previsão de produtividade, também para cinco culturas; e nas condições climáticas antes e durante a safra (balanço hídrico). As informações disponibilizadas pela API Agritec podem ser utilizadas em soluções que objetivem apoiar a tomada de decisão nas etapas de planejamento, monitoramento e gerenciamento da produção agrícola. Os diferentes dados disponibilizados pela API podem beneficiar agricultores, cooperativas, representantes da assistência técnica e extensão rural e outros agentes, como bancos e seguradoras (Embrapa, 2020a).

A API SATVeg, por sua vez, é derivada do Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg) (Esquerdo et al., 2016), uma ferramenta web desenvolvida pela Embrapa Informática Agropecuária, destinada à geração e à visualização de perfis temporais dos índices vegetativos Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e Enhanced Vegetation Index (EVI) para o Brasil e toda a América do Sul, com o objetivo de apoiar atividades de gestão territorial e monitoramento agrícola e ambiental. Os índices vegetativos são fornecidos pelo sensor MODIS acoplado aos satélites Terra e Aqua, da Nasa, e contemplam dados produzidos a partir de 2000 até a última data então disponibilizada por seu repositório oficial. Os índices NDVI e EVI apresentam correlação com variáveis biofísicas, como área foliar e biomassa, capazes de indicar a presença e o vigor da vegetação em uma determinada área de interesse. As séries temporais desses índices permitem que se acompanhe, ao longo do tempo, o comportamento da vegetação nesses locais. Assim, é possível identificar o que é área urbana, plantio anual, cana-de-açúcar, pasto ou floresta, por exemplo, além de acompanhar o ciclo de uma cultura agrícola e processos de desflorestamento e reflorestamento. Os dados disponibilizados

podem ser utilizados para atividades relacionadas ao mapeamento e ao monitoramento ambiental e para o acompanhamento da produção agrícola, inclusive para a verificação de perdas (Embrapa, 2020a).

Até maio de 2020, a API Agritec foi assinada por 274 clientes, e mais de 111.300 requisições foram realizadas, enquanto a API SatVeg foi assinada por 118 clientes e teve realizadas mais de 1.700 requisições. Para viabilizar a realização de negócios com exploração comercial das APIs com perfil de monetização, foram elaborados plano de marketing e modelo de negócios que contemplam a prestação dos serviços pela plataforma AgroAPI. Esse modelo é composto por alguns instrumentos jurídicos que envolvem também uma fundação de apoio à pesquisa.

A plataforma AgroAPI facilita a integração de sistemas de informação, com redução de custo e de tempo, melhora a interface com dispositivos móveis, amplia a capacidade de obtenção e disseminação de dados e informações agropecuárias, possibilita economia de recursos computacionais e compartilhamento de dados e serviços, facilita o estabelecimento de acordo com outras organizações e viabiliza maior alcance dos resultados da empresa e de seus parceiros (Vaz et al., 2017). As APIs atualmente disponíveis e as parcerias firmadas até o presente momento demonstraram que essa estratégia beneficia inúmeros parceiros e, conseqüentemente, os clientes finais, contribuindo para a solução de problemas reais da agricultura. Está em desenvolvimento o plano de expansão da plataforma, com novas APIs a serem publicadas a partir da prospecção de demandas.

## 5 Considerações finais

Este capítulo apresenta as características do novo ecossistema de inovação agrícola brasileiro, apresentando o caso específico do estado de São Paulo, com destaque para a atuação da Embrapa nesse cenário. Foram descritas as ações da Embrapa Informática Agropecuária para fortalecer esse ecossistema, com destaque para ações desenvolvidas em Campinas.

O capítulo enfatizou as estratégias conduzidas para estabelecer e fortalecer relacionamentos com atores do segmento. A promoção de eventos tem sido importante para apresentar externamente à Embrapa os desafios identificados para o setor agropecuário brasileiro e promover a busca de resultados junto a estudantes e empreendedores.

Nesse sentido, são relevantes aos desafios de inovação a promoção de rodadas de negócio junto a empresas e *startups*. A organização de programas de maior duração, destinados a *startups AgTech*, é uma outra linha de ação muito importante para inserir a Embrapa nesse contexto. Esses programas – focados em várias cadeias produtivas da agropecuária – oferecem, às *startups*,

várias possibilidades como pré-aceleração, aceleração, estabelecimento de parcerias e maior exposição e divulgação de seus empreendimentos junto a atores relevantes. Nesses programas, a Embrapa tem contado com a parceria de empresas de *venture capital*, aceleradoras de *startups*, organismos governamentais, entre outros.

Vale notar que, no que se refere a relacionamentos, a Embrapa Informática Agropecuária possui uma tradição no estabelecimento de acordos de cooperação técnica, NDAs e licenças de tecnologias, instrumentos jurídicos com o objetivo de regular as iniciativas de parceria firmadas quanto a sigilo, objetivos, etapas, prazo de duração, recursos e resultados esperados. São parcerias com vários atores do ecossistema de inovação agrícola, com destaque para organizações localizadas nas regiões Sudeste e Centro-Oeste.

A Unidade tem atuado também para fortalecer o ecossistema de inovação agrícola de seu entorno, no âmbito do estado de São Paulo e, em especial, da região de Campinas. No que se refere a parcerias com instituições de pesquisa científica, mais tradicionais no contexto da Embrapa, destaca-se a parceria científica para fomentar o ecossistema de inovação da Região Metropolitana de Campinas, Agropolo Campinas-Brasil, iniciada em 2015. A ação foi capitaneada pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA) do estado de São Paulo, por meio de vários institutos de pesquisa agrícola do estado, como o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), tendo a Embrapa como interveniente, com a participação de atores locais como a Prefeitura Municipal de Campinas; a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), a Associtech Techno Park Campinas; e a Associação Agropolis Internacional. Vários eventos foram promovidos entre 2016 e 2018, em temas relacionados à bioeconomia e à agropecuária. Essa ação permitiu o estabelecimento de relacionamentos entre a Embrapa Informática Agropecuária e atores municipais, contribuindo para o relacionamento do ecossistema de inovação agrícola em Campinas.

Destaca-se, em 2019, a promoção do programa TechStart AgroDigital (TSAD), em parceria com a Venture Hub e a Anprotec, que objetivou a aceleração das *startups* inscritas, tendo recebido mais de 90 inscrições. Vale notar que a interação mais próxima da equipe da Embrapa Informática Agropecuária com o universo das AgTechs, dos investidores e do ambiente de aceleração permitiu um maior conhecimento desse contexto, requerendo uma maior agilidade na interação com esse tipo de ator e com o processo de aceleração de *startups*. Outras ações envolvendo mentorias para *startups*, tanto no âmbito do programa PIPE da FAPESP como do Sebrae-Piracicaba, e rodadas de negócios estabelecidas no 100 Open-Startups (2017) e SBIAgroConect@ (2017 e 2019) também foram importantes no sentido de aproximar equipes da Embrapa Informática Agropecuária do ambiente empresarial e, em especial, das *startups*.



A participação no evento Inova Campinas (Tradeshow), desde 2017, revelou-se muito importante para fortalecer a imagem da Embrapa Informática Agropecuária no contexto da Região Metropolitana de Campinas, apresentando a Empresa e seu potencial tecnológico, assim como oportunizando possibilidades de interações com empresas, organizações, investidores e imprensa.

Todos esses eventos e programas locais ofereceram uma nova perspectiva sobre o ambiente de *startups* para as equipes da Embrapa, influenciando cultura e comportamento, e contribuíram para fortalecer a presença da Unidade no ecossistema de inovação agrícola de Campinas e São Paulo e para aumentar seu protagonismo no âmbito da agricultura digital, que é driver tecnológico do ecossistema de Campinas.

Nesse contexto, ressalta-se que a Embrapa Informática Agropecuária tem sido demandada por empresas de diversos segmentos, com destaque para tecnologia da informação, a fim de estabelecer parcerias para desenvolvimento colaborativo e validação de produtos. A plataforma AgroAPI é um exemplo de tecnologia concebida para promover a criação de valor na agricultura pela oferta de dados e serviços via APIs. O modelo de negócios é baseado no emprego dessa tecnologia (API) para disponibilizar dados, informações e modelos da Embrapa para seus parceiros de forma ágil, confiável e abrangente.

Espera-se a continuidade das ações da Embrapa voltadas para o fortalecimento do ecossistema de inovação agrícola brasileiro, as quais foram priorizadas em seu Plano de Negócios 2019-2023, estratégia de médio prazo da organização.

## 6 Referências

AGÊNCIA METROPOLITANA DE CAMPINAS. **RMC**: o que é. Disponível em: <http://www.agemcamp.sp.gov.br/rmc/>. Acesso em: 27 maio 2020.

AGFUNDER. **AgriFood tech funding report**: 19' year in review. 2020. Disponível em: <https://agfunder.com/research/>. Acesso em: 20 mar. 2020.

AGFUNDER. **AgriFood tech**: 2018 in review. 2019. Disponível em: <https://agfunder.com/research/> Acesso em: 29 abr. 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES PROMOTORAS DE EMPREENDIMENTOS INOVADORES. **Mapeamento dos mecanismos de geração de Empreendimentos Inovadores no Brasil**. Brasília, DF, 2019. 225 p. Disponível em: [http://news.bizmeet.com.br/wp-content/uploads/2019/08/Mapeamento\\_dos\\_Mecanismos\\_de\\_Geracao\\_de\\_Empreendedores\\_Inovadores\\_no\\_Brasil.pdf](http://news.bizmeet.com.br/wp-content/uploads/2019/08/Mapeamento_dos_Mecanismos_de_Geracao_de_Empreendedores_Inovadores_no_Brasil.pdf). Acesso em: 20 maio 2020.

ARTHUR, W. B. **Increasing returns and path dependence in the economy**. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1994. p. 49-67. DOI: [10.3998/mpub.10029](https://doi.org/10.3998/mpub.10029).

AUDY, J.; PIQUÉ, J. **Dos parques científicos e tecnológicos aos ecossistemas de inovação**: desenvolvimento social e econômico na sociedade do conhecimento. Brasília, DF: Anprotec, 2016. 26 p. Disponível em: <https://anprotec.org.br/site/publicacoes-anprotec/ebooks/>. Acesso em: 20 maio 2020.

AUSTRALIAN TRADE AND INVESTMENT COMMISSION. **Agtech**: advancing agribusiness and food processing - US Clusters. San Francisco: Austrade, 2018. 29 p.

BAMBINI, M. D.; BONACELLI, M. B. M. Ecossistemas Agtech no Brasil: localização, caracterização e atores envolvidos. In: WORKSHOP ANPROTEC; INNOVATION SUMMIT BRASIL, 2019, Florianópolis. **O futuro dos ambientes de inovação**: anais: chamada de trabalhos 2019. Brasília, DF: Anprotec, 2019. p. 789-802.

BOSCHMA, R.; MARTIN, R. Introduction - the new paradigm of evolutionary economic geography', the aims and scope of evolutionary economic geography. In: BOSCHMA, R.; MARTIN, R. (ed.). **The handbook of evolutionary economic geography**. Cheltenham: Edward Elgar, 2010. p. 3-42. DOI: [10.4337/9781849806497](https://doi.org/10.4337/9781849806497).

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Estudo de projetos de alta complexidade**: indicadores de parques tecnológicos. Brasília, DF: Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico/UnB, 2019. 107 p.

CHESBOROUGH, H. The era of open innovation. **MIT Sloan Management Review**, v. 44, n. 3, p. 35-41 2003.

COOK, D. Innovation clusters and the rural powerhouse. **Blog Innovate UK**. 25 Jan. 2016. Disponível em: <https://innovateuk.blog.gov.uk/2016/01/25/innovation-clusters-and-the-rural-powerhouse/>. Acesso em: 6 maio 2020.

DAVID, P. A. Clio and the economics of QWERTY. **The American economic review**, v. 75, n. 2, p. 332-337, 1985.

DIAS, C. N.; JARDIM, F.; SAKUDA, L. O. (org.). **Radar AgTech Brasil 2019**: mapeamento das startups do setor agro brasileiro. Brasília, DF: Embrapa; São Paulo: SP Ventures e Homo Ludens, 2019. Disponível em: [www.radaragtech.com.br](http://www.radaragtech.com.br). Acesso em: 30 set. 2019.

EDQUIST, C. Systems of innovation: perspectives and challenges. In: FAGERBERG, J.; MOWERY, D.; NELSON, R. R. **The Oxford book of innovation**. Oxford: Oxford University Press, 2006. p. 180-208. DOI: [10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0007](https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0007).

EMBRAPA. **AgroAPI**: plataforma de APIs da Embrapa. Disponível em: <http://www.embrapa.br/agroapi>. Acesso em: 20 maio 2020.

EMBRAPA. **Ecossistema de inovação**. 2020b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/ecossistema-de-inovacao>. Acesso em: 30 jun. 2020.

ESQUERDO, J. C. D. M.; ANTUNES, J. F. G.; COUTINHO, A. C.; KONDO, A. A.; SANTOS, J. L. dos. **Sistema de Análise Temporal da Vegetação - SATVeg**. Versão 3.0. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2016.

FELD, B. **Startup communities**: Building an entrepreneurial ecosystem in your city. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. DOI: [10.1002/9781119204459](https://doi.org/10.1002/9781119204459).

FELDMAN, M. P.; KOGLER, D. F. Stylized facts in the geography of innovation. In: HALL, B. H.; ROSENBERG, N. (ed.). **Handbook of the Economics of Innovation**. Oxford, UK: North-Holland, 2010. p. 381-410. DOI: [10.1016/S0169-7218\(10\)01008-7](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)01008-7).

FETTERS, M.; GREENE, P. G.; RICE, M. P. (ed.). **The development of university-based entrepreneurship ecosystems**: global practices. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2010. 203 p. DOI: [10.4337/9781849805896](https://doi.org/10.4337/9781849805896).

FIRETTI, R.; OLIVEIRA, E. C. de; BONACELLI, M. B. M. Identificação e Mapeamento de Instituições de Ensino Superior e/ou Pesquisa Agrícola no Estado de São Paulo. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 3 n. 4, p. 641-652, 2016. DOI: [10.5151/engpro-1enei-036](https://doi.org/10.5151/engpro-1enei-036).

- GOLLEY, F. B. The ecosystem concept: a search for order. **Ecological Research**, v. 6, n. 2, p. 129-138, 1991. DOI: [10.1007/BF02347157](https://doi.org/10.1007/BF02347157).
- GOMES, L. A. V.; FACIN, A. L. F.; SALERNO, M.; IKENAMI, R. K. Unpacking the innovation ecosystem construct: evolution, gaps and trends. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 136, p. 30-48, 2018. DOI: [10.1016/j.techfore.2016.11.009](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.11.009).
- ISRAEL INNOVATION AUTHORITY. **State of Innovation in Israel 2019**. Jerusalem: Israel Innovation Authority, 2019. Disponível em: [https://innovationisrael.org.il/sites/default/files/ISRAEL%20Innovation%20Authority%20report%202019%20eng\\_0.pdf](https://innovationisrael.org.il/sites/default/files/ISRAEL%20Innovation%20Authority%20report%202019%20eng_0.pdf). Acesso em: 5 maio 2020.
- LUNDEVALL, B-A. **National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning**. London: Pinter Publishers, 1992.
- LYONS, T. S.; MILLER, S. R.; MANN, J. T. A new role for land grant universities in the rural innovation ecosystem? **Journal of Regional Analysis & Policy**, v. 48, n. 2, p.32-47, 2018. Disponível em: <https://jrap.scholasticahq.com/article/3775-a-new-role-for-land-grant-universities-in-the-rural-innovation-ecosystem>. Acesso em: 30 jun. 2020.
- MALECKI, E. Entrepreneurship and entrepreneurial ecosystems. **Geography Compass**, v. 12, n. 3, p.1-21, 2018. DOI: [10.1111/gec3.12359](https://doi.org/10.1111/gec3.12359).
- MALERBA, F. Sectoral systems: how and why innovation differs across sectors. In: FAGERBERG, J.; MOWERY, D.; NELSON, R. R. **The Oxford book of innovation**. Oxford: Oxford University Press, 2006. p. 380-406. DOI: [10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0014](https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0014).
- MARIGHETTI, A.; SPOSITO, E. S. A. Formação dos polos tecnológicos e seu papel no processo de desenvolvimento territorial no município de São Carlos/SP. **Geografia em Atos**, v. 1, n. 9, 2009. DOI: [10.35416/geoatos.v1i9.282](https://doi.org/10.35416/geoatos.v1i9.282).
- MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LIMA, H. P. de; EVANGELISTA, S. R. M.; PINTO, G. E. M. **Uma proposta de plataforma de software para integração e interoperabilidade de serviços Web - Webagritec: estudo de caso**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2008. 23 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 19).
- MYRICK, A.; DELOFFRE, R. Planting the seeds for an Agtech Innovation Ecosystem. **Economic Development Journal**, v. 16, n. 4, p. 5-10, 2017. Disponível em: <https://search.proquest.com/openview/eac2ee702fb0e5b8a14ed9ba0416e950/1?pq-origsite=gscholar&cbl=44217>. 20 maio 2020.
- NELSON, R. R. (ed.). **National innovation systems: a comparative analysis**. New York: Oxford University Press, 1993. 541 p.
- NELSON, R. R.; WINTER, S. G. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge: Mass; London: Belknap Harvard, 1982.
- NELSON, R. R.; WINTER, S. G. In search of a useful theory of innovation. **Research Policy**, v. 6, p. 36-76, 1977. DOI: [10.1016/0048-7333\(77\)90029-4](https://doi.org/10.1016/0048-7333(77)90029-4).
- OLIVEIRA JÚNIOR, M. de M.; CAHEN, F. R.; BORINI, F. M. (ed.). **Startups and innovation ecosystems in emerging markets**. Cham: Springer, 2019. p. 1-14. DOI: [10.1007/978-3-030-10865-6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10865-6).
- PIGFORD, A. A. E.; HICKEY, G. M.; KLERKX, L. Beyond agricultural innovation systems? Exploring an agricultural innovation ecosystems approach for niche design and development in sustainability transitions. **Agricultural Systems**, v. 164, p. 116-121, July 2018. DOI: [10.1016/j.agsy.2018.04.007](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.04.007).

RAJALAHTI, R. Sourcebook overview and user guide. In: WORLD BANK. **Agricultural innovation systems: an investment sourcebook**. Washington, DC: The World Bank, 2012. p. 1-13. DOI: [10.1596/9780821386842\\_FM](https://doi.org/10.1596/9780821386842_FM).

SIMÕES, M.; SOLER, L.; PY, H. Tecnologias a serviço da sustentabilidade e da agricultura. **Boletim Informativo da SBCE**, p. 50-53, maio/ago. 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167339/1/2017-044.pdf>. Acesso em: 27 maio 2020.

SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Portal de estatísticas do Estado de São Paulo**. Disponível em: <https://www.seade.gov.br/>. Acesso em: 27 maio 2020.

SOTARAUTA, M. **Strategy development in learning cities: from classical rhetoric towards dynamic capabilities**. [Tampere]: University of Tampere, 2004. 54 p. (SENTE working papers, v. 8). Disponível em: [https://people.uta.fi/~atmaso/verkkokirjasto/sotarauta\\_strategy.pdf](https://people.uta.fi/~atmaso/verkkokirjasto/sotarauta_strategy.pdf). Acesso em: 5 maio 2020.

STARTUPBLINK. **Startup ecosystem rankings 2019**. 2019. 158 p. Disponível em: <https://www.startupblink.com/blog/startup-ecosystem-rankings-report-2019-by-startupblink/>. Acesso em: 5 maio 2020.

SUOMINEN, A.; SEPPÄNEN, M.; DEDEHAYIR, O. A bibliometric review on innovation systems and ecosystems: a research agenda, **European Journal of Innovation Management**, v. 22, n. 2, p. 335-360, 2019. DOI: [10.1108/EJIM-12-2017-0188](https://doi.org/10.1108/EJIM-12-2017-0188).

TEECE, D. J.; AUGIER, M. The foundations of dynamic capabilities. In: TEECE, D. J. **Dynamic capabilities and strategic management: organizing for innovation and growth**. Oxford: Oxford University Press, 2009. p. 82-112.

TEECE, D. J.; PISANO, G.; SHUEN, A. Dynamic capabilities and strategic management. **Strategic management journal**, v. 18, n. 7, p. 509-533, 1997. DOI: [10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z).

TEIXEIRA, C. S.; TRZECIAK, D. S.; VARVAKIS, G. (org.). **Ecossistema de inovação: alinhamento conceitual**. Florianópolis: Perse, 2017. 24 p. Recurso eletrônico.

VAZ, G. J.; APOLINÁRIO, D. R. de F.; CORREA, J. L.; VACARI, I.; GONZALES, L. E.; DRUCKER, D. P.; BARIANI, J. M.; EVANGELISTA, S. R. M.; ROMANI, L. A. S. AgroAPI: criação de valor para a agricultura digital por meio de APIs. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11., 2017, Campinas. **Ciência de dados na era da agricultura digital: anais**. Campinas: Ed. Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária, 2017. p. 59-68. SBIAgro 2017.

VUKOVIC, M.; LAREDO, J.; MUTHUSAMY, V.; SLOMINSKI, A.; VACULIN, R.; TAN, W.; NAIK, V.; SILVA-LEPE, I.; KUMAR, A.; SRIVASTAVA, B.; BRANC, J. Riding and thriving on the API hype cycle. **Communications of the ACM**, v. 59, n. 3, p. 35-37, 2016. DOI: [10.1145/2816812](https://doi.org/10.1145/2816812).

WSO2 INC. **WSO2 API manager documentation: key concepts**. Disponível em: <https://docs.wso2.com/display/AM210/Key+Concepts>. Acesso em: 25 maio 2017.





# 13 O direito frente à digitalização da agricultura

Cássia Isabel Costa Mendes  
Sílvia Maria Fonseca Silveira Massruhá  
Juliano Souza de Albuquerque Maranhão  
Paula Giovanna Guimarães Ribeiro  
Líbia Cristina Xavier Santos

## 1 Introdução

A exponencial evolução tecnológica no final do século passado e início do século XXI já provocou profundas transformações nas relações sociais, dentro de uma economia globalizada, trazendo uma nova dinâmica para o capitalismo, fundada na informação e no processamento de dados. Os fenômenos que contribuíram para essas transformações foram a intensificação do uso de tecnologias da informação e comunicação (TIC), a democratização do acesso e da produção da informação ocasionada pela internet, a crescente relevância da análise de grandes massas de dados na economia (*Big Data*), a disseminação de equipamentos conectados (*internet of things*) e de agentes artificiais inteligentes.

A economia mundial contemporânea é fortemente caracterizada pelo processamento computacional da informação para gerar conhecimento, produzir bens e serviços e gerar valor, mudando a noção de riqueza de ativo material para ativo intangível (Mendes et al., 2015).

O que se convencionou chamar de “economia digital” surgiu no âmbito desses fenômenos e caracteriza-se pelo papel central da ciência, do desenvolvimento tecnológico e do uso de tecnologias digitais enquanto instrumentos de alavancagem para que países e agentes econômicos se posicionem de forma estratégica, respectivamente, no cenário geopolítico internacional e



competitivamente no mercado (Soares; Prete, 2018). A economia digital tem como principal fator de geração de riqueza a transmissão, o processamento e o compartilhamento de informações. Se em uma primeira etapa a produção dessas informações e seu processamento estava concentrada em grandes empresas, ainda dentro de uma sociedade de organizações, como principais agentes produtivos, em um segundo momento, já na virada do milênio, essa produção e consumo de informações e dados dos quais se extraem novas informações passaram a ser descentralizados, dada a possibilidade de interações comunicativas e econômicas diretas entre os pares (*peer-to-peer*), a partir de plataformas on-line. A economia digital passou a se organizar, assim, por meio da sociedade em rede, a qual é definida por Castells (2006, p. 20) como “uma estrutura social baseada em redes operadas por tecnologias de comunicação e informação fundamentadas na microeletrônica e em redes digitais de computadores que geram, processam e distribuem informação a partir de conhecimento acumulado”.

As tecnologias da informação e comunicação, conjugadas com uma nova organização social, possibilitaram a interligação dos fatores em escala mundial, com novos modelos de produção, nos quais indivíduos podem atuar de modo cooperativo em projetos comuns ou travar relações diretamente, com a redução dos custos de informação pelas plataformas digitais, obscurecendo-se a distinção entre produção e consumo da informação (Benkler, 2006). Dado que o provimento da infraestrutura tecnológica para a comunicação passou a ser chave, observou-se forte elevação do valor e do poder econômico dos provedores, que passaram a marcar a economia por um novo modelo, chamado de “economia de plataformas”. Nesse modelo, cada plataforma conecta dois grupos de agentes, em um “mercado de dois lados”, oferecendo serviços a baixo custo ou, por vezes, gratuitos a um dos lados, de modo a coletar dados e processá-los para gerar valor a ser comercializado para o outro lado da plataforma (exemplo: redes sociais ou ferramentas de busca que coletam dados e conteúdo gerados pela utilização gratuita, de modo a explorar economicamente o mercado de propaganda).

Esse modelo centra a economia na coleta e no processamento de dados de um lado da plataforma, gerando inteligência a ser explorada para obter ganhos econômicos da outra parte. Daí investimentos maciços em ferramentas de análise de dados e de inteligência artificial para, cada vez mais, incentivar o uso da plataforma, potencializando a coleta de dados, de modo a alimentar esse ciclo de geração de valor.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Dada a ênfase na coleta de dados, muitas vezes dados pessoais, Zuboff (2019) denomina esse modelo de “capitalismo de vigilância”.

A sociedade em rede, na qual se estrutura a nova economia digital, provocou, assim, profundas mudanças institucionais, econômicas, sociais, tecnológicas, culturais e comportamentais, fazendo surgir, por consequência, questionamentos sobre o papel do direito frente aos novos tipos de conflito nessa nova ordem econômica.

Tal transformação das relações produtivas é observada nos mais diversos setores econômicos, inclusive no setor agrícola. Como evidenciado nos capítulos precedentes deste livro, constata-se uma ampla utilização de tecnologias da informação e comunicação na agricultura baseada em conteúdos digitais. Observa-se, também, que os dados gerados pelo consumo da tecnologia também geram valor aos seus ofertantes, que podem elevar a eficiência de seus serviços, o que é virtuoso, mas também podem gerar concentração de poder ou questionamentos sobre a autonomia do produtor do qual o dado é extraído. Nesse novo cenário, surgem novas implicações jurídicas, tendo em vista a intervenção de diversos novos agentes na atividade produtiva, que se refletem na esfera autoral, de responsabilidade civil, proteção de dados pessoais, de acesso a bens e serviços em relações de consumo, bem como de natureza trabalhista. Assim, de forma complementar e transdisciplinar, este capítulo avança na análise abordando os aspectos do direito digital no âmbito da agricultura digital.

Diante do exposto, o objetivo deste capítulo é analisar a agricultura digital sob a perspectiva do direito. Para tanto, o capítulo está estruturado em cinco seções, incluindo esta introdução e a conclusão. Com recorte temático para o segmento econômico agrícola, a seção seguinte resgata alguns dos principais elementos que caracterizam a agricultura digital para servir como pano de fundo para a análise realizada na sequência. A terceira seção apresenta uma revisão das abordagens sobre direito digital e o estágio de desenvolvimento dos conhecimentos referentes ao assunto, além de traçar um panorama mundial e brasileiro e analisar as implicações do direito na agricultura digital. Uma vez apresentados o marco legal do direito digital, recuperados os elementos constitutivos da agricultura digital, a próxima seção, de caráter mais empírico, discorre sobre o respaldo jurídico na atuação da Embrapa – enquanto um agente econômico digital – na aplicação de suas tecnologias da informação para a agricultura, apresentando instrumentos jurídicos que dão suporte aos negócios da Embrapa com ativos digitais, especialmente os que regulam a relação entre a Embrapa e seus usuários, nos serviços prestados pela empresa, por meio de seus sites e aplicativos móveis. Enfeixando o capítulo, seguem considerações finais à guisa de uma conclusão.

## 2 Agricultura digital: objeto de regulação pelo direito digital

Como apresentado nos capítulos antecedentes deste livro, está ocorrendo uma revolução tecnológica agrícola sem precedentes na História.

A evolução da produtividade total dos fatores (PTF)<sup>2</sup> confirma a elevação do papel central da tecnologia para o crescimento da produção agrícola e a diminuição da importância da terra. Segundo Gasques et al. (2019), a produtividade total dos fatores tem sido a principal fonte de crescimento da produção agropecuária. A atual fase do desenvolvimento agrário brasileiro caracteriza-se pela mudança no padrão de acumulação na agricultura, pois há diminuição do papel da terra e crescimento do papel do investimento em tecnologia, do uso do conhecimento e da aplicação do capital (Mendes, 2015).

No âmbito das tecnologias inovadoras aplicadas à agricultura, tem papel essencial para o crescimento da produção agrícola o avanço das TIC no campo. A TIC tem contribuído para diversas áreas de conhecimento, permitindo o armazenamento e o processamento de grandes volumes de dados, a automatização de processos e o intercâmbio de informações e de conhecimento (Massruhá, 2020).

Considerando a relevância da agricultura para a economia do país, ela necessita ter condições de absorver e utilizar inovações e tecnologias da informação, para ampliar a competitividade dinâmica do setor agrícola (Mendes et al., 2014).

Conforme descrito no capítulo 1, a evolução tecnológica no campo é contínua. Atualmente se consolida uma nova era de tecnologia agrícola, denominada agricultura digital, e está em curso a agricultura 5.0 (intensiva em uso de ferramentas de inteligência artificial - IA).

Segundo Cema (2017), a agricultura 4.0 está avançando para a agricultura 5.0. Enquanto a agricultura 4.0 caracteriza-se pela evolução de diversas tecnologias como redes de sensores, sensores em máquinas, drones, processamento de imagens de satélite, sistemas de tecnologia da informação baseados em nuvem, análise de grandes volumes de dados (*big data*), aplicações móveis e tratores autônomos, por sua vez já ocorre o limiar da agricultura 5.0, baseada fortemente na inteligência artificial, na robótica, na impressão 3D e 4D, na biologia sintética e na agricultura vertical.

Portanto, a agricultura 4.0 já abriu caminho para a próxima evolução da agricultura, a agricultura 5.0, que consiste em sistemas autônomos de decisão, veículos não tripulados, robótica e inteligência artificial (Cema, 2017).

---

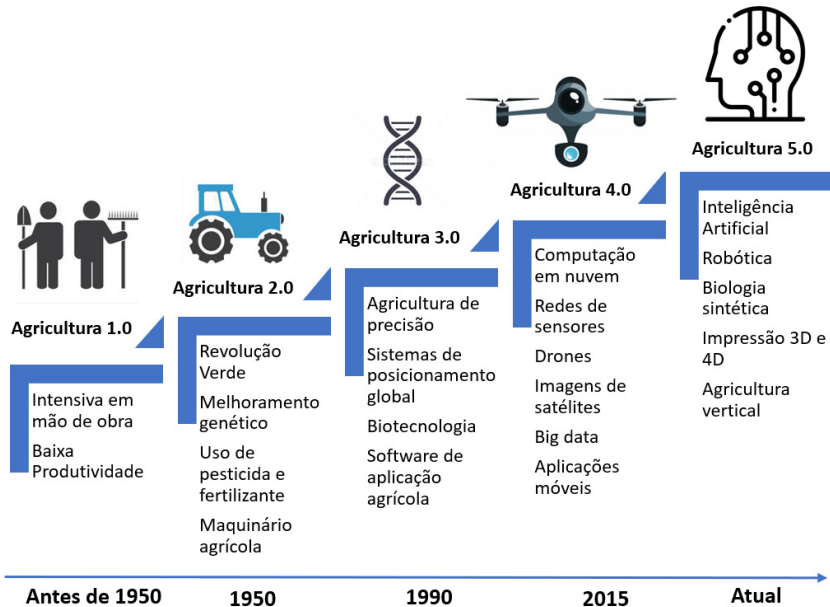
<sup>2</sup> O conceito de Produtividade Total dos Fatores (PTF) é definido como a relação entre o produto agregado e os insumos usados na produção (Gasques et al. 2019).

Observa-se, por conseguinte, que uma das características predominantes da agricultura 5.0 refere-se à expansão do uso de ferramentas de inteligência artificial. A inteligência artificial é um conceito amplo, que abrange estudos sobre veículos autônomos, aprendizagem da máquina, que confere capacidade ao computador de perceber o ambiente ao redor, e identificação de padrões. A evolução da agricultura 1.0 para a 5.0 é representada, resumidamente, na Figura 1.

**Figura 1.**

Evolução da agricultura 1.0 para a agricultura 5.0.

Fonte: Adaptado de Mendes (2020), com base em Cerna (2017), Melgar (2018) e Massruhá (2020).



Como relatado nos capítulos anteriores, a Embrapa Informática Agropecuária é uma das instituições públicas integrantes do ecossistema de inovação agrícola que desenvolve tecnologias para o avanço da agricultura digital. Todavia, apesar da ampliação de oferta de tecnologias digitais para a agricultura por diversas instituições públicas e privadas – como a Embrapa –, bem como o avanço da agricultura 4.0 para a agricultura 5.0, caracterizada, principalmente, pelo uso intensivo de dados, sistemas autônomos, veículos não tripulados, robótica e inteligência artificial, a agricultura digital também tem suscitado controvérsias. Em estudo recente da União Europeia, Schimpf (2020) discorre sobre alguns elementos dessas controvérsias, tais como: o movimento de fusões e concentração de mercado das grandes empresas do agronegócio na agricultura digital; as implicações sociais, éticas e legais da agricultura digital; e a necessidade de definição de marco legal para regulamentar os direitos, a propriedade e a privacidade de dados agrícolas. O Quadro 1 apresenta, sucintamente, tais controvérsias.

No que concerne ao movimento capitalista de fusões e incorporações no segmento da agricultura digital, Schimpf (2020) alerta para uma “corrida armamentista digital”, que pode culminar no domínio de ferramentas digitais por empresas globais de produtos agroquímicos, a exemplo do que se observa nos segmentos de sementes e pesticidas.

Dimensões	Elementos
<b>Fusões e concentração no mercado da agricultura digital</b>	
Monsanto e Bayer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A fusão da Monsanto e da Bayer (em 2018) permitirá que as empresas combinem suas aquisições agrícolas digitais com seus negócios de sementes, Organismos Geneticamente Modificados e produtos químicos, criando uma plataforma digital sem precedentes em toda a cadeia agrícola.</li> <li>• A integração permite às empresas extrair dados dos agricultores e usá-los para direcionar suas escolhas de produtos, tornando os agricultores tecnologicamente dependentes na cadeia de valor da empresa.</li> <li>• Criar plataformas de balcão único, oferecendo aos agricultores um pacote de serviços inclusivo e orientações às decisões ao longo do ano.</li> </ul>
John Deere e empresas mundiais de sementes e pesticidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• John Deere (empresa de máquina agrícola) está investindo na agricultura digital.</li> <li>• Fez parceria com empresas globais de sementes e pesticidas, tais como: Bayer/Monsanto, Syngenta/ChemChina, Corteva (Dow, Dupont, Pioneer) e BASF.</li> <li>• Desenvolvimento de plataforma própria para agricultura digital, automação e dados.</li> </ul>
Empresas mundiais investindo na digitalização agrícola	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargill (atua principalmente com grãos) investiu na digitalização do setor pecuário, incluindo laticínios.</li> <li>• Empresas de outros segmentos investem em projetos de agricultura digital: Sony, Philips, Orange, Uber, Bosch, Siemens, Google e Microsoft.</li> </ul>
<b>Implicações sociais, éticas e legais da agricultura digital</b>	
Coletar e armazenar dados agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Há o risco de utilização indevida dos dados coletados.</li> <li>• Práticas anticoncorrenciais, incluindo discriminação de preços e especulações em commodities.</li> <li>• Pode afetar a segurança alimentar.</li> </ul>
Rendimento e desempenho contidos nos dados agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As informações relacionadas a rendimentos e desempenho do cultivo vegetal ou do manejo animal contidas nos dados coletados podem fornecer uma vantagem de mercado para as empresas de sementes e fertilizantes que as detêm.</li> <li>• Os dados agrícolas transmitidos para grandes empresas do agronegócio podem influenciar o preço dos insumos.</li> </ul>

**Quadro 1.** Agricultura digital: controvérsias suscitadas na Comunidade Europeia  
Fonte: Adaptado de Schimpf (2020).

Continua...

**Quadro 1.**  
Continuação.

Dimensões	Elementos
<b>Direitos, propriedade e privacidade de dados</b>	
Regras para uso e acesso aos dados agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Um grupo agrícola da União Europeia publicou um código de conduta para definir os direitos de uso dos dados.</li> <li>• O código recomenda celebração de contratos de licença entre agricultores (como proprietários dos dados) e empresas do agronegócio.</li> <li>• Os agricultores devem manter seu direito de decidir quem pode acessar e usar seus dados, incluindo compensação monetária pela utilização.</li> </ul>
Proteção e governança de dados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A Europa está perto de permitir a centralização e a concentração de dados em uma escala sem precedentes, com a ausência de qualquer regulamento.</li> <li>• O poder de centralização e concentração dos dados nas mãos de grandes empresas do agronegócio tem a probabilidade de lhes conferir poder de decisão sobre as fazendas em todo o processo produtivo, desde a semente até a colheita.</li> <li>• As grandes empresas do agronegócio que detêm os dados estão na posição central do poder, criando valor agregado e ganhando grande parte da renda gerada na agricultura digital.</li> <li>• Na ausência de um marco legal para a agricultura digital, as partes mais fracas (os agricultores) perderão seus dados para as plataformas de grandes corporações.</li> </ul>

Os dados são considerados o combustível – ou o petróleo – do século XXI. Entretanto, seu valor agregado depende da capacidade de análise, geração de informação e conhecimento para subsidiar processos decisórios. Na agricultura digital baseada em dados, existem os agricultores que geram os dados de sua propriedade agrícola, há aqueles que são capazes de coletar e processar os dados por meio de máquinas e dispositivos digitais, e existem ainda aqueles que são capazes de analisar os dados, geralmente as empresas do agronegócio.

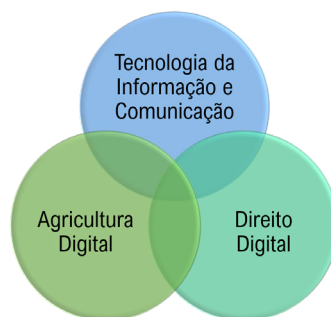
Portanto, os agricultores que usam máquinas inteligentes geram dados sobre sua propriedade agrícola – por vezes, inclusive, dados pessoais – e podem manter seus direitos sobre esses dados. Entretanto, a agregação de valor dos dados depende de modelos de análise para gerar prescrições agrônomicas que possam ser comercializadas por meio de plataformas digitais.

O estudo da União Europeia sobre agricultura digital aponta que há o risco de a digitalização da agricultura ser impulsionada apenas para o lucro e pela disponibilidade de ferramentas e tecnologias, em vez de ser norteada para o atendimento a demandas específicas identificadas na agricultura, no meio ambiente ou na sociedade. O risco, apontado na literatura, diz respeito ao excesso de concentração econômica, retroalimentada por uma concentração de dados, gerando uma vantagem competitiva para grandes grupos agrícolas que, dificilmente, poderá ser contestada por concorrentes ou novos



agentes. Isso pode acarretar implicações importantes para a agricultura e a pecuária e para a proteção dos recursos naturais e da biodiversidade, pois o detentor de dados pode controlar o alimento, os agricultores e o campo (Schimpf, 2020). Daí a necessidade de atuação das autoridades de defesa da concorrência e de proteção de dados para evitar abusos de poder de mercado ou abuso na coleta e no emprego de dados pessoais fora de sua finalidade. Para enfrentar essas preocupações, também é válido suprir lacunas na legislação, por regulações direcionadas especificamente para a agricultura digital, levando em consideração propostas para mitigar efeitos da concentração econômica e do monopólio de dados, além de direcionar o uso de dados e inteligência artificial para empregos que sejam socialmente benéficos, garantindo-se, ademais, a propriedade, a governança dos dados e a privacidade dos agricultores.

Portanto, a relevância de se ter uma proteção legal e uma regulamentação quanto ao uso e a governança dos dados agrícolas – coletados, processados e analisados por meio de ferramentas da agricultura digital – remete à interconexão e às relações advindas de três elementos, representados na Figura 2.



**Figura 2.** Interconexão entre Agricultura Digital, Tecnologia da Informação e Comunicação e implicações do Direito Digital

Fonte: Mendes (2020).

### 3 Direito digital: linhas introdutórias

No âmbito da ciência jurídica nacional, diversos autores vêm se dedicando a estudar as transformações das relações jurídicas decorrentes dos avanços da tecnologia da informação, tais como Leite (2016), Maranhão (2018), Novais e Freitas (2018), Nogueira e Nogueira (2019) e Abrusio (2020).

A sociedade em rede, no cerne da economia digital, é permeada por novos tipos de conflitos em relações que se travam em ambientes virtuais ou com a atuação de agentes artificiais, colocando uma série de questões difíceis. Assim, por exemplo, qual a responsabilidade de plataformas on-line que oferecem a infraestrutura técnica, quando a comunicação por ela apenas intermediada provocar danos a direitos individuais? Se dados pessoais são a principal fonte de valor na economia digital, sua coleta deveria ser remunerada? Como retribuir produtores rurais pelos dados gerados com o uso de produtos digitais?

E como garantir que o produtor possa controlar o uso de seus dados pessoais? Os dados pessoais são uma espécie de propriedade? E a quem pertencem as inferências obtidas a partir de agregados de dados pessoais? Como avaliar o poder de mercado de plataformas digitais em uma economia constantemente pressionada por inovações? Pode haver vício de consentimento em um contrato firmado eletronicamente por uma inteligência artificial? O que significa “consentimento” em relação a uma inteligência artificial? Um aplicativo que facilite a interação entre motoristas e passageiros, recebendo retorno financeiro, estabelece com o motorista uma relação empregatícia? Caso haja erro na indicação do período de colheita por uma inteligência artificial, prejudicando produtores e comprometendo investimentos, quem será o responsável?

Em geral, diversos regramentos, códigos e precedentes judiciais criados no século passado tinham como instâncias prototípicas relações sociais e econômicas no mundo físico. Sua aplicação a conflitos no ambiente digital pode enfrentar uma série de lacunas ou indeterminação e inadequação de conceitos. Tais dificuldades, como mostram as questões do parágrafo anterior, manifestam-se nos mais diferentes ramos do direito (direito trabalhista, concorrencial, registral, contratual, responsabilidade civil etc.).

É natural, portanto, a questão sobre a natureza jurídica dos conflitos oriundos do ambiente virtual. De um lado, alguns defendem a criação de um novo ramo do direito, chamado de direito digital, direito cibernético ou, ainda, direito informático. Para Pinheiro (2019), o direito digital é a evolução do direito e abrange os princípios fundamentais e os institutos jurídicos<sup>3</sup> do direito vigentes e aplicados atualmente, bem como introduz novos institutos. Alimenta essa vertente a criação de regulamentações específicas, como o Marco Civil da Internet, que trata de responsabilidades dos provedores de conexão e de aplicações on-line, bem como o desenvolvimento de conceitos novos ou o reconhecimento de novos tipos de direito fundamental, como o direito à autodeterminação informativa.<sup>4</sup>

Por outro lado, reconhece-se que as questões e os conflitos digitais são transversais, afetando diferentes ramos do direito, o que poderia levar à conclusão de que não há um novo ramo de direito, mas apenas a aplicação dos diferentes ramos a um novo objeto. Pimentel (2018, p. 37) defende, em linha conciliadora, que o “Direito Digital abrange todas as áreas do Direito, de maneira transversal, e congrega novos elementos para dirimir os conflitos

---

<sup>3</sup> Institutos jurídicos são um conjunto de normas reguladoras de certa criação legal, com características próprias, constituindo uma entidade autônoma de direito, que atende a interesse de ordem privada ou pública (Jusbrasil, 2020).

<sup>4</sup> Ver a esse respeito a decisão do Supremo Tribunal Federal (STF), no julgamento da Medida Cautelar na Ação Direta de Inconstitucionalidade 6.387 - Distrito Federal, que suspendeu os efeitos da Medida Provisória nº 954/2020 e reconheceu o direito fundamental à autodeterminação informativa (Brasil, 2020b).

surgidos com a tecnologia, especialmente a internet, e regular as relações da denominada sociedade da informação”.

Maranhão (2018), por sua vez, enfatiza o aspecto de reconstrução conceitual impulsionado pelos novos conflitos no ambiente digital, que afeta todas as manifestações do direito. Essa reconstrução é bidirecional: não só os conceitos jurídicos formulados para o mundo físico, nos diferentes ramos, são adaptados para um possível “universo digital”, como também os novos conceitos elaborados no âmbito digital afetam sua aplicação no mundo físico. Nessa linha, Maranhão (2018) argumenta que a sociedade está diante de uma transformação do próprio direito, que poderá afetar diversos ramos jurídicos, numa nova reconfiguração de seus conceitos fundamentais como responsabilidade, propriedade, relação de emprego, manifestação de vontade etc.<sup>5</sup>.

Desse modo, é possível circunscrever um conjunto de temas, inclusive com legislação específica, típicos para um ramo de “direito digital”, como neutralidade de redes, bancos de dados, comércio eletrônico, proteção de dados pessoais, inteligência artificial, obrigações e responsabilidades de provedores de aplicações e conexão na internet, mas sem perder de vista que os conceitos desenvolvidos nesse ramo, por seu caráter transversal, trazem implicações transformadoras para o direito como um todo.

É preciso, portanto, empreender uma análise de “baixo para cima”, isto é, entender quais as características e os impactos de determinada tecnologia aplicada em um domínio específico, como a produção agrícola, para então identificar suas implicações sobre direitos e deveres em possíveis conflitos e entender se o conceito ou instituto jurídico, em geral formulado para o mundo físico, pode ser aplicado ou precisa ser adaptado. O esforço de adaptação não pode ser isolado, devendo-se pensar em todos os conceitos relevantes para o domínio: exemplo, em que medida eventual alargamento ou restrição da responsabilidade civil pode afetar a responsabilidade por danos ambientais e vice-versa? Eventual interpretação conservadora, em determinada decisão judicial, que atribua a responsabilidade civil por danos provocados por determinada escolha de uma inteligência artificial ao seu desenvolvedor, levaria à responsabilização também por danos ambientais, criando um passivo potencial capaz de levar ao desincentivo ao desenvolvimento e ao emprego dessa tecnologia. Daí a necessidade de se elaborarem, de modo coerente, os conceitos jurídicos, pensando em todas as suas implicações para o sistema jurídico e suas consequências sobre a atividade econômica.

---

<sup>5</sup> O capítulo não tem a pretensão de exaurir tão profunda discussão sobre a gênese do direito digital. Para aprofundar o debate, além dos citados trabalhos de Pinheiro (2016), Maranhão (2018) e Pimentel (2018), ver também Hoeschl (2011), Madalena (2016) e Costa e Pendiuk (2020).

A aplicação do direito deve, portanto, avaliar, de forma ampla, os interesses em jogo, buscando compreender os novos desafios que nos confrontam quando máquinas, solos, animais e outras informações da propriedade rural são monitoradas por empresas que geram imenso volume de dados decorrente da atividade rural e passam a deter preciosas e qualificadas informações submetidas ao tratamento de *Big Data*. Essas informações valiosas podem ser usadas por empresas desenvolvedoras para, eventualmente, induzir comportamentos relacionados à produção e ao consumo (Leite, 2016). A obtenção massiva de informações advindas da atividade rural e sua utilização pelas companhias desenvolvedoras dos sistemas informatizados integrados à agricultura digital são desafios para os formuladores de políticas públicas e para instituições de pesquisa agrícola pública, como a Embrapa, que desenvolve esses sistemas informatizados. Saber como lidar com as questões jurídicas advindas da geração e uso desse grande volume de dados é fator relevante para a Embrapa.

Esse tema de vanguarda motivou a criação de diversos centros de pesquisa, para dar suporte ao crescimento do direito digital, numa perspectiva multidisciplinar abrangendo ciência da computação, engenharia e direito (Maranhão, 2017). O Quadro 2 lista alguns desses centros, não de forma exaustiva, mas a título de exemplificação.<sup>6</sup>

**Quadro 2.**  
Centros de pesquisa em direito digital

Fonte: Maranhão (2017) citado por Mendes (2020).

Centro de pesquisa	Instituição/país	Site
The Standford Center for Legal Informatics (CodeX)	Universidade de Standford, Estados Unidos	<a href="https://law.stanford.edu/codex-the-standford-center-for-legal-informatics/">https://law.stanford.edu/codex-the-standford-center-for-legal-informatics/</a>
Centro de Pesquisa em Informática Jurídica (Cirsfid)	Universidade de Bologna, Itália	<a href="http://www.cirsfid.unibo.it/">http://www.cirsfid.unibo.it/</a>
Programa de Sistemas Inteligentes	Universidade de Pittsburgh, Estados Unidos	<a href="http://www.isp.pitt.edu/">http://www.isp.pitt.edu/</a>
Centro de Tecnologia, Ética, Direito e Sociedade	King's College London, Inglaterra	<a href="https://www.kcl.ac.uk/law/research/centres/telos">https://www.kcl.ac.uk/law/research/centres/telos</a>
Institute for Ethics in Artificial Intelligence	Universidade Técnica de Munique	<a href="https://ieai.mcts.tum.de/">https://ieai.mcts.tum.de/</a>
Lawgorithm <sup>6</sup>	Universidade de São Paulo, Brasil	<a href="https://lawgorithm.com.br/">https://lawgorithm.com.br/</a>
Associação Internacional de Inteligência Artificial e Direito		<a href="http://www.iaail.org/">http://www.iaail.org/</a>

<sup>6</sup> O Lawgorithm é uma associação de pesquisa em inteligência artificial aplicada ao direito, criada em 2017 na Universidades de São Paulo, e agrega profissionais do direito, da engenharia, da computação, Escola Politécnica e Instituto de Matemática e Estatística da USP (Maranhão, 2019).

Tais centros abordam duas perspectivas da interação entre tecnologia da informação e inteligência artificial e o direito: a) **direito da inteligência artificial**, que busca compreender tecnicamente os agentes digitais (tais como as ferramentas de IA desenvolvidas pela Embrapa) e refletir sobre quais são os impactos sociais e as novas questões jurídicas deles decorrentes; b) **inteligência artificial no direito** – as aplicações da inteligência artificial à prática jurídica (para prever decisões, realizar buscas de jurisprudência inteligentes, gerar documentos jurídicos automaticamente, uso de *chat bots* sobre temas jurídicos etc.) (Maranhão, 2017).

Sob a primeira perspectiva, do direito da inteligência artificial, Maranhão (2017) destaca que suas aplicações trazem novos tipos de conflito e novas questões, ao menos, para as seguintes áreas do direito:

- a) **propriedade intelectual**: o uso de inteligência artificial para a criação de obras intelectuais – tais como software, modelos de utilidades, marcas e desenhos industriais – traz as questões: quem são os titulares de direitos patrimoniais ou morais de autor? O titular seria o desenvolvedor de software ou a empresa que investiu no desenvolvimento do programa? Esse primeiro tópico pode ter implicações relevantes para as atividades da Embrapa e da agroindústria, na medida em que inteligências artificiais<sup>7</sup> podem ser usadas na criação de novos cultivares, dentre outras formas de propriedade intelectual.
- b) **responsabilidade civil**: sistemas que empregam inteligência artificial podem, eventualmente, violar direitos de terceiros, pois sistemas baseados em aprendizado de máquina tomam decisões autônomas a partir da análise de *Big Data*. Esse aspecto certamente terá relevo para a aplicação de inteligências artificiais no processo produtivo, bastando pensar em uma cadeia de investimentos para determinado cultivo, apontado por inteligência artificial, que se mostre equivocado, ou uma inteligência artificial que empregue determinado defensivo agrícola em dose inadequada, comprometendo uma produção.
- c) **proteção de dados**: sistemas de inteligência artificial, a cada interação, recolhem dados para futura tomada de decisões. Questiona-se como esses dados são colhidos, processados e utilizados. Os dados processados, eventualmente, caso sejam viesados, podem gerar decisões automáticas que interferem em direitos individuais. Portanto, as preocupações referem-se ao fato de o sistema de IA poder extrair conhecimento por trás de decisões

---

<sup>7</sup> Empregamos esse termo genérico “inteligências artificiais” para nos referir a sistemas ou programas de computador que incorporem alguma metodologia ou técnica de aprendizado de máquina ou de representação de conhecimento.

com base em complexos algoritmos de aprendizagem de máquinas e, também, à necessária regulação e garantia dos direitos das pessoas – físicas ou jurídicas – que são afetadas por tais decisões automatizadas. Também aqui pode haver questões relevantes, na medida em que inteligências artificiais passarem a coletar dados de produtores rurais, no intuito de traçar perfis para a oferta de bens de consumo ou, ainda, para buscar influenciar suas decisões sobre o que, quando e como produzir. Também podem surgir conflitos acerca da coleta de dados de trabalhadores rurais para a formação de perfis e monitoramento de seu trabalho.

- d) **impactos no emprego:** pode haver novas questões trabalhistas, relativas à contratação de trabalhadores, a partir de perfis elaborados com o uso de sistemas de inteligência artificial ou mesmo por contratações realizadas de modo automatizado e que podem envolver monitoramento do trabalhador pelo produtor rural. Embora não propriamente jurídico, o impacto do uso de inteligência artificial no emprego na atividade agrícola deve ser também analisado e ponderado para viabilizar programas de recolocação e capacitação dos agricultores, de modo que estejam aptos a lidar com a Agricultura 5.0.
- e) **direito ambiental:** sistemas de inteligência artificial são empregados para aumento de eficiência em determinada atividade. O foco em aumento da produtividade agrícola, natural motivador desses investimentos, pode negligenciar e trazer riscos ao meio ambiente, o que pode trazer novas questões acerca de responsabilidade por danos ambientais.

Além das implicações jurídicas destacadas, o uso de inteligências artificiais tem provocado uma série de questionamentos éticos. A discussão observa dois tipos de risco, o da superutilização, quando tais sistemas podem trazer impactos negativos a direitos humanos, e o da subutilização, quando o temor em relação às inteligências artificiais pode deixar de aproveitar seus potenciais benefícios à humanidade (Floridi et al., 2018).

Nos últimos anos, em resposta às preocupações acerca do emprego de inteligências artificiais, principalmente aquelas baseadas em *machine learning*, foram produzidos documentos, por órgãos governamentais, associações de pesquisa e organizações privadas, propondo parâmetros éticos para o desenvolvimento e a aplicação de sistemas de IA. Nos diversos documentos, há alguma convergência em torno dos princípios de transparência (deve estar claro para o usuário que interage com sistema artificial), explicabilidade (divulgação de informações ao interessado, que permitam ao usuário entender os critérios para tomada de decisão), não discriminação (evitar que os sistemas incorporem vieses que possam ofender direitos fundamentais), não maleficência (sistemas de IA não podem prejudicar humanos), responsabilidade e privacidade/proteção de dados, muito embora haja divergências



sobre seu significado e forma de implementação (Jobin et al., 2019). Por serem gerais, vagos e potencialmente conflitantes, há dificuldade em relação à sua implementação.<sup>8</sup>

A União Europeia criou o *High-Level Expert Group* de IA, que produziu dois *reports*, um para definir a inteligência artificial, indicando seus potenciais benefícios e riscos, e outro para estabelecer padrões éticos para a inteligência artificial.<sup>9</sup> Embora haja receio quanto à intervenção regulatória em ambiente em constante transformação (Maranhão; Coutinho, 2019), a Comissão Europeia divulgou, no início de 2020, o *White Paper “On Artificial Intelligence - A European Approach to excellence and trust”*, no qual aponta para a regulação, principalmente naquelas áreas consideradas de risco (saúde, transporte, energia e parte dos serviços públicos, além daquelas aplicações que afetam direitos de trabalhadores e identificação biométrica remota). Não há propriamente uma sugestão de regulação ou proibição de metodologias, mas a indicação da conveniência de adoção, pelos desenvolvedores de IA, da transparência interna, isto é, obrigatoriedade de documentação de todo o processo decisório de desenvolvimento do software (concepção, treinamento, lançamento, monitoramento), bem como da inclusão de relatórios, que avaliem o agregado de outputs, que sejam de fácil acesso em auditorias.

No Brasil, há iniciativa, pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, de publicar uma Estratégia Nacional de IA, que deverá pautar os alvos de investimento nessa tecnologia no país, além de estabelecer parâmetros éticos (Brasil, 2020a). Há também dois projetos de Lei em tramitação no Senado. Sobre o tema, ver a contribuição do instituto *Lawgorithm*, defendendo a necessidade de definição de parâmetros éticos “*bottom up*”, isto é, levando em consideração as peculiaridades de cada setor de aplicação.<sup>10</sup> Assim, por exemplo, os parâmetros éticos específicos para aplicação na produção agrícola devem ser distintos daqueles aplicados à medicina ou ao direito.

Por fim, sob a perspectiva da inteligência artificial aplicada ao direito, embora não seja o campo de aplicação agrícola, vale notar outra fronteira de pesquisa. Dada a ubiquidade dos sistemas de IA e a impossibilidade de fiscalização humana de todas as possíveis tomadas de decisão e ações por agentes digitais inteligentes, é imperativo que as inteligências artificiais incorporem agentes éticos/legais inteligentes, capazes de processar o direito ou as normas

<sup>8</sup> Esta dificuldade pode ser vista em recente relatório do Berkman Klein Center (*Principled Artificial Intelligence: Mapping Consensus in Ethical and Rights-Based Approaches to Principles for AI*, 2020), associado à Universidade Harvard, que identificou 36 conjuntos de princípios potencialmente conflitantes.

<sup>9</sup> AI-HLEG A definition of AI: Main capabilities and scientific disciplines e AI-HLEG Ethic Guidelines for a Trustworthy AI.

<sup>10</sup> Disponível em: <https://lawgorithm.com.br/estrategia-nacional-de-inteligencia-artificial/>

morais computacionalmente (ver, nesse sentido, o projeto *CompuLaw* da Comunidade Europeia<sup>11</sup>). Para tanto, é necessário que as regras éticas definidas para cada setor de aplicação tornem-se computáveis. Não basta um modelo de programação regimental, no qual o programador impeça determinadas ações *ex-ante*, pois os sistemas de IA adaptam seu comportamento às circunstâncias. Assim, os sistemas de IA precisarão processar e aplicar regras éticas e legais no momento de escolha sobre seu curso de ação, considerando peculiaridades do contexto.

No campo agrícola, uma inteligência artificial que tome decisões sobre cultivo e defensivos agrícolas deve incorporar um agente legal digital, que assegure o *compliance* com as regras ambientais em vigor. A criação de agentes éticos/legais inteligentes ou o desenvolvimento de um “direito computável” depende de investimentos em pesquisa, sendo hoje uma das áreas de vanguarda em inteligência artificial e direito.<sup>12</sup> A perspectiva de aplicação de inteligências artificiais na agricultura deverá estar atenta a esses desenvolvimentos, de modo a buscar desenvolver sistemas que levem em consideração a conformidade ética e jurídica em suas tomadas de decisão.

Para a Embrapa – enquanto agente digital que integra o ecossistema de inovação agrícola e que desenvolve e disponibiliza ferramentas digitais para a agricultura –, é relevante analisar os aspectos legais decorrentes da TIC aplicada à agricultura e explorar questões que estão na interface entre o direito e o desenvolvimento tecnológico da agricultura digital.

As ferramentas digitais para a agricultura desenvolvidas pela Embrapa podem ser objeto de regulamentação, por intermédio de instrumentos jurídicos que dão suporte aos negócios da Embrapa com ativos digitais, para disciplinar a relação entre a Embrapa e seus usuários, nos serviços prestados pela empresa, por meio de seus sites e aplicativos móveis.

## 4 Ativos digitais para a agricultura: respaldo jurídico na atuação da Embrapa

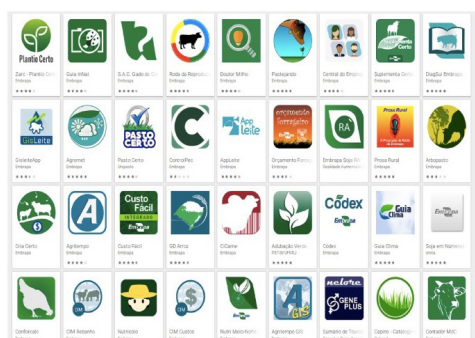
Acompanhando essa realidade de revolução tecnológica agrícola, a Embrapa vem enriquecendo sua carteira de ativos digitais com a ampliação da oferta de serviços e produtos por meio eletrônico, visto que pesquisa e inovação no agronegócio estão cada vez mais associadas ao digital. A Embrapa possui um

<sup>11</sup> Disponível em: <https://cordis.europa.eu/project/id/833647>

<sup>12</sup> No Brasil, apenas a Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo oferece disciplinas relativas ao direito computável, na pós-graduação.

total de 292 softwares e serviços web<sup>13</sup>, que abrangem ampla diversidade de temas com o propósito de atender demandas da sociedade.

Dentre os aplicativos móveis que foram disponibilizados, o campeão de downloads é o “Roda da Reprodução”, que já possui 18.828 instalações ativas<sup>14</sup>. Referida ferramenta foi desenvolvida para auxiliar no gerenciamento de rebanhos leiteiros, permitindo monitorar de maneira simples os estágios produtivos e reprodutivos de um rebanho. O nome deve-se à exibição que o aplicativo oferece, apresentando o rebanho em uma roda que permite a visualização rápida desses estágios, em escalas de cores e posicionamentos. A utilização da tecnologia traz enorme facilidade e simplificação do trabalho de produtores rurais, fazendo-os abandonar o uso de fichas de acompanhamento do rebanho. A Figura 3 apresenta os aplicativos móveis disponibilizados pela Embrapa.



Aplicativo	Instalações ativas	Nota do Google Play
Roda da Reprodução	18.828	4,34
Zarc - Plantio Certo	8.218	3,92
Guia InNat	3.562	4,25
Doutor Milho	2.955	3,98
AppLeite	2.115	4,29
Suplementa Certo	2.113	4,52
AgroPragas Maracuja	1.865	4,69
Custo Facil	1.647	4,45
+Leite	1.550	4,4
S.A.C. Gado de Corte	1.535	4,32

**Figura 3.** Ativos digitais: aplicativos móveis disponibilizados pela Embrapa (junho de 2020).  
Fonte: Embrapa (2020).

No universo total de ferramentas digitais da Embrapa, mais da metade, 165, encontra-se disponível no Portal Embrapa, apta para transferência de tecnologia. Há de se ressaltar ainda que já foi realizada a qualificação de 119 ativos digitais<sup>15</sup>, utilizando-se os critérios da escala TRL/MRL<sup>16</sup>.

Imersa nessa realidade e necessidade do digital para o agronegócio, e atenta à sua figura jurídica de empresa pública federal e a toda a responsabilidade social e técnica que a envolve, a atuação da Embrapa está focada no trabalho multidisciplinar de sua equipe, a fim de assegurar que o desenvolvimento das tecnologias esteja sempre circundado da devida proteção jurídica.

<sup>13</sup> A totalização de 292 softwares e serviços web é de junho de 2020.

<sup>14</sup> Instalações ativas em junho de 2020.

<sup>15</sup> Dados de ativos digitais de junho de 2020.

<sup>16</sup> Escala dos níveis de maturidade tecnológica, escala TRL/MRL – do inglês Technology Readiness Levels/Manufacturing Readiness Levels.

Afinal, cumpre ao direito e seus operadores – advogados, juízes, membros do Ministério Público – enfrentar os desafios propostos pela tecnologia digital, promovendo a proteção jurídica devida não só aos desenvolvedores e proprietários, mas também aos usuários. Um dos principais desafios do jurista no mundo de hoje é pensar qual a repercussão do direito em vista das circunstâncias de fato completamente novas que ora se apresentam, ponderando a respeito dos caminhos para sua transformação (Lemos, 2005).

Com foco na sua finalidade de pesquisa, voltada para a inovação, cumpre aos advogados da Embrapa promover constante análise à aplicação disruptiva do direito voltado para a administração pública, com vistas a acompanhar as evoluções tecnológicas promovidas pelo corpo técnico da Empresa em decorrência das necessidades do agronegócio.

A burocracia espelha o modelo de funcionamento da sociedade industrial, hierarquizada e padronizada, enquanto a pesquisa requer flexibilidade de gestão para dar conta de seus objetivos de buscar o desconhecido e transformá-lo em novo bem ou serviço. Se pesquisa requer flexibilidade de gestão, a aplicação do direito na Embrapa demanda o mesmo requisito (Peregrino, 2018).

Assim, em busca de promover a devida proteção jurídica aos seus ativos digitais, a Embrapa, balizada não só por sua Política de Inovação, que tem como uma de suas premissas o alinhamento à legislação nacional de ciência, tecnologia e inovação e de propriedade intelectual, mas também pelas Leis Geral de Proteção de Dados – LGPD (Lei nº 13.709/2018) (Brasil, 2018) e de Acesso à Informação (Lei nº 12.527/2011) (Brasil, 2011), editou os principais instrumentos contratuais que dão amparo jurídico à gestão de negócios digitais da Empresa.

A LGPD enfatiza, em seu artigo 50 (Brasil, 2018), a importância da formulação de regras de boas práticas e de governança, que estabeleçam as condições de organização, o regime de funcionamento e os procedimentos adotados no tratamento dos dados, as normas de segurança, os padrões técnicos, as obrigações específicas para os diversos atores envolvidos, as ações educativas, os mecanismos internos de supervisão e mitigação de riscos e outros aspectos relacionados ao tratamento de dados pessoais e ao acolhimento das reclamações e dúvidas dos titulares dos dados.

Desse modo, a elaboração desses documentos-modelo buscou promover a segurança jurídica dos ativos digitais da Embrapa, além de também ser um mecanismo de uniformização do modo de relacionamento entre a Embrapa e seus clientes e usuários, de sorte a salvaguardar o macroprocesso de inovação da Empresa com eficiência e eficácia.

Foram confeccionados os seguintes instrumentos jurídicos: **Termo de Uso; Política de Privacidade; Contrato de SLA** (*Service Level Agreement*, na sigla em inglês, ou Acordo de Nível de Serviço) e **Diretrizes do Suporte Técnico**.

Referidos instrumentos são contratos eletrônicos atípicos que promovem a segurança jurídica aos serviços digitais, com capacidade de delimitar a responsabilidade tanto da Embrapa na prestação do serviço quanto do usuário na fruição deste, explicitando o modo e as condições de funcionamento do ativo.

O contrato eletrônico é caracterizado por empregar meio eletrônico para sua celebração ou por relacionar-se a negócio jurídico bilateral que resulta do encontro de duas declarações de vontade, celebrado por meio da transmissão eletrônica de dados. (Finkelstein, 2004 citado por Pinheiro, 2019)

Pode ser definido também como uma transação eletrônica em que as declarações de vontade se manifestam por meios eletrônicos, podendo ser, inclusive, manifestadas automaticamente por um computador (sistema informático automatizado), ou mediante a oferta pública em um site e a aceitação pelo consumidor através de um click (Lorezenti, 2006 citado por Pinheiro, 2019).

No tocante aos instrumentos Termo de Uso e Política de Privacidade, por inexistirem as definições legais, não há um consenso doutrinário acerca dos conceitos, sendo comum, entre autores, permear o conteúdo de um no outro.

Essa interposição existe entre os citados instrumentos em virtude de ambos explicitarem o modo de utilização do ativo digital, estabelecerem obrigações e esclarecerem as dúvidas acerca do funcionamento. Já o Contrato de SLA e as Diretrizes de Suporte Técnico, por serem mais específicos, não sofrem essa imissão.

No âmbito da Embrapa, o **Termo de Uso** é o contrato de adesão que permite que sejam estabelecidas as condições de acesso e de utilização do site ou do aplicativo móvel que deverão ser observadas pelos usuários. Referido instrumento relaciona importantes informações, por meio das quais se descreve o serviço ou produto. São cláusulas essenciais: as nomenclaturas adotadas, as obrigações do usuário e da Embrapa, o modo de funcionamento do aplicativo ou site, o custo de serviço, as hipóteses de eventuais pausas e encerramento do serviço e o modo como a Embrapa lida com informações de terceiros.

A **Política de Privacidade** trata dos termos e das condições de segurança que nortearão a relação a ser estabelecida entre a Embrapa e os usuários, especialmente a privacidade de informações de cunho pessoal dos usuários, de modo a ofertar a devida credibilidade e transparência aos usuários no uso de sites e aplicativos.

A Embrapa procurou, nesse documento, comunicar como serão utilizadas as informações inseridas pelo usuário no site ou no aplicativo, tais como dados cadastrais, e aquelas decorrentes da ferramenta de captura de informações, itens postados, mensagens armazenadas, informando, inclusive, que poderão ser compartilhadas com empresas parceiras ou utilizadas para pesquisas, no intuito de melhorar o desempenho do site ou aplicativo, bem

como se haverá cessão das informações a terceiros e como poderá se dar essa cessão.

Foram também delineados os direitos e deveres do usuário, havendo um capítulo específico acerca do compartilhamento com terceiros das informações concedidas pelo usuário, a fim de esclarecer as exceções que permitem o repasse de informações a terceiros, tais como por ordem judicial, determinação legal etc.

Ressalte-se que todos esses tópicos implicaram um trabalho jurídico de compatibilização das legislações aplicáveis à Embrapa como empresa pública. Afinal, conforme já mencionado, há de se atentar não somente às leis afetas à propriedade intelectual, inovação e proteção de dados pessoais, mas também às legislações pertinentes à Administração Pública, como a denominada “Lei de Acesso à Informação” (Lei nº 12.527/ 2011) (Brasil, 2011), que prevê concomitantemente o dever de dar acesso às informações públicas e o sigilo às informações de caráter privado.

O instrumento chamado **Acordo de Nível de Serviço**, comumente conhecido na sigla em inglês SLA (*Service Level Agreement*), é o documento exigido em qualquer relação contratual de TI, o qual mensura o desempenho e a qualidade com os quais um serviço é efetivamente entregue, por meio de critérios objetivos.

O objetivo do SLA é ser uma ferramenta de monitoração e controle do cumprimento do padrão estabelecido no acordo de serviço contratado entre as partes, permitindo deixar claras e inequívocas as expectativas do cliente e as obrigações e os limites de responsabilidade do fornecedor (Pinheiro, 2019).

Referido controle exige um monitoramento ostensivo, a estipulação de multas por desempenho insuficiente, *co-sourcing* (ter mais de um fornecedor) para evitar concentração, garantias e seguros, se aplicáveis (Pinheiro, 2019).

O SLA elaborado pela Embrapa traz a definição dos principais termos técnicos, apresenta o Cálculo de Atividade Mensal e de Níveis de Serviço, e traça as limitações que não são aplicáveis ao SLA, esclarecendo que não se aplicam a quaisquer problemas de desempenho ou de disponibilidade.

A Embrapa também previu eventual ressarcimento ao usuário, na hipótese de extrapolação do tempo de inatividade do serviço, o qual será efetuado somente por meio de crédito de serviço, cuja compensação não poderá ser feita unilateralmente pelo usuário em seus Valores de Serviços Mensais Aplicáveis.

Por fim, as **Diretrizes de Suporte Técnico** delineiam a responsabilidade do fornecedor de manter a estabilidade do serviço prestado, seja oferecendo apoio técnico, esclarecendo dúvidas ou realizando manutenções preventivas e corretivas, entre outras atividades de suporte.

O objetivo das diretrizes de suporte técnico é promover a satisfação dos clientes e dos usuários nos serviços prestados pela Embrapa, por meio de seus sites e aplicativos móveis, mediante o atendimento eficiente das respectivas



demandas, de forma mais célere possível, bem como pela manutenção do bom funcionamento dos serviços prestados por tais canais. Visam também corrigir eventuais paralisações ou perda de qualidade, dúvidas diversas, reclamações, solicitações de novos serviços e solicitações de mudanças dos serviços ou dos itens de configuração existentes.

Há de se ressaltar que a edição e a consolidação desses instrumentos jurídicos, pela CID e CSJ da SIN, para o devido amparo jurídico à gestão de negócios digitais da Embrapa, também estiveram atentas ao fato de que as normativas aplicadas a esse tipo de negócio devem ser “globalizadas”, para que sejam efetivas não só internamente, mas também no exterior. Afinal, o digital rompe fronteiras e é necessário haver compatibilidade com as diretrizes estabelecidas globalmente.

Atuando como suporte jurídico para a inovação e a concretização da pesquisa, visando à realização de uma agricultura movida a ciência, papel estatutário da Embrapa, é indispensável que seu corpo jurídico opere também de modo inovador no direito. Há de se ressaltar a necessidade da aplicação do direito com a devida atenção à repercussão e à indispensabilidade da tecnologia, para assim poder oferecer a adequada segurança jurídica, amparando a promoção e o acesso ao conhecimento, à ciência e à tecnologia. Mais especificamente, considerando tratar-se de uma estatal, submetida, portanto, às legislações afetas à Administração Pública, é imperioso concatenar suas obrigações sem que tais impeçam a inovação, ao contrário, que a auxiliem a ocorrer.

## 5 Considerações finais

A agricultura movida a ciência é uma realidade no Brasil. A Embrapa teve e tem relevante contribuição para a concretização desse fato – juntamente com instituições parceiras do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária –, por meio do desenvolvimento de soluções de PD&I para a sustentabilidade da agricultura, em benefício da sociedade brasileira.

Para que o Brasil continue sendo um competidor mundial na exportação de alimentos, bem como um ofertante para atender à demanda interna de alimentos, é imprescindível que os agentes da agricultura se capacitem e se apropriem das tecnologias digitais mais avançadas. Essa apropriação tecnológica qualifica a agricultura brasileira a enfrentar os desafios de alimentar o Brasil, melhorar o desempenho da participação do agronegócio na balança comercial e ampliar a competitividade do setor em relação aos concorrentes.

A inovação agrícola baseada em conteúdos digitais carece de uma governança participativa e com abordagens multidisciplinares, como a que se buscou apresentar neste capítulo, que lançou o olhar do direito sob a

agricultura digital. Para que ocorra o avanço profícuo da agricultura digital no Brasil, é imperioso que sua atuação seja focada: i) na solução dos problemas brasileiros agrícolas e para o desenvolvimento do sistema produtivo; ii) no atendimento aos objetivos do desenvolvimento sustentável para fomentar segurança alimentar no país; iii) na promoção de capacitação e apropriação de inovações tecnológicas digitais dos agricultores; iv) no avanço da digitalização no campo com inovações que valorizem e respeitem as pessoas, o clima, a biodiversidade e o meio ambiente.

Cumprir consignar o alerta sobre o risco de a agricultura digital ser controlada e estruturada por poucas empresas gigantes do agronegócio global, considerando o movimento de fusão e concentração de mercado, tendo como prioridade deter e monopolizar o petróleo do século XXI – os dados com valor agregado – para obtenção de lucros extraordinários. Para tanto, o marco legal de uso de dados, governança e privacidade precisa ser aprimorado e aplicado no âmbito das tecnologias digitais, seja da agricultura 4.0, 5.0 e em suas sucessivas ondas de avanços tecnológicos, para regulamentar as relações jurídicas das partes envolvidas na coleta, no processamento e na análise de dados agrícolas, buscando evitar ou minimizar os potenciais efeitos para induzir comportamentos de produção e consumo. Aqui se faz fundamental o papel de instituições de pesquisa pública agrícola, como a Embrapa, para promover um ponto de equilíbrio na disponibilização e na socialização de tecnologias digitais, buscando promover a equidade tecnológica entre os agricultores.

As perspectivas para o mundo e para o Brasil atinentes ao direito digital frente à digitalização da agricultura – vislumbradas pelos autores signatários deste capítulo – são o aprofundamento e o avanço qualitativo do debate sobre a temática, o aprimoramento do marco regulatório do direito digital, a ampliação do incentivo do Estado para o desenvolvimento científico, a pesquisa, a capacitação tecnológica e a inovação, como preconiza a Constituição Federal brasileira.

## 6 Referências

ABRUSIO, J. **Proteção de dados na cultura do algoritmo**. São Paulo: Ed. D'Placido, 2020.

BENKLER, Y. **The wealth of networks**: how social production transforms markets and freedoms. New Haven: Yale University Press, 2006.

BRASIL. Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011. Regula o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do art. 5º, no inciso II do § 3º do art. 37 e no § 2º do art. 216 da Constituição Federal; altera a Lei nº 8.112, de 11 de dezembro de 1990; revoga a Lei nº 11.111, de 5 de maio de 2005, e dispositivos da Lei nº 8.159, de 8 de janeiro de 1991; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 18 nov. 2011. Edição extra.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). **Diário Oficial de União**, 15 ago. 2018. Edição extra.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Estratégia brasileira de inteligência artificial**. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/inovacao/paginas/politicasDigitais/Inteligencia/Artificial.html>. Acesso em: 6 jul. 2020a.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Medida cautelar na Ação Direta de Inconstitucionalidade 6.387 - Distrito Federal**. Disponível em: <http://www.stf.jus.br/arquivo/cms/noticiaNoticiaStf/anexo/ADI6387MC.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020b.

CASTELLS, M. A. Sociedade em rede: do conhecimento à política. In: CASTELLS, M.; CARDOSO, G. (org.). **A sociedade em rede: do conhecimento a ação política**. Lisboa: Imprensa Nacional: Casa da Moeda, 2006. p. 17-30.

CEMA. **Digital Farming: what does it really mean? And what is the vision of Europe's farm machinery industry for Digital Farming?** Brussels: CEMA aisbl - European Agricultural Machinery, 2017. Disponível em: [https://www.cema-agri.org/images/publications/position-papers/CEMA\\_Digital\\_Farming\\_-\\_Agriculture\\_4.0\\_\\_13\\_02\\_2017\\_0.pdf](https://www.cema-agri.org/images/publications/position-papers/CEMA_Digital_Farming_-_Agriculture_4.0__13_02_2017_0.pdf). Acesso em: 17 fev. 2020.

COSTA, R. R. S.; PENDIUK, F. **Direito Digital: o marco civil brasileiro da internet e as inovações jurídicas no ciberespaço**. Disponível em: <http://publica.fespr.br/index.php/publica/article/viewFile/129/38>. Acesso em: 12 maio 2020.

EMBRAPA. **Ativos digitais: aplicativos móveis disponibilizados pela Embrapa**. Secretaria de Inovação e Negócios da Embrapa: Brasília, 2020. Apresentação em PowerPoint.

FINKLSTEIN, M. E. R. **Aspectos jurídicos do comércio eletrônico**. Porto Alegre: Síntese, 2004.

FLORIDI, L.; COWLS, J.; BELTRAMETTI, M.; CHATILA, R.; CHAZERAND, P.; DIGNUM, V.; LUETGE, C.; MADELIN, R.; PAGALLO, U.; ROSSI, F.; SCHAFFER, B.; VALCKE, P.; VAYENA, E. AI4People - An Ethical Framework for a Good AI Society: Opportunities, Risks, Principles, and Recommendations. **Minds and Machines**, n. 28, p. 689-707, Nov. 2018. DOI: [10.1007/s11023-018-9482-5](https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5).

GASQUES, J. G.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; BASTOS, E. T. Produtividade da agricultura brasileira: crescimento e inovação. In: VIEIRA, P. A.; CONTINI, E.; HENZ, G. P.; NOGUEIRA, V. G. C. (ed.). **Geopolítica do alimento: o Brasil como fonte estratégica de alimentos para a humanidade**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

HOESCHL, H. C. **Elementos de direito digital**. Disponível em: <https://siabi.trt4.jus.br/biblioteca/direito/doutrina/livros/elementosdedireitodigital.pdf>. Acesso em: 12 maio 2020.

JOBIN, A.; IENCA, M.; VAYENA, E. Artificial intelligence: the global landscape of ethics guidelines. **Nature Machine Intelligence**, v. 1, p. 389-399, Sept. 2019. DOI: [10.1038/s42256-019-0088-2](https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2).

JUSBRASIL. **Instituto jurídico**. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/topicos/297191/instituto-juridico>. Acesso em: 24 fev. 2020.

LEITE, G. C. Revolução digital no setor agribusiness pode gerar controvérsias jurídicas. **Consultor Jurídico**, set. 2016. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2016-set-15/guilherme-leite-questoes-juridicas-revolucao-digital-agribusiness>. Acesso em: 17 fev. 2020.

LEMOS, R. **Direito, tecnologia e cultura**. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 2005. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/2190>. Acesso em: 28 maio 2020.

LORENZETTI, R. L. **Comércio eletrônico**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2006.

MADALENA, J. Regulação das fronteiras da internet: um primeiro passo para uma teoria geral do direito digital. **Revista dos Tribunais Online**, v. 974, p. 81-110, dez. 2016.

MARANHÃO, J. A evolução da Inteligência Artificial aplicada ao Direito no Brasil. **Olhar Digital**, 30 jul. 2019. Disponível em: [https://olhardigital.com.br/colonistas/juliano\\_maranhao/post/a\\_evolucao\\_da\\_inteligencia\\_artificial\\_aplicada\\_ao\\_direito\\_no\\_brasil/88576](https://olhardigital.com.br/colonistas/juliano_maranhao/post/a_evolucao_da_inteligencia_artificial_aplicada_ao_direito_no_brasil/88576). Acesso em: 17 fev. 2020.

MARANHÃO, J. A pesquisa em inteligência artificial e Direito no Brasil. **Consultor Jurídico**, 9 dez. 2017. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2017-dez-09/juliano-maranhao-pesquisa-inteligencia-artificial-direito-pais>. Acesso em: 17 fev. 2020.

MARANHÃO, J. Inferências metafóricas e a reconfiguração do Direito na era digital. **Revista de Direito e as Novas Tecnologias**, v. 1, ano 1, p. 15-30, 2018.

MARANHÃO, J.; COUTINHO, D. R. Inteligência artificial: melhor investir do que regular. *Correio Braziliense*, 25 mar. 2019. Disponível em: <http://sampaioferraz.com.br/melhor-investir-do-que-regular/>. Acesso em: 13 out. 2020.

MARANHÃO, J.; MARQUES NETO, F. A.; COZMAN, F. G. **Perspectivas para a Inteligência Artificial e Direito**, 5 dez. 2019. Disponível em: <http://sampaioferraz.com.br/perspectivas-para-a-inteligencia-artificial-e-direito/>. Acesso em: 17 fev. 2020.

MASSRUHÁ, S. M. F. S. Entrevista. **Revista Presença Internacional do Brasil (PIB)**, ano 12, n. 39, dez. 2019/jan. 2020.

MELGAR, M. Digital agriculture or agriculture 4.0. **SugarJournal**, Oct. 2018.

MENDES, C. I. C. **Inteligência artificial na agricultura 5.0: uma análise sob a perspectiva do Direito Digital**. São Paulo, 2020. Mimeografado.

MENDES, C. I. C. **Transferência de tecnologia da Embrapa: rumo à inovação**. 2015. 386 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MENDES, C. I. C.; RIBEIRO, P. G. G.; BUAINAIN, A. M. Direito autoral na agropecuária: relato da experiência da Embrapa. In: BUAINAIN, A. M.; BONACELLI, M. B. M.; MENDES, C. I. C. (org.). **Propriedade Intelectual e Inovações na Agricultura**. Rio de Janeiro: IdeiaD, 2015. p. 263-284.

MENDES, C. I. C.; BUAINAIN, A. M.; FASIABEN, M. C. R. Uso de computador e internet nos estabelecimentos agropecuários brasileiros. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; ROMANI, L. A. S. (org.). **Tecnologias da informação e comunicação e suas relações com a agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 39-52.

NOGUEIRA, J. H. M.; NOGUEIRA, S. M. **Direito digital e cibernético: legislação específica**. Joinville: Clube dos Autores, 2019.

NOVAIS, P.; FREITAS, P. M. **Inteligência artificial e regulação de algoritmos**. Diálogos União Europeia e Brasil. Universidade do Minho. 2018. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/inovacao/paginas/politicasDigitais/assuntosCiberneticos/inteligencia-artificial-e-regulacao-de-algoritmos.html>. Acesso em: 17 fev. 2020.

PEREGRINO, F. Questões sobre a burocracia e as sociedades industriais e do conhecimento. In: SOARES, F. M., PRETE, E. K. E (org.). **Marco regulatório em ciência, tecnologia e inovação: texto e contexto da Lei nº 13.243/2016**. Belo Horizonte: Arraes Editores, 2018. p. 1-19.

PIMENTEL, J. E. de S. Introdução ao Direito Digital. **Revista Jurídica da Escola Superior do Ministério Público de São Paulo**, v. 13, n. 1. p. 16-39, 2018. Disponível em: [https://es.mpsp.mp.br/revista\\_esmp/index.php/RJESMPSP/article/view/352/340340364](https://es.mpsp.mp.br/revista_esmp/index.php/RJESMPSP/article/view/352/340340364). Acesso em: 13 out. 2020.

PINHEIRO, P. P. **Direito digital**. São Paulo: Saraiva, 2019.

SCHIMPF, M. **Digital farming**: can digital farming really address the systemic causes of agriculture's impact on the environment and society, or will it entrench them? Belgium: Friends of the Earth Europe, 2020. Disponível em: <http://www.foeeurope.org/sites/default/files/gmos/2020/foee-digital-farming-paper-feb-2020.pdf>. Acesso em: 25 maio 2020.

SOARES, F. de M.; PRETE, E. K. (org.). **Marco regulatório em ciência, tecnologia e inovação**: texto e contexto da Lei nº 13.243/2016. Belo Horizonte: Arraes, 2018. 222 p.

ZUBOFF, S. **The age of surveillance capitalism**. Manhattan: Hachette, 2019.



# 14 Inovando a comunicação na era da agricultura digital

Nadir Rodrigues Pereira  
Flávia Bussaglia Fiorini  
Magda Cruciol  
Vinícius Milléo Kuromoto

## 1 Introdução

As novas mídias revolucionaram a forma de comunicação humana, produzindo novos hábitos sociais. Com a facilidade de acesso à informação, o cidadão tornou-se mais consciente de seus direitos e muito mais exigente no atendimento às suas necessidades e expectativas. Além disso, esse novo perfil do consumidor moderno e do usuário de produtos e serviços impele as empresas a preocuparem-se ainda mais com a prestação de contas ao público, a transparência de suas ações e a responsabilidade social.

Em um ambiente regido pela alta competitividade, o conhecimento tem sido o propulsor do desenvolvimento econômico e social. Nesse contexto, a comunicação desempenha um papel fundamental no complexo ambiente de uma empresa pública de pesquisa, desenvolvimento e inovação, em que se depara com desafios de contribuir, de modo mais eficiente, para a divulgação do conhecimento científico produzido, e de levar à população, de forma inovadora, os resultados de pesquisas e tecnologias.

O século XXI é marcado pela comunicação digital; o cidadão anseia, cada vez mais, por informação rápida, em tempo real. Além disso, ele é um agente que ajuda a construir os conteúdos que compõem o conhecimento coletivo, ou seja, não se limita mais a receber as informações, numa comunicação unidirecional. Deseja participar, falar, ouvir e ser ouvido.



Com isso, a comunicação tende a ser cada vez mais horizontal, num sistema participativo, em todos os níveis, destacando-se o modelo de comunicação simétrica de duas mãos, caracterizado pelo equilíbrio entre os interesses das organizações e de seus públicos. Assim, exerce o papel de viabilizar os processos de mudança organizacional, na medida em que supera fronteiras, propicia maior acesso às informações e viabiliza o diálogo, estabelecendo estratégias para lidar com as transformações do ambiente.

As profundas transformações globais provocadas pela pandemia do novo coronavírus impôs às empresas e às instituições de ciência e tecnologia a necessidade premente de adequação ao novo cenário, sendo que essa reconfiguração tem como premissa a comunicação eficiente com a sociedade e seus públicos estratégicos. Assim, vimos crescer rapidamente a participação dessas entidades em portais interativos, comunidades virtuais e redes sociais, entre outros canais que possibilitam maior interação com cidadãos e consumidores.

A comunicação também é considerada um instrumento estratégico para despertar a motivação do público pela ciência, promover a interação e estimular a troca de saberes, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico, a democratização e a inclusão social. Essas contribuições são inerentes à missão das instituições públicas de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), como é o caso da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

Como falar com esse novo perfil de público; que linguagem usar; que canais podem ser construídos; como atender às necessidades de interação; de que forma sons, imagens e conteúdos podem ser agregados para despertar interesse e facilitar a comunicação, diante de tantas opções e ofertas disponíveis na web e nas redes sociais? Como se diferenciar e se destacar? Essas são apenas algumas das questões sobre as quais os profissionais de comunicação de instituições de PD&I vêm se debruçando, no sentido de inovar a comunicação e o relacionamento com a sociedade no contexto atual.

Na Embrapa Informática Agropecuária, Unidade da Embrapa referência em pesquisas na área de tecnologia da informação, os profissionais do Núcleo de Comunicação Organizacional (NCO) também enfrentam esses desafios, buscando desenvolver ações comunicacionais diferenciadas que tragam experiências inovadoras no relacionamento com os diversos públicos com os quais a Unidade interage.

Inúmeras soluções geradas pela pesquisa agropecuária são diariamente disponibilizadas em diversos formatos, buscando a ampla divulgação do conhecimento produzido. O objetivo é que as ações contribuam não só para levar de forma mais efetiva à sociedade os resultados de pesquisa, as tecnologias, os produtos e os serviços oferecidos, mas também para facilitar a interação com o público e captar as suas demandas.

Neste capítulo, são apresentados alguns dos resultados obtidos pela Unidade, frutos de uma comunicação integrada baseada em um planejamento adequado e consistente, que engloba as ações comunicacionais institucionais, mercadológicas e internas. Também são abordadas iniciativas para apoio ao processo de inovação e à gestão estratégica da Embrapa Informática Agropecuária, além da participação em projetos amparados por uma visão educacional, pautada na autonomia e na visão crítica dos sujeitos.

## 2 Novas tecnologias e a comunicação da ciência na Embrapa

As empresas e as instituições passaram a se preocupar mais intensamente com a comunicação organizacional no Brasil, a partir da segunda metade dos anos 1980. As mudanças políticas e, posteriormente, o fenômeno da globalização impuseram a necessidade de maior transparência nas relações das organizações com governos, organizações não governamentais, trabalhadores, sindicatos, fornecedores, imprensa e comunidades (Oliveira, 2013).

Desde a sua criação, em 1973, a Embrapa já se preocupava com a divulgação de seus atos administrativos para a sociedade. Por isso, nesse mesmo ano, o então presidente José Irineu Cabral contratou o primeiro jornalista a atuar na Empresa (Duarte; Barros, 2003). Em 1996, a Embrapa implementou uma Política de Comunicação, que contribuiu para reorganizar todas as suas áreas de atuação. Revisada e atualizada em 2002, a política define que a comunicação, estratégica e integrada<sup>1</sup>, é um sistema de inteligência empresarial que tem como responsabilidade fundamental gerenciar as ações orientadas para a promoção do relacionamento da instituição com os ambientes interno e externo (Embrapa, 2002).

Essa política estabeleceu preceitos para apoiar o desenvolvimento de ações e de programas capazes de gerenciar a disseminação de informações para públicos estratégicos e fortalecer a imagem da instituição. Além de apoiar ações voltadas à popularização do conhecimento científico, a comunicação na Embrapa preocupa-se com a transferência dos resultados de pesquisa, desenvolvimento e inovação, contribuindo para melhorar a alfabetização científica da população brasileira.

Numa instituição de pesquisa, admitir a Comunicação Empresarial como estratégica implica dispor desta

---

<sup>1</sup> Entende-se por comunicação estratégica e integrada aquela que faz parte da filosofia da organização e norteia toda a comunicação gerada na empresa, integrando todas as ações comunicacionais, buscando o equilíbrio entre os interesses organizacionais e os de seus públicos. (Kunschik, 1997).

competência em todas as instâncias da organização, seja no momento de prospecção das demandas ou da construção de cenários, seja na interação com os públicos de interesse envolvidos em projetos e soluções encaminhadas pela empresa, ou na busca da interface necessária com a sociedade. (Embrapa, 2002, p. 15).

As ações de comunicação, além de beneficiar a Empresa e o governo, atuam, essencialmente, em prol da sociedade, na medida em que facilitam a disseminação dos resultados de pesquisa gerados na Embrapa e o acesso aos seus produtos, serviços e tecnologias. A Empresa tem o compromisso de “viabilizar soluções de pesquisa, desenvolvimento e inovação para a sustentabilidade da agricultura, em benefício da sociedade brasileira” (Embrapa, 2015, p. 8).

Com o advento das novas tecnologias de informação e comunicação (TIC), configurou-se um cenário desafiador para empresas e instituições promoverem a divulgação de suas ações, tecnologias, produtos e serviços aos seus públicos estratégicos, de modo inovador. Nesse contexto, o conhecimento tende a ser construído, cada vez mais, de forma coletiva, democrática e compartilhada, para que todos possam se beneficiar dos resultados obtidos e tomar suas próprias decisões.

O quadro evolutivo da tecnologia de informação, de um lado, e da comunicação, do outro, resultou – ao menos para aquelas organizações mais atentas às novas exigências competitivas – em um quadro francamente convergente. Uma transformação vital na comunicação organizacional parece estar em curso, considerando-se a expressividade dos investimentos em soluções de integração e relacionamento, que viabilizam a participação, cada vez mais intensa, de toda a cadeia de agentes do negócio no diálogo e na ação compartilhada. (Cardoso, 2020, p. 31).

No século XXI, não é mais possível que o processo de divulgação científica seja um modelo de “mão única”, construído sob uma visão unidirecional e sem a participação de todos os agentes interessados. As ferramentas da web propiciam a interatividade com o público, o qual deixa de ser mero consumidor de informação, podendo tornar-se coautor e partícipe do processo, exercendo o papel de agente ativo que atua e transforma a sua realidade.

O impacto das mudanças pode ser percebido em todas as atividades humanas, levando as instituições a repensarem suas políticas e a criarem estratégias para se manterem competitivas, além de socialmente responsáveis. Novas tecnologias também promovem alterações no processo de produção agrícola, com a introdução de métodos e ferramentas que modernizam a agricultura.

No caso da Embrapa, há um permanente olhar voltado ao monitoramento das demandas do ambiente externo, no sentido de alinhar a sua atuação. O VI Plano Diretor da Embrapa (PDE) é um documento norteador que estabelece as grandes linhas de orientação para as atividades a serem desenvolvidas na Embrapa, no período de 2014 a 2034, em consonância com as transformações do cenário mundial.

Durante a elaboração do VI PDE, a Empresa identificou a necessidade de aprofundar seus esforços no sentido de antecipar os desafios para garantir a sustentabilidade da agricultura brasileira, altamente afetada pela intensificação tecnológica. O avanço das TIC também oferece um enorme potencial para revolucionar o setor agropecuário, na medida em que surgem novas ferramentas e soluções tecnológicas que automatizam os processos agrícolas e impactam os modelos de negócio.

Em meio a essas profundas transformações, as atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) no setor agropecuário ocupam lugar central. As transformações tecnológicas ocorrem com rapidez, envolvendo a introdução de novos produtos e processos, em que o controle de genes e átomos torna-se o centro das mudanças. Existe uma clara tendência para o aumento da complexidade desse mercado com a disseminação de diversas tecnologias, tais como a agricultura de precisão, biotecnologia, nanotecnologia, fixação biológica de nitrogênio, biodefensivos, biorefinarias e embalagens inteligentes etc. O conceito de inovação não mais se refere apenas a produtos e processos, mas também à inovação dos modelos de negócio, da logística, dos serviços associados a produtos, da distribuição e comercialização, da gestão e organização. (Fonseca Júnior et al., 2009, p. 87).

A pesquisa agropecuária também tem, entre os seus atuais desafios, o de tornar a agricultura cada vez mais conectada (Rodrigues et al., 2020). As tecnologias digitais são a grande aposta para a transformação da agricultura brasileira, com base em conteúdo digital, tecnologia de ponta e conectividade, que caracterizam a era digital e a agricultura 4.0.

Foco de atuação da Embrapa Informática Agropecuária e da Embrapa, “a chamada agricultura 4.0 já era uma das prioridades na programação de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) da Empresa, mas com a pandemia, com certeza, vai crescer ainda mais para atender às demandas do setor produtivo”. (Diniz, 2020).

Com a convergência tecnológica, aliada à geração cada vez mais intensa de dados e informações, as tecnologias disruptivas têm um potencial imenso de aplicações em todas as atividades, passando pelo plantio, manejo, colheita

e pós-colheita. E a comunicação deve estar também atenta a todas essas inovações, ajudando na disseminação e na apropriação dessas soluções tecnológicas.

É importante destacar que o planejamento de comunicação deve ser estratégico, antecipando cenários, permitindo a participação dos integrantes da empresa, atentando para as expectativas dos públicos e expressando resultados almejados pela empresa, a curto, médio e longo prazos. (Galerani, 2006, p. 51).

## 2.1 Revolução digital e comunicação em rede

A concepção da comunicação como “convergência”, resultante da compreensão do processo comunicativo como fruto das interações sociais, substituiu a lógica difusionista pautada pela comunicação de “muitos para poucos” e passa a constituir um novo modelo, centrado na ideia de “todos para todos” (Lévy, 1999). As novas tecnologias digitais permitem romper as barreiras do tempo e do espaço, aproximando e estimulando as trocas de saberes, a cooperação e a criação coletiva na rede.

No espaço virtual, as interações podem ser potencializadas e os sujeitos são ativos, têm o direito a expressar-se e a interagir, trazendo propostas que beneficiam milhares de pessoas que se encontram interconectadas e ainda compartilhando soluções com aqueles que não têm acesso à rede. Por isso, é preciso inovar no sentido de não mais tratar o sujeito como um ser passivo, que recebe uma tecnologia pronta e precisa se adaptar para usá-la.

A revolução digital trouxe, assim como para diversas outras áreas, um novo horizonte para a comunicação organizacional. A restrição de espaço e tempo deixou de ser obstáculo, e a comunicação digital passou a permear espaços antes despercebidos ou ignorados. A digitalização universal obrigou um repensar não apenas para os veículos de comunicação formais, mas também para a sociedade, que descobriu novas maneiras de enviar notícias, receber informações, buscar atualização e, até, de estar presente. “O ciberespaço pressupõe uma mistura entre sujeito e objeto, impensável no processo de comunicação interpessoal e de massa.” (Santos, 2016, p. 4).

Com as novas mídias as pessoas podem trocar informações e compartilhar soluções mundiais, contribuindo para o desenvolvimento das “redes de conhecimento”. Esse modelo centrado em um tipo de comunicação de “todos para todos” (Lévy, 1999) pressupõe que qualquer pessoa tem condições de ser, ao mesmo tempo, consumidora e produtora de informação.

As ações de divulgação são amparadas pelos recursos da internet – uma forma de comunicação de “muitos-para-muitos” que, com a possibilidade de interação, revolucionou a comunicação humana e desenhou um novo paradigma de socialização das informações. (Pereira et al., 2010, p. 4).

Nesse contexto, a comunicação também deve se reinventar, atuando em rede, a exemplo do que já vem ocorrendo na produção da pesquisa, pautada pela participação de pesquisadores em redes virtuais colaborativas, que ampliam as possibilidades de troca de informação e geração de conhecimento. Uma nova dinâmica configura-se nessas redes, estimulando a colaboração, no sentido de se obterem os melhores resultados para os seus integrantes.

Nessas redes, os cientistas precisam ter uma estrutura comunicacional que facilite, de modo interativo e dinâmico, o intercâmbio de informações, conhecimentos, habilidades, competências, experiências, saberes e destrezas que os permitam, simultaneamente, integrá-las, interdisciplinar e transversalmente, favorecendo a construção de novos conhecimentos e as soluções que crescem valor para a sociedade. (Torres et al., 2012, p. 3).

A convergência tecnológica e os recursos multimídia oferecem potencialidades que permitem a organização de pesquisadores e estudiosos nessas redes, onde a participação e a colaboração são estimuladas tanto local como internacionalmente. Esse é um modelo que promove a criação colaborativa, com o uso de recursos tecnológicos livres e abertos, disponíveis a múltiplas instituições, que se beneficiam das ideias e das melhorias coletivas. Como exemplo, podem-se citar as várias iniciativas que estão em curso em universidades e institutos de pesquisa, de forma colaborativa, para a produção de uma vacina contra a covid-19 causada pelo novo coronavírus.

Característica da era da informação e da sociedade do conhecimento, a comunicação digital apresenta um cenário novo e complexo, no qual a velocidade de obtenção de informação, o volume exacerbado de conteúdos, nem sempre provenientes de fontes seguras, e a superexposição de pessoas e marcas impelem à reflexão sobre como posicionar instituições, empresas e ações de maneira pertinente, clara, adequada e atrativa.

Mas o que é essa comunicação digital e o que tanto a diferencia da comunicação tradicional? Pode-se considerar que a comunicação digital está baseada na estratégia e nas ações de comunicação realizadas na web, nas redes sociais e nos dispositivos móveis, incluindo o ecossistema digital e a digitalização dos meios de informação. Apoiada em quatro pilares – a presença, o conteúdo, o relacionamento e o engajamento –, a comunicação digital envolve as relações entre os seres humanos conectados e a influência na dinâmica corporativa.

Segmento da comunicação social, potencializada pelo avanço tecnológico, a comunicação digital é um conjunto de práticas e formas de divulgação, interação, recepção e diálogo entre emissor e receptor nas plataformas on-line – acessíveis por meio de dispositivos como computador, notebook, tablet, celular etc.



Abrangente, pode ser aplicada aos mais diversos públicos, tendo começado dentro de corporações e se expandido ao mundo social, em que pessoas jurídicas e físicas passaram a se integrar e a interagir em um emaranhado de informações. Com a diversidade cada vez mais presente, a pluralidade das vozes só tende a enriquecer as relações, profissionais ou não. Para as empresas e as instituições, a comunicação digital trouxe oportunidades valiosas. Entre elas, as diferentes formas de linguagem, de acesso, maior proximidade e audiência.

Hoje já está mais nítido que as empresas que conseguem ter controle sobre a sua própria comunicação digital podem não só liderar pensamentos, mas também modelar comportamentos, gerando vantagens competitivas num mundo onde a velocidade de entrega conquista não só consumidores e parceiros comerciais, mas seguidores. Entretanto, é importante ressaltar que a comunicação deve estar intrinsecamente aliada à governança corporativa, para uma contribuição efetiva nesse cenário extremamente competitivo, “buscando um ambiente mais flexível, criativo, colaborativo e [que], consequentemente, trará mais competitividade e sustentabilidade às organizações.” (Sabbatini, 2010, p. 155).

Somente a partir do estabelecimento de relações dialógicas integradas a uma proposta de comunicação colaborativa e transparente, que considere o cidadão como um sujeito ativo nesse processo, é que as organizações serão capazes de se sobressair e se manterem sustentáveis.

Ressalte-se, ainda, que as ações comunicativas precisam ser guiadas por uma filosofia e uma política de comunicação integrada que considerem as demandas, os interesses e as exigências dos públicos estratégicos e da sociedade. Isso significa que deve haver total integração entre a comunicação interna, a institucional e a de negócios na busca da eficácia, eficiência e efetividade organizacional em benefício dos públicos e da sociedade como um todo, e não só da empresa isoladamente. Estudar, compreender e praticar a comunicação organizacional, portanto, é muito mais complexo do que se possa imaginar (Kunsch, 2009, p. 80).

## 2.2 Comunicação para a inovação

As mudanças trazidas pelo século XXI, que impactam tanto as organizações como os próprios seres humanos, produzindo novas demandas sociais, influenciam também a comunicação organizacional, dentro de um complexo contexto de relações que exigem sistemas mais interativos e colaborativos.

Cajazeira e Cardoso (2009, p. 1) destacam o papel central desempenhado pela comunicação no processo de inovação. Entretanto, ressaltam

que a “complexidade das relações internas e externas das organizações, e dos indivíduos entre si, combinado à crescente demanda competitiva por inovação, lança desafios inéditos sobre a forma de pensar e atuar da comunicação organizacional.”

A comunicação desempenha um papel fundamental no processo de inovação, assim como a adequada gestão da informação. As estratégias que estimulam atitudes de inovação têm nos processos de interação social um dos seus mais fortes aliados, pois a comunicação, enquanto ação recíproca, possibilita o ambiente de trocas propício para que as informações circulem e os conhecimentos possam ser discutidos, validados e, possivelmente, adotados pelo público-alvo.

Para Wolton (2010, p. 121), “comunicar é cada vez menos transmitir, raramente competir, sendo cada vez mais negociar e, finalmente, conviver”. O diálogo estruturado e a transmissão de ideias são capazes de alavancar o processo criativo, precursor da inovação.

Dessa forma, a comunicação e o processo criativo interagem de maneiras complexas, mas complementares, proporcionando o crescimento do potencial inovador nas organizações. Ter informações é um dos primeiros elementos para que a criatividade e o pensamento estratégico sejam estimulados.

Nesse contexto, e buscando entregar mais valor para a sociedade por meio de seus produtos e serviços, a Embrapa começou a implementar, em 2018, uma nova Política de Inovação. Entre as seis diretrizes primordiais, duas têm a comunicação diretamente como base: promover a cultura, as práticas e o ambiente interno para a inovação; e ampliar a participação e o protagonismo da Empresa no mercado de inovação (Embrapa, 2018a).

Seguindo essa mesma filosofia de promover inovações em seus processos, as estratégias de comunicação da Empresa já passavam por reformulação, com a criação e a utilização de instrumentos de comunicação diferenciados para atender distintos públicos, com conteúdo e linguagem adequados a cada um. O principal propósito sempre foi o de aperfeiçoar a forma de comunicar à sociedade o que a Embrapa faz e conversar com o ecossistema de inovação de modo mais efetivo, promovendo relações dialógicas e colaborativas.

A cultura das organizações tem papel preponderante no estímulo, no desenvolvimento e na disseminação das inovações. É essencial que o ambiente interno de uma instituição de PD&I favoreça a geração e o compartilhamento de ideias, que vão se refletir na concepção da pesquisa, no desenvolvimento de soluções e no alcance de resultados para atendimento às demandas dos seus públicos estratégicos.

Para se superar os limites da comunicação empresarial tradicional e dos enfoques instrumentais da comunicação organizacional, é necessário que se entenda a comunicação como

um processo estratégico para a ação em uma realidade plural, dinâmica e complexa, que visa a provocação de comportamentos inovadores, criativos e dinâmicos do ponto de vista estratégico e que funciona, de maneira democrática, como disseminadora dos objetivos e dos valores culturais da empresa para públicos internos e externos. [...] São mudanças econômicas com transformações significativas para os mercados e para os relacionamentos entre seres humanos dentro e fora da empresa. (Cardoso, 2006, p. 1.127).

Para apoiar esse processo de inovação, é fundamental que a comunicação organizacional seja amparada por uma proposta de comunicação colaborativa, que incentive o diálogo e a reciprocidade. A comunicação para inovação exerce uma função estratégica na interpretação dos ambientes interno e externo, identificando potencialidades e debilidades internas, além de características e tendências do macroambiente.

Por isso, compõe-se de uma área multidisciplinar, pois inclui todas as formas de comunicação utilizadas pela organização para se relacionar e interagir com seus públicos. É importante destacar o trabalho dos profissionais de relações públicas na construção da agenda de inovação corporativa, uma vez que “é por meio das relações públicas que a filosofia da organização contribui para o fortalecimento e consolidação de uma imagem e identidade corporativas sólidas e favoráveis perante os públicos de interesse.” (Kunsch, 2003, p. 164-165).

Assim, tanto a comunicação quanto a inovação precisam estar alinhadas para serem capazes de produzir resultados de impacto para as empresas e instituições, uma vez que a complexidade das relações humanas torna extremamente desafiador esse processo de inovação, que rompe as estruturas verticais de relação e poder. É salutar que as organizações adotem estilos mais flexíveis e abertos de gestão que se reflitam nas relações com os empregados e os stakeholders – todos os públicos com os quais elas se relacionam.

O modelo de comunicação interna também deve ser amparado por uma gestão participativa, voltada para o trabalho colaborativo, que impulse a autonomia e a integração entre as equipes. O Manual de Oslo, publicado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), define que, entre os fatores com forte influência na capacidade de aprendizado das empresas, de fundamental importância para a inovação, está o gerenciamento do conhecimento, incluindo “políticas e estratégias, liderança, apreensão de conhecimento, treinamentos e comunicações.” (Manual..., 2005, p. 32). A “governança corporativa (jurídica, planejamento e relações públicas)” também é indicada entre as ações de administração e gestão voltadas para a inovação (Oslo..., 2018, p. 73).

Além de todas as rupturas provocadas pelas TIC, as mudanças sociais ocorridas no século XXI estabelecem novas configurações de relacionamentos, pautados pelo pluralismo e pela interdependência, “que requerem uma nova maneira de se pensar a comunicação.” (Cajazeira; Cardoso, 2009, p. 8). Os desafios desse novo contexto exigem que a comunicação organizacional estratégica, aliada à governança corporativa, avance numa perspectiva relacional.

Há um novo paradigma nessa área, a interação dialógica que rompe o modelo mecânico da informação e adota a postura do diálogo como a melhor maneira de resolver conflitos, realizar acordos, enfim, buscar consenso em relação a uma prática, compreendendo assim a comunicação para além da racionalidade técnica. (Marchiori, 2011, p. 29).

Nesse cenário, torna-se imprescindível a existência de um ambiente propício ao estímulo da criatividade e ao compartilhamento de ideias, cabendo à comunicação apoiar o processo decisório das instituições e a governança corporativa. Considerando que a inovação é um processo intrínseco às competências de uma organização, é fundamental desenvolver políticas, programas e ações que favoreçam a cooperação, as relações dialógicas e o pluralismo de opiniões.

Assim, a comunicação interna assume também um caráter vital no processo de tomada de decisões e na construção de um clima organizacional participativo, facilitando a integração e a troca de informações. Com isso favorece a valorização da imagem institucional e o fortalecimento da cultura da empresa, produzindo resultados positivos no ambiente de negócios competitivo e inovador.

Portanto, é primordial que as lideranças também desenvolvam habilidades em relacionamento interpessoal, comunicação face a face e gerenciamento dos fluxos de informação, estabelecendo canais abertos ao diálogo que sejam capazes de apoiar a construção de relações colaborativas, amparadas pela ética e pelo respeito ao público interno.

A comunicação interna não pode ser algo isolado do composto da comunicação integrada e do conjunto das demais atividades da organização. Sua eficácia dependerá de um trabalho de equipe entre as áreas de comunicação e de recursos humanos, a diretoria e todos os empregados envolvidos. Ela dependerá fundamentalmente de um planejamento adequado e consistente, que, por sua vez, tem de buscar subsídios nas informações obtidas com a realização do planejamento estratégico, a fim de que os programas a serem desenvolvidos correspondam às demandas do ambiente. (Kunsch, 1997, p. 129).

### 3 Resultados e desafios em comunicação na era digital

A Embrapa busca “ser referência mundial na geração e oferta de informações, conhecimentos e tecnologias, contribuindo para a inovação e a sustentabilidade da agricultura e a segurança alimentar.” (Embrapa, 2015, p. 8). Entre os 12 objetivos estratégicos definidos em seu VI Plano Diretor 2014-2034, destacam-se o desenvolvimento, a adaptação e a disseminação de “conhecimentos e tecnologias em automação, agricultura de precisão e tecnologias da informação e da comunicação para ampliar a sustentabilidade dos sistemas produtivos e agregar valor a produtos e processos da agropecuária.” (Embrapa, 2015, p. 12).

Para a Embrapa Informática Agropecuária, a divulgação dessas inovações na agricultura brasileira também é considerada prioritária. Desde meados de 1990, a Unidade possui uma área de comunicação dedicada a apoiar a disseminação das pesquisas e das ações de transferência de tecnologia, além de gerenciar os canais e os fluxos de comunicação com os seus públicos de interesse.

A comunicação também está entre os objetivos estratégicos do VI Plano Diretor da Embrapa. É atribuição da Empresa “desenvolver e disseminar produtos de informação e estratégias de comunicação que contribuam para a valorização da pesquisa agropecuária e para a ampliação do suporte da sociedade à agricultura brasileira.” (Embrapa, 2015, p. 13).

O Núcleo de Comunicação Organizacional (NCO) é um setor ligado diretamente à chefia do centro de pesquisa, sendo a sua atuação inserida no planejamento estratégico da Unidade.

Nesta perspectiva, a comunicação tem o potencial de tornar-se instrumento e também processo de inteligência, uma fonte de geração de valor e vantagem competitiva. Afinal, por perpassar todas as dimensões da organização – a humana, a econômica, a mercadológica, a cultural e a social –, a comunicação torna-se inextricavelmente vinculada, quer se admita ou não, ao desempenho corporativo como um todo. (Mello, 2010, p. 200).

As ações comunicacionais são desenvolvidas na Unidade de forma planejada e integrada ao plano de comunicação da Embrapa, que delinea estratégias com alcance corporativo, voltadas aos diversos públicos de interesse da instituição.

Na elaboração de um plano de comunicação, os profissionais devem cuidar para que seus objetivos e metas não sejam apenas relativos às suas produções – elaborar publicações,

realizar eventos, preparar relises, entre outras. Essas podem ser, na verdade, meios para alcançar fins mais nobres, como efeitos nos relacionamentos entre a organização e seus públicos. (Galerani, 2006, p. 54).

O centro de pesquisa vem aprimorando sua atuação na área de comunicação, investindo na composição e na formação de sua equipe de profissionais, para que estes sejam capazes de responder rapidamente aos novos desafios impostos pela transformação digital. Como um dos principais resultados desses investimentos, destaca-se a consolidação da Embrapa Informática Agropecuária como um centro de referência na temática da agricultura digital, reconhecido pela sociedade e por formadores de opinião.

A Unidade tem tido uma presença marcante na imprensa em reportagens sobre TIC, agricultura 4.0, internet das coisas e desenvolvimento de soluções tecnológicas para o campo. Em 2019, a repercussão de notícias citando a Embrapa Informática Agropecuária teve um crescimento de 123% em relação ao ano anterior, com mais de 1.450 notícias recuperadas, que foram publicadas em veículos de comunicação locais, regionais, nacionais e internacionais. Alguns exemplos da inserção na mídia podem ser observados na Figura 1.

Além de produzir podcasts para o programa de rádio Prosa Rural da Embrapa<sup>2</sup> e videorreportagens para o programa televisivo Dia de Campo na TV<sup>3</sup> sobre as tecnologias desenvolvidas, a Unidade está presente nas redes

**Figura 1.**  
Capas das revistas Pesquisa Fapesp, Dinheiro Rural e Globo Rural, que citaram a Embrapa Informática Agropecuária.

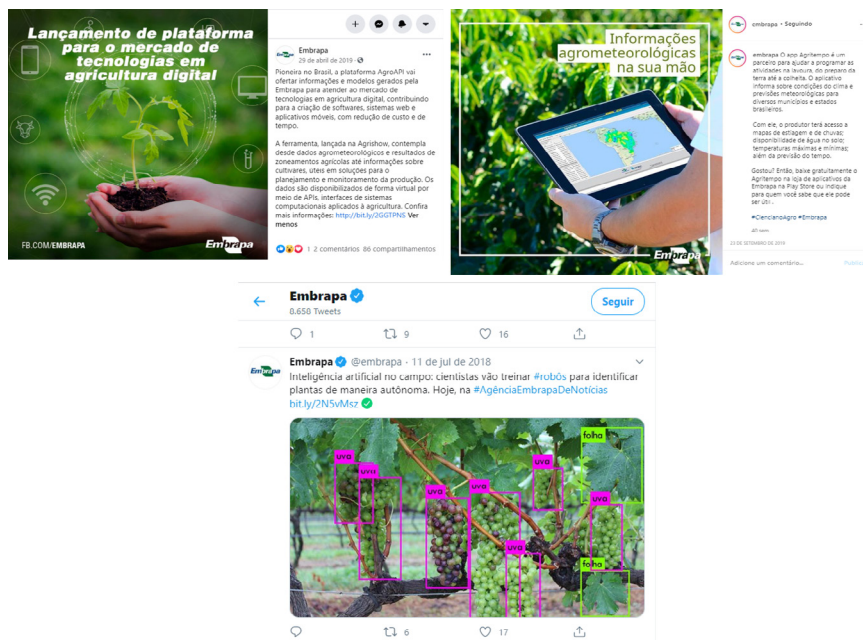


<sup>2</sup> Disponível em: [www.embrapa.br/prosa-rural](http://www.embrapa.br/prosa-rural)

<sup>3</sup> Disponível em: [www.embrapa.br/dia-de-campo-na-tv](http://www.embrapa.br/dia-de-campo-na-tv)



sociais, nos canais da Embrapa no Facebook<sup>4</sup>, Instagram<sup>5</sup>, Flickr<sup>6</sup>, Twitter<sup>7</sup> e Youtube<sup>8</sup>. A Figura 2 mostra a divulgação de posts e tweet nas redes sociais sobre pesquisas e tecnologias desenvolvidas.



**Figura 2.** Posts de pesquisas em inteligência artificial e de solução tecnológica.

O Portal na internet<sup>9</sup> é um dos canais que a Embrapa Informática Agropecuária usa para divulgar ao público as pesquisas e seus resultados, além de apresentar soluções tecnológicas, publicações institucionais e técnico-científicas, produtos e serviços disponíveis. Atenta às demandas externas do seu público, a Unidade preocupa-se com a atualização permanente e a revisão de conteúdos, com o objetivo de facilitar o acesso para a população.

Além disso, há uma intensa participação em eventos e exposições agropecuárias, para disseminação de tecnologias, produtos e serviços, buscando sempre se aproximar e estreitar relacionamentos com os públicos rural e urbano.

4 Disponível em: [fb.com/embrapa](https://fb.com/embrapa)

5 Disponível em: [instagram.com/embrapa](https://instagram.com/embrapa)

6 Disponível em: [flickr.com/embrapa](https://flickr.com/embrapa)

7 Disponível em: [twitter.com/embrapa](https://twitter.com/embrapa)

8 Disponível em: [youtube.com.br/embrapa](https://youtube.com.br/embrapa)

9 Disponível em: [www.embrapa.br/informatica-agropecuaria](http://www.embrapa.br/informatica-agropecuaria)



O desafio é continuar criando estratégias para inovar no relacionamento com essa sociedade, que se apresenta com um novo perfil, muito mais participativo e dinâmico. Não são só as ferramentas que evoluem, mas também a cultura organizacional. É essencial uma postura receptiva e aberta ao diálogo, que contribua para essa maior aproximação e interação com os públicos de interesse da instituição.

Podemos afirmar que a comunicação, no ambiente da complexidade, só irá concretizar o seu papel de ferramenta estratégica de gestão quando a empresa criar os verdadeiros canais para que a comunicação realize o seu princípio social básico, ou seja, o seu caráter democrático de permitir que todos os indivíduos possam compartilhar ideias, comportamentos, atitudes e, acima de tudo, a cultura organizacional. Esse caráter democrático se expressa por meio do diálogo e da produção de significados. (Cardoso, 2006, p. 1.135).

Dessa forma, o Núcleo de Comunicação Organizacional da Embrapa Informática Agropecuária também se pauta por uma atuação alinhada ao processo de inovação da Embrapa. Assim, desenvolve estratégias para a promoção de conexões com os variados públicos de interesse da Unidade, incluindo instituições, empresas e parceiros, com o intuito de estreitar relacionamentos, além de reforçar a imagem de uma Empresa inovadora no setor agropecuário.

O pioneirismo pode ser destacado no apoio, especialmente a partir de 2018, à organização de eventos como o primeiro *hackathon* – maratona de programação – da Embrapa, com a temática de diagnóstico automático de doenças em cultivos agrícolas, e na condução de encontros ligados ao tema de ciência de dados e agricultura digital. Entre estes, destaca-se o SBIAgro Conect@, focado na promoção de networking qualificado entre instituições, empresas, aceleradoras, investidores, desenvolvedores e usuários de TIC.

Os profissionais de comunicação também apoiaram a construção da metodologia do primeiro programa de aceleração de startups que atuam com tecnologias agrícolas (*agtechs*), o TechStart Agro Digital. O relacionamento e a interação com as startups do programa foram facilitados exatamente pela atuação desses profissionais, desde a concepção do programa, passando pelas fases de seleção e entrevistas, além de mentorias especializadas em técnicas comunicacionais, com o uso de mídias digitais e a criação de canal de relacionamento exclusivo entre os integrantes das startups e os comunicadores.

A área de comunicação ainda desempenha papel relevante no apoio a diversos eventos voltados à inovação e na realização de mentorias. Entre os programas realizados que contaram com a participação dos comunicadores estão o Sebrae Startup SP, o Samsung Creative Startups, o InovaPork,

realizado pela Embrapa Suínos e Aves, e o Pontes para Inovação, organizado pela Secretaria de Inovação e Negócios (SIN) da Embrapa.

Dentre as estratégias adotadas, buscou-se usar as mídias digitais, com maior alcance, entrega mais rápida e mais qualitativa. Ressalta-se que os veículos tradicionais de comunicação, que têm alcance restrito e são mais direcionados ao público técnico-científico desses eventos, não foram substituídos, mas a comunicação digital e interpessoal, pautada por um relacionamento aproximativo, ganhou foco.

Como apresentado, as ações comunicacionais são desenvolvidas pelo NCO de forma planejada e integrada, permeando todos os processos institucionais e as diferentes áreas de atuação da Unidade, para o alcance efetivo dos objetivos da instituição. Destacam-se, ainda, as estratégias de relacionamento com o público interno, para o qual o NCO desenvolve ações comunicacionais dirigidas e apoia eventos, em consonância com a área de gestão de pessoas.

Entendemos por comunicação integrada uma filosofia que direciona a convergência das diversas áreas permitindo uma atuação sinérgica. Pressupõe uma junção da comunicação institucional, da comunicação mercadológica, da comunicação interna e da comunicação administrativa, que formam o mix, o composto da comunicação organizacional. (Kunsch, 2003, p. 150).

#### 4 Educomunicação para apoio à criação coletiva

Com o avanço tecnológico, a convergência e a integração das novas mídias, as relações de produção e distribuição de informação são marcadas por transformações significativas. Embora o homem tenha utilizado instrumentos para se comunicar em todos os períodos de sua história, a universalização dos meios e recursos do mundo contemporâneo torna-se especificamente singular nos dias atuais, fazendo com que os meios de comunicação e as TIC configurem um novo modelo de homem e de sociedade (Gómez; Aguaded, 2011, p. 4).

A sociedade organizada em “redes virtuais” configura-se a partir de novos espaços que podem favorecer o processo de compartilhamento e de criação de conteúdos, de forma colaborativa e mais participativa. A partir dos recursos de conectividade, mobilidade e portabilidade da web, torna-se possível a qualquer cidadão ser produtor e consumidor de informação (Pereira, 2013, p. 1).

Na sociedade da informação, esse novo paradigma de construção coletiva pautado pela convergência das mídias, que possibilita a organização em redes, faz com que os sujeitos deixem de ser meros consumidores-receptores e tornem-se indivíduos-consumidores. Essa nova abordagem, baseada na aprendizagem construtivista, considera de forma articulada os inúmeros

recursos propiciados pelas TIC como possibilidades de apropriação ativa, baseadas na cooperação e na autonomia do sujeito, englobando a criação, a autoria, o desenvolvimento humano e a inovação.

A tecnologia oferece um potencial enorme para a interatividade, mas há toda uma complexidade dessas interações mútuas mediadas pelos recursos tecnológicos, que incluem “a ação recíproca, a cooperação e a criação coletiva” (Primo, 2008, p. 148) e não podem ser ignoradas. Nesse sentido, a troca de saberes em um mundo digital pode ser enriquecida por uma proposta pedagógica concebida para apoiar a construção coletiva de conhecimento e estimular a visão crítica e a autonomia do sujeito.

A inter-relação comunicação/educação constitui um campo de intervenção social, denominado educomunicação, que se caracteriza por uma ação política voltada para o aporte de uma consciência ética e uma pragmática direcionada para as transformações da sociedade. Essa ação firma-se na formação de cidadãos críticos, participativos e inseridos no meio social e na concretização de utopias sociais de uma educação de qualidade e de uma comunicação participativa e democrática (Schaun, 2002).

A educação é uma ciência que se preocupa com a formação e a constituição do ser humano como sujeito, isto é, um ser que pensa a sua realidade, reflete e age sobre ela, transformando o meio em que vive. A aproximação dos campos da educação, da comunicação e da tecnologia favorece múltiplos olhares sobre a condição e o desenvolvimento humano, permitindo a construção compartilhada de informações, conhecimento e experiências num contexto de trocas e interações sociais que podem estimular o exercício da cidadania. (Pereira, 2013, p. 2).

De acordo com o Núcleo de Comunicação e Educação (NCE) da Universidade de São Paulo (USP)<sup>10</sup>, estudos desenvolvidos sobre a inter-relação comunicação e educação apontam para a emergência de um campo de intervenção social caracterizado por oferecer um suporte teórico-metodológico que permite aos agentes sociais compreenderem a importância da ação comunicativa para o convívio humano, a produção do conhecimento e a elaboração e implementação de projetos colaborativos de mudanças sociais.

O conceito da educomunicação propõe, na verdade, a construção de ecossistemas comunicativos abertos, dialógicos e criativos, nos espaços educativos, quebrando a hierarquia na distribuição do saber, justamente pelo reconhecimento de que todas as pessoas envolvidas no fluxo da informação são

---

<sup>10</sup> NCE – USP. Disponível em: <http://www.usp.br/nce/onucleo/>.

produtoras de cultura [...]. Em resumo, a educomunicação tem como meta construir a cidadania, a partir do pressuposto básico do exercício do direito de todos à expressão e à comunicação. (Núcleo de Comunicação e Educação, 2012).

Do ponto de vista das interações, pode-se dizer que a comunicação é um processo social com foco em ampliar a capacidade dos indivíduos de se inter-relacionarem como agentes ativos no meio em que vivem, promovendo mudanças em sua realidade a partir dessas interações. A educomunicação surge dessa concepção, baseada na inter-relação comunicação/educação. Trata-se de adotar uma perspectiva da comunicação educativa que se configura como uma relação dialógica do agir educacional, definida como um “campo de diálogo, espaço para o conhecimento crítico e criativo, para a cidadania e a solidariedade.” (Soares, 2000, p. 12).

Para que os sujeitos efetivamente possam se apropriar dos processos produtivos, é importante que os ambientes de aprendizagem sejam caracterizados pela abordagem construtivista e que favoreçam as trocas intelectuais, o desenvolvimento do pensamento, a cooperação, levando à reflexão sobre as ações, até a tomada de consciência que determina a sua autonomia moral e intelectual (Piaget, 1998). Por isso, os recursos tecnológicos devem estar incorporados a uma proposta pedagógica crítico-reflexiva transformadora, que promova articulações entre o saber do educador e a sua prática, favorecendo o aprendizado pautado na interação, na colaboração e na cooperação entre educandos e educadores.

Nesse sentido, os comunicadores da Embrapa Informática Agropecuária também têm atuado no apoio a projetos de transferência de tecnologia que se pautam por uma visão amparada nos conceitos de educomunicação, considerando a autonomia e a percepção crítica dos sujeitos envolvidos.

#### **4.1 Comunicação dialógica para apoio ao desenvolvimento sustentável e à popularização da ciência**

A Organização das Nações Unidas (Nações Unidas, 2015) estabeleceu, na Agenda 2030, os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para apoiarem a construção e a implementação de políticas públicas em âmbito mundial. A Embrapa entende que a pesquisa agropecuária desempenha um papel importante para o alcance das 169 metas da Agenda, voltadas ao desenvolvimento humano, uma vez que “a produção de alimentos alinhada à geração de inovação sustentável no campo contribui para a melhoria da qualidade de vida das pessoas, para a redução do preço da cesta básica e para a exportação de produtos brasileiros.” (Embrapa, 2020a).

Para alinhar o seu trabalho ao compromisso internacional, a Embrapa promoveu uma ampla avaliação de sua programação de pesquisa e

inovação agropecuária, mapeando como os Eixos de Impacto e os 12 Objetivos Estratégicos descritos em seu VI Plano Diretor estão relacionados aos 17 ODS. A Empresa entende que essa é uma maneira de prestar contas à sociedade e mostrar alternativas para uma agricultura cada vez mais sustentável, servindo de modelo para outros países.

Ainda com o objetivo de contribuir para os ODS e subsidiar ações estratégicas em ciência, tecnologia e inovação, a Embrapa estabeleceu o Sistema de Inteligência Estratégica, Agropensa, responsável por um amplo monitoramento do ambiente externo focado na captação de sinais e tendências para elaboração de cenários e visões de futuro para a agricultura brasileira (Embrapa, 2018b). O protagonismo dos consumidores está entre as megatendências indicadas no documento *Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira*:

O crescimento exponencial das aplicações das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) faz com que os indivíduos tenham cada vez mais poder de influenciar as cadeias de produção de alimentos, e suas decisões de consumo de alimentos são pautadas em interações constantes com os agentes produtivos, o que, juntamente com os nichos de mercado em expansão, consubstanciam essa megatendência. Nesse contexto, há a convergência dos acelerados movimentos globais de intensificação do uso de plataformas digitais nas relações de consumo, da cocriação de produtos e serviços e do crescente acesso à informação por meios digitais. Serão cada vez mais valorizados alimentos seguros e com rastreabilidade, saudáveis e produzidos por meio de processos sustentáveis. (Embrapa, 2018b, p. 12).

Na Embrapa, inúmeras soluções geradas pela pesquisa agropecuária são diariamente disponibilizadas em diversos formatos, buscando a ampla divulgação do conhecimento produzido. É também nesse contexto que se insere a comunicação da Empresa. A Embrapa preocupa-se não só com a produção, mas com o consumo sustentável que proporcione melhor qualidade de vida para a população:

Muitos são os desafios da pesquisa agropecuária brasileira em prol do desenvolvimento sustentável, passando pela sistematização de todo o conhecimento gerado, padronização e integração de métodos, tradução do conhecimento em soluções a serem diretamente apropriadas pela sociedade, recursos financeiros suficientes, aproximação de cientistas e tomadores de decisão, dentre outros. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) tem, na sua missão, contribuir, a

partir dos resultados de suas pesquisas, com o desenvolvimento sustentável da agropecuária. (Palhares et al., 2018, p. 7).

A Empresa também está atenta à revolução tecnológica das últimas décadas, marcada por um processo acelerado de informatização e digitalização de procedimentos analógicos e pelo desenvolvimento de novas tecnologias de informação e comunicação (Antunes *et al.*, 2018, p. 77). Como promotora da geração de conhecimento técnico-científico, a Embrapa precisa torná-lo acessível aos diferentes segmentos de seus públicos de interesse, do produtor rural ao consumidor.

Várias linhas de estudo teorizam sobre formas de comunicação mais compatíveis com apropriação do conhecimento e processos de aprendizagem. Ambos são imprescindíveis para que o avanço da ciência se traduza em impacto na vida do produtor rural, sobretudo para aqueles que pertencem à incômoda estatística verificada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) sobre escolaridade no campo: aproximadamente 80%, ou seja, a imensa maioria de produtores rurais no Brasil possui ensino fundamental ou nunca frequentou a escola<sup>11</sup>.

Considerando que 77% dos estabelecimentos agropecuários estão na categoria da agricultura familiar<sup>12</sup>, um dos desafios que se impõe é compreender como a comunicação pode apoiar o processo de tradução de conhecimentos em soluções a serem apropriadas pelos beneficiários. E a educomunicação é exatamente uma das linhas que busca aproximar educação, comunicação e tecnologia para a construção compartilhada de conhecimento.

A partir da concepção de uma educação dialógica e transformadora, focada na construção solidária e no compartilhamento de conhecimentos, rompe-se com o modelo vertical de disseminar e transferir conteúdos para uma educação libertadora, baseada em um processo de análise e reflexão, em que os sujeitos aprendem a pensar e, pensando, tornam-se capazes de promover transformações em sua realidade (Freire, 1982).

Na Embrapa, identificam-se algumas experiências e vivências orientadas para assegurar a apropriação do conhecimento, ainda que incipientes diante da ampla oferta de ações proporcionada pela comunicação organizacional. Um dos exemplos de produção coletiva resultou na publicação *Coleção Povos e Comunidades Tradicionais*, lançada em 2017, que reúne relatos de trabalhos

---

<sup>11</sup> Segundo dados do Censo Agropecuário 2017, em apenas 5,58% dos estabelecimentos agropecuários no Brasil o produtor rural possui ensino superior. No ensino médio, somando os números do antigo científico, EJA e técnico de ensino médio, são 14,95% (IBGE, 2017).

<sup>12</sup> Na classificação do IBGE para o Censo Agropecuário, a agricultura familiar tem dinâmica e características distintas da agricultura não familiar. Nela, a gestão da propriedade é compartilhada pela família e a agropecuária é a principal fonte geradora de renda (IBGE, 2017).

com comunidades rurais e seus conhecimentos tradicionais (Antunes et al., 2018, p. 77).

Outra iniciativa também nessa linha ocorreu no âmbito do projeto Metodologia de Produção Pedagógica de Materiais Multimídias com Enfoque Agroecológico para a Agricultura Familiar (Pedagoeo<sup>13</sup>). Coordenado pela Embrapa, com a participação de quatro Unidades Descentralizadas da Empresa (Semiárido, Tabuleiros Costeiros, Meio-Norte e Algodão), o projeto foi realizado em parceria com organizações da sociedade civil. O objetivo foi desenvolver uma metodologia para fomentar o uso de TIC entre jovens estudantes rurais no contexto da agricultura familiar e da agroecologia.

O Núcleo de Comunicação Organizacional da Embrapa Informática Agropecuária coordenou as ações para a formação dos multiplicadores no estado do Piauí. Ao todo foram mais de 200 jovens capacitados em cinco estados do Semiárido brasileiro. Organizada no formato de oficinas, conforme mostrado na Figura 3, a capacitação teve como referencial político-metodológico a Pedagogia Griô (Pacheco, 2014), que conduziu as ações ao longo de todo o processo de formação dos jovens.

A abordagem metodológica<sup>14</sup> assegurou processos participativos ancorados na perspectiva transformadora e de autonomia preconizada por Freire

**Figura 3.** Jovens estudantes participam de oficinas de produção de conteúdos multimídia.



Fotos: Magda Cruciol e Rosival Dias

<sup>13</sup> Para conhecer o projeto, acesse (Embrapa, 2020b).

<sup>14</sup> A Pedagogia Griô é a pedagogia da vivência de rituais afetivos e culturais que facilitam o diálogo entre idades, grupos e comunidades, por meio de um método de encantamento, vivencial, dialógico e partilhado para a elaboração do conhecimento (Pacheco, 2006). Conheça a história da Pedagogia Griô em: [www.graosdeluzegrio.org.br](http://www.graosdeluzegrio.org.br).



(2011), e o material produzido resultou em 18 vídeos. A experiência e as vivências entre os participantes do Pedagroeco mostraram como a comunicação e o uso das TIC, ancorados no modelo de ação da Pedagogia Griô, exerceram um papel expressivo nos processos de apropriação do conhecimento e na afirmação da identidade dos jovens envolvidos no projeto.

Essa perspectiva de comunicação em rede, com suas características que rompem as noções tradicionais de tempo e espaço, possibilita uma reconfiguração dos poderes públicos, uma vez que “olhar apenas o viés tecnológico nos processos educativos pode se relacionar a um esvaziamento sobre a dimensão cultural em questão, assim como um pensamento fragmentado do conhecimento.” (Ferreira, 2019, p. 10).

## 5 Considerações finais

O avanço das tecnologias de informação e comunicação (TIC), especialmente a partir do século XX, transformou a comunicação humana, democratizando o acesso às novas mídias. Com relação à comunicação e ao processo de divulgação científica, as novas mídias configuram-se em instrumentos acessíveis que potencializam a geração de conhecimento de forma colaborativa e facilitam a popularização da ciência.

Atualmente, já não se admite um processo unidirecional de comunicação, pois o cidadão cada vez mais quer ouvir e ser ouvido. Nesse contexto, o cidadão ocupa o centro das decisões, sendo ao mesmo tempo um agente produtor e consumidor de informação e conhecimento, já que a democratização dos meios de comunicação permite a qualquer pessoa ser uma fonte de informações.

Essa realidade impacta a forma como as empresas e as instituições de pesquisa relacionam-se com a sociedade e os seus públicos estratégicos, de modo disruptivo, uma vez que os recursos tecnológicos de conexão e interatividade ampliam a interação social e a construção coletiva no chamado ciberespaço. Assim, é crescente a preocupação com uma comunicação digital mais interativa, para o compartilhamento de informações e a divulgação científica de maneira mais efetiva.

Com o advento das novas mídias, a produção de conteúdos cresceu exponencialmente. No entanto, o processo de divulgação científica e transferência de tecnologia exige que se assegure a qualidade das informações, uma vez que elas exercem forte impacto na vida dos cidadãos. Por isso, cabe às instituições de pesquisa encontrar formas inovadoras de interagir com a sociedade e seus públicos estratégicos, implementando novos mecanismos de divulgação científica que incluam a interatividade e a participação coletiva, com responsabilidade social.

O avanço dos meios de comunicação, impulsionado pelo desenvolvimento tecnológico, produziu mudanças de hábitos e comportamentos, exigindo uma postura mais reflexiva e uma educação com os meios que esteja pautada na inclusão, na ética e na cidadania, amparada por uma abordagem pedagógica dos meios de comunicação. A mediação dos campos da educação e da comunicação, conhecida como educomunicação, busca estimular a integração, a reflexão e a produção de conteúdos éticos que promovam as transformações sociais dos sujeitos envolvidos nos processos comunicativos.

As instituições públicas de pesquisa, desenvolvimento e inovação têm o compromisso de promover a disseminação do conhecimento produzido e a transferência das tecnologias geradas, contribuindo para o desenvolvimento e a alfabetização científica da sociedade. Consciente do seu reconhecimento externo como referência em pesquisas em agricultura tropical e dos excelentes resultados na comunicação com a sociedade, a Embrapa incentiva a inovação das suas práticas comunicacionais e dos canais de comunicação focados nas novas mídias e nos recursos tecnológicos.

A comunicação, portanto, deve contribuir na divulgação da ciência e dos seus resultados, por meio de ações inovadoras que contemplem uma nova forma de falar com a sociedade, interagindo com ela na troca de saberes, aproveitando o potencial das novas tecnologias, que estão cada vez mais ao alcance do maior número de pessoas.

Nesse sentido, várias ações têm sido desenvolvidas para compartilhar informações e promover maior relacionamento com o público rural e urbano. As tecnologias de informação e comunicação podem ser usadas para auxiliar na reestruturação de canais que gerenciem os fluxos de informação e comunicação, visando impulsionar o desenvolvimento de novas mídias sociais de divulgação científica.

Entre as ações realizadas, destaca-se o uso mais efetivo das novas tecnologias que agregam os recursos de interatividade e favorecem uma atuação em rede, permitindo ao público não apenas conhecer mas interagir e contribuir para a produção de conhecimento, refletindo sobre seu papel de usuário interagente sob uma nova perspectiva de participação e construção coletiva.

Com isso, busca-se promover melhor entendimento com os públicos estratégicos, por meio da divulgação de resultados de pesquisa, tecnologias, produtos e serviços, de modo acessível e interativo. A Embrapa já possui diversas estratégias para levar a ciência à população, seja por meio de eventos, programas de rádio e televisão e portais na internet. No entanto, faz-se necessário também estudar novos métodos para adaptar a linguagem e facilitar o acesso do cidadão ao conhecimento científico, promovendo a interatividade, além de captar suas demandas, numa relação dialógica.

A Embrapa Informática Agropecuária desenvolve várias iniciativas para levar os resultados das pesquisas e as tecnologias, produtos e serviços ao

conhecimento público, contribuindo para a disseminação das TIC, especialmente no setor rural. Desde a produção de publicações, programas de rádio e televisão, eventos e participação em feiras e exposições agropecuárias, o centro de pesquisa destaca-se como referência na temática da agricultura digital, inclusive com uma presença marcante na imprensa.

Na área de pesquisa, a Unidade vem ampliando sua atuação em colaboração com o setor privado, por meio de projetos conjuntos de desenvolvimento de soluções tecnológicas. Com relação à transferência de tecnologia, também houve uma ampliação das parcerias, especialmente com empresas e startups do ecossistema digital. Cabe à área de comunicação encontrar novos caminhos que permitam construir e fortalecer relações mais abertas e integradas com os públicos da instituição, apoiando ações em prol de uma agricultura mais conectada e digital.

O desafio dos profissionais de comunicação é descobrir formas inovadoras de divulgar a ciência produzida, para uma sociedade cada vez mais exigente por informação em tempo real. Espera-se que as instituições públicas de pesquisa sejam capazes de promover inovações em seus processos comunicacionais, que ajudem a melhorar o relacionamento com a sociedade, contribuindo para ampliar o conhecimento e a participação de seus públicos em relação ao desenvolvimento e aos resultados das pesquisas.

## 6 Referências

ANTUNES, E.; OLIVEIRA, V. B. V. de.; RAMOS, R. G. C.; ESCOBAR, J.; COSTA, J. R.; SOUZA, R. B. de. Informação para a ação cidadã e promoção do desenvolvimento sustentável. In: PALHARES, J. C. P.; OLIVEIRA, V. B. V.; FREIRE JUNIOR, M.; CERDEIRA, A. L.; PRADO, H. A. do. **Consumo e produção responsáveis**: contribuições da Embrapa, 2018. p. 75-87. E-book. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184241/1/ODS-12-Consumo-e-producao-responsaveis.pdf>. Acesso em: 18 maio 2020.

CAJAZEIRA, J. E.; CARDOSO, C. Comunicação e inovação: correlações e dependências. In: ABRAPCORP, 3., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2009. Disponível em: [http://www.abrapcorp.org.br/anais2009/pdf/GT2\\_Cajazeira.pdf](http://www.abrapcorp.org.br/anais2009/pdf/GT2_Cajazeira.pdf). Acesso em: 20 maio 2020.

CARDOSO, C. (org.). **Comunicação organizacional hoje**: novas tecnologias, novas perspectivas. Lauro de Freitas: UniBahia, 2002.

CARDOSO, O. O. Comunicação empresarial versus comunicação organizacional: novos desafios teóricos. **Revista de Administração Pública**, v. 40, n. 6, p. 1123-44, nov./dez. 2006. DOI: 10.1590/S0034-76122006000600010.

DINIZ, F. **Pandemia na agricultura**: porteira aberta para a digitalização. Brasília, DF, maio 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52363786/pandemia-na-agricultura-porteira-aberta-para-a-digitalizacao?link=agencia>. Acesso em: 19 maio 2020.

DUARTE, J.; BARROS, A. T. (ed.). **Comunicação para ciência, ciência para comunicação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 338 p.

EMBRAPA. Assessoria de Comunicação Social. **Política de comunicação**. 2. ed. Brasília, DF, 2002.

EMBRAPA. **Metodologia de produção pedagógica de materiais multimídia com enfoque agroecológico para a agricultura familiar**. 2020b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/212110/metodologia-de-producao-pedagogica-de-materiais-multimidia-com-enfoque-agroecologico-para-a-agricultura-familiar>. Acesso em: 6 jul. 2020.

EMBRAPA. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2020a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods>. Acesso em: 18 maio 2020.

EMBRAPA. Secretaria de Gestão e Desenvolvimento Institucional. **VI Plano Diretor da Embrapa**: 2014-2034. Brasília, DF, 2015.

EMBRAPA. Secretaria de Inovação e Negócios. **Política de inovação da Embrapa**. Brasília, DF, 2018a.

EMBRAPA. **Visão 2030**: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF, 2018b.

FERREIRA, D. L. de F. Pedagogia e identidade: uma análise de conteúdo audiovisual em rede. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 6., 2019, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza [s.n.], 2019. Disponível em: [http://www.editorarealize.com.br/revistas/conedu/trabalhos/TRABALHO\\_EV127\\_MD1\\_SA19\\_ID14901\\_03102019015710.pdf](http://www.editorarealize.com.br/revistas/conedu/trabalhos/TRABALHO_EV127_MD1_SA19_ID14901_03102019015710.pdf). Acesso em: 18 maio 2020.

FONSECA JÚNIOR, W. C. F.; FRAGALLE, E. P.; SILVA, H. D.; FILHO, R. C. P. A comunicação na Embrapa: do difusionismo à comunicação como inteligência organizacional. **Prisma.com**, n. 8, p. 77-92, 2009. Disponível em: <https://www.brapci.inf.br/index.php/res/v/71567>. Acesso em: 19 maio 2020.

FREIRE, P. **Extensão ou comunicação?** São Paulo: Paz e Terra, 2011.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1982.

GALERANI, G. S. M. **Avaliação em comunicação organizacional**. Brasília, DF: Embrapa / Assessoria de Comunicação Social; Londrina: Embrapa Soja, 2006. 142 p.

GÓMEZ, A. H.; AGUADEDE, J. I. Recomendaciones para el desarrollo de la alfabetización mediática em Brasil: propuestas desde la experiencia europea. **RESGATE**, v. 19, n. 22, p. 3-15, jul./dez. 2011. DOI: 10.20396/resgate.v19i22.8645713.

IBGE. **Censo agro 2017**. Disponível em: [https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo\\_agro/resultadosagro/index.html](https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html). Acesso em: 21 maio 2020.

KUNSCH, M. M. K. (org.). **Comunicação organizacional**: histórico, fundamentos e processos. São Paulo: Atlas, 2009.

KUNSCH, M. M. K. **Planejamento de relações públicas na comunicação integrada**. São Paulo: Summus, 2003. 422 p.

KUNSCH, M. M. K. **Relações públicas e modernidade**: novos paradigmas na comunicação organizacional. São Paulo: Summus, 1997.

LÉVY, P. **Cibercultura**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1999.

MANUAL de Oslo: proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica. 3. ed. [S.l.]: Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico, 2005. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/imagens/apoio-e-financiamento/manualoslo.pdf>. Acesso em: 21 maio 2020.

MARCHIORI, M. **Cultura e comunicação organizacional**: um olhar estratégico sobre as organizações. São Caetano: Difusão Editora, 2011.

MELLO, S. F. M. **Comunicação e organizações na sociedade em rede**: novas tensões, mediações e paradigmas. 2010. 271 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Comunicação) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

NAÇÕES UNIDAS. **17 Objetivos para transformar nosso Mundo**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 6 jul. 2020.

NÚCLEO DE COMUNICAÇÃO E EDUCAÇÃO. Disponível em: <http://www.usp.br/nce/onucleo/>. Acesso em: 10 fev. 2012.

OLIVEIRA, F. I. **Ciência e tecnologia na comunicação social de instituições governamentais**. 1998. 168 f. Tese (Doutorado em Ciências da Comunicação) – Universidade de São Paulo, Escola de Comunicações e Artes, São Paulo.

OLIVEIRA, I. L. A Abrapcorp e o impulso da pesquisa em Comunicação Organizacional e Relações Públicas. In: LEMOS, E.; FARIAS, L. A. de; SCROFERNEKER, C. (org.). **Margarida Maria Krohling Kunsch**: consolidação da comunicação organizacional e das relações públicas no Brasil. São Paulo: Intercom, 2013. p. 59-67.

OSLO manual 2018: guidelines for collecting, reporting and using data on innovation. 4th ed. Paris: Eurostat; Luxembourg: OECD Publishing, 2018. (The measurement of scientific, technological and innovation activities). DOI: [10.1787/9789264304604-en](https://doi.org/10.1787/9789264304604-en).

PACHECO, L. Dossiê pedagogia Griô: escritas Griô, 2006. **Revista DIVERSITAS**, ano 2, n. 3, set. 2014/mar. 2015.

PACHECO, L. **Pedagogia Griô**: a reinvenção da roda da vida. Lençóis: Grãos de Luz e Griô, 2006.

PALHARES, J. C. P.; OLIVEIRA, V. B. V.; FREIRE JUNIOR, M.; CERDEIRA, A. L.; PRADO, H. A. do. (ed.). **Consumo e produção responsáveis**: contribuições da Embrapa. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book. (Objetivos de desenvolvimento sustentável, 12). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184241/1/ODS-12-Consumo-e-producao-responsaveis.pdf>. Acesso em: 18 maio 2020.

PEREIRA, N. R. **Educomunicação na Pedagogia**. 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Educação, Campinas.

PEREIRA, N. R.; TORRES, T. Z.; SANTOS, A. D. dos. Comunicação corporativa na era da televisão digital interativa. In: CONGRESO INTERNACIONAL COMUNICACIÓN 3.0, 2., 2010, Salamanca. **Libro nuevos medios, nueva comunicación**. Salamanca: Universidad de Salamanca, 2010. p. 1-12. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/23608/1/072.pdf>. Acesso em: 19 maio 2020.

PIAGET, J. **Sobre pedagogia**. São Paulo: Casa do Psicólogo, 1998.

PRIMO, A. **Interação mediada por computador**: comunicação, cibercultura, cognição. Porto Alegre: Sulina, 2008.

RODRIGUES, N.; MAIO, A.; ROSSO, G.; GONÇALVES, D.; SILVA, J.; FRAGALLE, E. P. **Pesquisa contribui para transformação digital da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/51706860/pesquisa-contribui-para-transformacao-digital-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 19 maio 2020.

SABBATINI, J. F. **Comunicação organizacional e governança corporativa**: uma intersecção possível? 2010. 214 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo. DOI: [10.11606/T.27.2010.tde-05112010-113946](https://doi.org/10.11606/T.27.2010.tde-05112010-113946).

SANTOS, T. C. A comunicação nas teorias das mídias digitais no Brasil e nos Estados Unidos. **Revista Famecos**, v. 23, n. 1, jan./abr. 2016. DOI: [10.15448/1980-3729.2016.1.21490](https://doi.org/10.15448/1980-3729.2016.1.21490).

SCHAUN, A. **Educomunicação**: reflexões e princípios. Rio de Janeiro: Mauad, 2002.

SOARES, I. de O. Educomunicação: um campo de mediações. **Revista Comunicação & Educação**, p. 12-24, set./dez., 2000. DOI: [10.11606/issn.2316-9125.v0i19p12-24](https://doi.org/10.11606/issn.2316-9125.v0i19p12-24).

TORRES, T. Z.; PEREIRA, N. R.; GÂMBARO, B. **Comunicação Digital nas Redes de Pesquisa**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISADORES EM COMUNICAÇÃO ORGANIZACIONAL E RELAÇÕES PÚBLICAS, 6., 2012, São Luís. **Anais...** São Luís: Abrapcorp, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75338/1/MT27.pdf>. Acesso em: 22 maio 2020.

WOLTON, D. **Informar não é comunicar**. Porto Alegre: Sulina, 2010. 96 p.







# 15 Forças motrizes para a agropecuária brasileira na próxima década: implicações para a agricultura digital

Geraldo Bueno Martha Júnior

## 1 Introdução

A agropecuária brasileira não se encontra isolada, em um vazio econômico. A agropecuária influencia e é influenciada pelo seu entorno. Dada a condição do Brasil como importante ator no mercado global de alimentos, essas duplas vias de influência expandem-se para incluir as dimensões regional e global.

Na última década, diferentes vertentes da agricultura digital e suas aplicações setoriais foram apresentadas ao setor produtivo. Avanços, incluindo sensores, imagens a partir de dispositivos móveis, drones e satélites, internet das coisas (IoT), *Big Data*, visão computacional, simuladores, algoritmos de otimização e inteligência artificial, e a integração dessas tecnologias com atuadores possuem potencial de transformar a agropecuária. Essa mudança seria traduzida pela melhora em processos de gestão e de tomada de decisão e pela elevação dos ganhos de eficiência nas diferentes etapas produtivas.

A ampliação da relevância da agricultura digital nos processos produtivos na próxima década parece, assim, ser inexorável. Isso reflete os benefícios potenciais que essas tecnologias e serviços digitais, providos a custos paulatinamente mais reduzidos e com eficiência crescente, podem agregar à cadeia produtiva agropecuária. Entretanto, apesar do crescente volume de soluções de tecnologia da informação (TI) apresentado ao mercado, atores do setor produtivo por vezes apontam para a falta de objetividade e de aplicabilidade

das informações apresentadas. Recorrentemente, apontam para a falta de análises econômicas respaldando a solução digital proposta.

Essas constatações sinalizam que enfoques gerais sobre a agricultura digital têm sido priorizados. Embora interessantes para a divulgação das tecnologias, não aportam elementos objetivos para a tomada de decisão do produtor. As soluções digitais, para serem efetivas no mundo real, precisam ser analisadas pela ótica dos grandes desafios e oportunidades que se apresentam à agropecuária brasileira. Essas grandes questões, grosso modo, podem ser agrupadas nas dimensões micro, macro, biológica e de gestão. A dimensão ambiental mostra-se transversal a essas outras dimensões.

Este capítulo se propõe a fazer uma breve reflexão sobre esses tópicos, com ênfase às forças motrizes-chave, pelo lado da demanda e da oferta, que dão contornos e que interagem fortemente com esses grandes desafios e oportunidades que se apresentam à agropecuária nacional. Além desta introdução, em uma segunda seção apresenta-se uma discussão sucinta sobre as principais forças motrizes de relevância à agropecuária, delineando situações de interesse para a potencial inserção das tecnologias digitais nos sistemas agropecuários. Algumas considerações sobre a agricultura digital no contexto da cadeia produtiva são feitas na terceira seção. Em uma quarta e última seção exploram-se algumas perspectivas que começam a se desenhar no ambiente doméstico e internacional e que podem trazer pressões, mas também oportunidades, para a agropecuária brasileira (e para as soluções digitais) já a partir de um futuro próximo.

## 2 Forças motrizes relevantes à agropecuária e à sua transformação digital

O exercício de pensar o futuro, seja de curto prazo (nível operacional), seja de longo prazo (nível estratégico), é um traço intrínseco da humanidade. Trabalhos recentes têm sintetizado oportunidades e desafios futuros com recortes que variam quanto à abrangência setorial, regional e temporal (Embrapa, 2014, 2018; Boumphrey; Brehmer, 2017; FAO, 2017; The Economist Intelligence Unit, 2019; Global..., 2019; Kirova et al., 2020). Termos como forças motrizes (ou drivers), tendências e megatendências entrelaçam-se, por vezes se confundem, e têm sido utilizados para descrever forças e impactos potenciais, positivos ou negativos, que se apresentam aos setores público e privado.

Uma contribuição interessante para o entendimento desses termos (e sua aplicação) foi apresentada por Boumphrey e Brehmer (2017). De acordo com esses autores, as forças motrizes moldam as megatendências, que assim se configuram em fenômenos de segunda ordem. As megatendências são forças bem estabelecidas, de influência de médio a longo prazo (5 a 15 anos), em

um mundo explicado pelas forças motrizes, cuja evolução permeia diferentes setores da economia e toma diferentes formas ao longo do tempo. Para uma força ser considerada uma megatendência ela deve ser de relevância multi-setorial. Caso essa força seja setor-específica, em que pese seu potencial de influência para o setor, ela não é uma megatendência no sentido estrito do conceito. É uma tendência.

Em muitas situações, a descrição de como essas megatendências e tendências são relevantes para o planejamento, em seus diferentes horizontes temporais, é muito vaga, o que não contribui para a tomada de decisão. Alternativamente, as reflexões sobre oportunidades e desafios futuros, pautadas em forças motrizes, são em geral mais simples e objetivas, além de terem à disposição um robusto instrumental quantitativo. Assim, quando desejável, é possível realizar análises críveis e verificáveis em apoio ao planejamento e ao processo decisório em seus diferentes níveis.

As forças motrizes referem-se a mudanças induzidas por fatores de origem natural ou humana que ocorrem nos (agro)ecossistemas. Essas mudanças podem ter uma atuação direta ou indireta. As forças motrizes de ação direta são as mudanças climáticas, as mudanças no uso da terra (como o desmatamento), a eficiência de uso de nutrientes pelas plantas e a incidência de pragas e de doenças. Aquelas de ação indireta operam de maneira mais difusa, alterando pelo menos uma força motriz direta, que acaba por influenciar os processos do (agro)ecossistema. As forças motrizes indiretas mais importantes são aquelas de cunho demográfico, econômico, sociopolítico, científico-tecnológico, cultural e religioso (Nelson, 2005).

As forças motrizes atuam em níveis global, nacional e local e apresentam interações entre essas diferentes escalas (Hazell; Wood, 2008; Embrapa, 2014). A conscientização sobre essas forças motrizes, sua importância, impactos potenciais e interações foi impulsionada, fortemente, a partir dos anos 1990, com as possibilidades de comunicação oferecidas pela internet e pela concomitante queda nos preços de equipamentos e serviços de TI.

Em escala global, fatores como mudanças climáticas, globalização e comércio exterior, preços internacionais de alimentos, insumos para a produção agropecuária (energia, inclusive), políticas (agrícolas, ambientais etc.), entre outros, interagem com fatores em nível nacional. Em nível de país há outros fatores, como aqueles de natureza macroeconômica e política, questões legais, canais de mercado, renda per capita e urbanização. A escala nacional principalmente, mas também a global, interagem com o nível local, no qual fatores como infraestrutura e acesso a mercados, zoneamento agroecológico (e restrições ambientais), emprego, incentivos (políticas públicas) e desincentivos (impostos) mostram-se atuantes (Hazell; Wood, 2008).

Determinar a importância relativa de cada força, direta ou indireta, ou das interações entre elas sobre os impactos observados em uma dada localidade

não é tarefa trivial. Não obstante, as estratégias para responder a eventuais mudanças indesejáveis serão motivadas pela habilidade dos agentes locais de influenciar esses fatores de mudança. Desse modo, à parte as dificuldades, é importante manter o foco nos fatores que mais influenciam oportunidades e desafios em nível local (Hazell; Wood, 2008).

Em nível local, as percepções do produtor sobre a importância relativa dessas forças, em termos de pressão sobre os recursos disponíveis, de restrições e oportunidades que se apresentam ao negócio, sujeitas aos seus valores individuais, norteiam os rumos da tomada de decisão. As perspectivas do produtor quanto aos custos de oportunidade e aos riscos envolvidos na tomada de decisão são únicas a uma dada combinação produtor-propriedade, uma vez que a quantidade e a qualidade de recursos (terra, trabalho, capital físico e humano) e de insumos, bem como os preços relativos envolvidos, variam caso a caso.

Portanto, a análise dessas forças motrizes fornece elementos para apoiar as reflexões e as ações do setor público e privado, orientando a definição de planos, objetivos e metas de ação. Para a pesquisa e para a transferência de tecnologia, sinalizam com rumos para o estabelecimento de prioridades e estratégias de programas e projetos. As crescentes possibilidades oferecidas pelas tecnologias da informação e comunicação (TIC) permitem maior interação entre atores e agentes de relevância à agropecuária. De modo crescente, essa interação passa a incluir outros atores da sociedade, e também da comunidade internacional, nas discussões relacionadas à agropecuária e seu ambiente de produção.

Um modo interessante de se analisarem as forças motrizes e seus impactos passa pelo modelo de oferta e demanda da economia. Essa estrutura de análise incorpora muitos dos sinais providos pelas diferentes forças motrizes. Assim, os principais fatores relacionados ao aumento na demanda por produtos agropecuários são as variações no crescimento populacional e na renda per capita. Fatores como a taxa de urbanização e as preferências dos indivíduos, que se mostram sujeitos à influência cultural, sociopolítica e religiosa, também atuam sobre o deslocamento da demanda.

Os fatores pelo lado da demanda, refletindo as principais preferências da sociedade, influenciam as decisões quanto ao processo de produção agropecuária (oferta). As principais forças motrizes relacionadas às variações na oferta de produtos agropecuários são a oferta tecnológica e os custos de produção. As soluções digitais (oferta tecnológica) podem contribuir favoravelmente para ganhos de eficiência na gestão e no processo produtivo. Isso abre espaço para a redução dos custos de produção, além de criar oportunidades para a expansão da receita dos produtores e, de modo mais amplo, dos atores envolvidos na cadeia produtiva.

## 2.1 Forças motrizes-chave pelo lado da demanda

Os dois principais deslocadores da curva de demanda são o crescimento da população e da renda per capita. Hertel e Baldos (2016) estimaram que entre 1961 e 2006 o crescimento da população, de 1,7% ao ano no período, explicou 83,7% da variação na demanda na agricultura. A variação da renda no período, de 1,4% ao ano, respondeu pelos 16,3% restantes.

As projeções mais recentes das Nações Unidas apontaram que a população mundial, em 2050, estará na faixa de 9,4 bilhões a 10,1 bilhões, representando uma expansão média de 0,8% ao ano frente à população de 2019, de 7,7 bilhões (Nações Unidas, 2019). A renda per capita, nas décadas à frente, crescerá em importância como força explicando a expansão da demanda (Guillemette; Turner, 2018).

Hertel e Baldos (2016) foram capazes de capturar esses desdobramentos, tendo como referencial o período de 2006 a 2051. Nesse intervalo, as taxas simuladas de crescimento da população e da renda per capita foram de 0,8% ao ano e de 2,1% ao ano, respectivamente. Sob essas condições, o aumento na demanda na agricultura para o horizonte 2006 – 2051, devido às variações no crescimento da população e da renda per capita, seriam de, respectivamente, 35,4% e 149% frente ao período 1961 – 2006. A decomposição dessas forças para o horizonte 2006 – 2051 revelou que a força motriz população explicaria 55% do crescimento da demanda na agricultura, enquanto a renda per capita explicaria os 45% restantes. No período que se estende até 2050, parcela majoritária da variação da população global estará concentrada na África (59,2%) e na Ásia (33,5%) (Nações Unidas, 2019). A renda, como fator explicativo do aumento da demanda na agricultura, terá a Ásia como ator principal, seguida da África (64,6% e 21,1% da variação total, respectivamente) (Hertel; Baldos, 2016).

Essas forças, aliadas às mudanças nos hábitos alimentares decorrentes da ampliação da classe média mundial (Kharas, 2017) e da crescente taxa de urbanização (Warr, 2019), mantêm aquecida a demanda por produtos agropecuários na próxima década. As taxas de crescimento da demanda por produtos de maior elasticidade-renda, como a proteína animal, deverão ser maiores nos países emergentes (Godfray et al., 2018), cuja população busca atingir patamares de consumo próximos aos observados nos países ricos. O envelhecimento da população (Nações Unidas, 2019) e possíveis mudanças de preferências motivadas por pleitos de uma alimentação mais saudável e questões ambientais (Godfray et al., 2018) devem arrefecer a taxa de aumento na demanda por proteína animal no futuro. Contudo, eventuais transformações estruturais e em grande escala são processos complexos, que levam décadas para serem efetivados (Elzen et al., 2012).

### 2.1.1 Demanda agrícola e Covid-19

A pandemia tem causado um quadro único na história da humanidade, em termos de suas características e proporções, na medida em que os seus efeitos deletérios sobre as dimensões da saúde e da economia têm afetado, simultaneamente, as diferentes regiões do mundo.

As expectativas de crescimento econômico, no Brasil e no Mundo, têm se deteriorado rapidamente ao longo dos últimos meses. Estimativas da Comissão Europeia apontam para uma queda abrupta na projeção de variação do Produto Interno Bruto (PIB) para 2020, com amplitude de -4,8 p.p. na China a -10,9 p.p. na Espanha, em relação aos cenários pré-crise. A economia global, nessas projeções, deverá encolher 6,5 p.p. ante o cenário pré-crise (variação de +3% para -3,5%) (European Commission, 2020a, 2020b). No caso brasileiro, o último Relatório Focus disponível<sup>1</sup>, de 19 de junho de 2020, projetou um encolhimento da economia brasileira de 6,50% no ano corrente, o que representa uma queda de 8,8% frente às projeções de crescimento pré-Covid-19.

O ritmo de recuperação econômica será lento e bastante desigual entre países, entre regiões de um dado país e entre os diferentes setores da economia. Ainda há muita expectativa sobre a efetividade das medidas econômicas emergenciais anunciadas pelos governos. O quadro pode se agravar, tendo em vista as incertezas quanto à possibilidade de novos ciclos de Covid-19 ao longo dos próximos meses, até que uma vacina viável esteja disponível e amplamente disseminada.

O setor agropecuário tem se mostrado resiliente, um dos únicos capazes de sustentar uma variação positiva do PIB setorial, com crescimento projetado de 2,5% para 2020 (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil, 2020). Entretanto, os impactos da pandemia sobre a demanda do setor “alimentação”, no curto prazo e no imediatamente pós-pandemia, devem ser assimétricos entre seus subsetores. Essa assimetria reflete, entre outros, restrições devido ao distanciamento social, à deterioração da renda per capita nesses próximos meses, à disponibilidade de produtos substitutos e à elasticidade-renda da demanda dos produtos.

O grupo “alimentação no domicílio” tem sido o menos impactado pela crise da Covid-19. Mesmo assim, conforme o estrato de renda, deverá amargar uma desaceleração na demanda que pode chegar a -3,7% ao longo do

---

<sup>1</sup> O Relatório Focus, do Banco Central do Brasil (BCB), “[...] resume as estatísticas calculadas considerando as expectativas de mercado coletadas até a sexta-feira anterior à sua divulgação. Ele é divulgado toda segunda-feira. O relatório traz a evolução gráfica e o comportamento semanal das projeções para índices de preços, atividade econômica, câmbio, taxa Selic, entre outros indicadores. As projeções são do mercado, não do BC[...].” (Banco Central do Brasil, 2020).

próximo ano ante as expectativas pré-crise<sup>2</sup>. Grupos de alimentos de maior elasticidade-renda, como refeições fora de casa e os segmentos de orgânicos e de proteína animal, deverão ser mais fortemente impactados. Conforme o caso, a queda na demanda ao longo do próximo ano pode ultrapassar o patamar de -9,0% na comparação com o cenário pré-crise (Martha Júnior, 2020).

A globalização e o comércio internacional seguem essenciais para o desenvolvimento econômico. Espera-se, porém, crescente fomento à nacionalização da produção de uma maior variedade de insumos para apoiar o processo produtivo dentro das fronteiras dos países. Paralelamente, a tendência de consumidores mais exigentes e buscando informações mais qualificadas sobre produtos e serviços da agropecuária e sobre variáveis ambientais e sociais relacionadas à produção (e eventuais externalidades) ganha envergadura.

Nesse contexto, é plausível ponderar que o espaço para o crescimento das exportações deverá ocorrer em um ambiente mais acirrado em termos de competição, em particular frente à brusca queda na renda per capita, consequência da pandemia da Covid-19. Em que pesem essas incertezas, para o momento, estão mantidas as expectativas positivas para a expansão da participação do Brasil nos mercados agrícolas globais ao longo da próxima década. Contudo, atender a demandas cada vez mais diversas e rigorosas, e capturar as oportunidades por elas oferecidas, não é tarefa trivial e isenta de desafios.

Algumas tecnologias digitais devem crescer em importância nesse contexto. A consolidação das tendências discutidas anteriormente aponta para uma rápida ampliação na demanda por soluções digitais com foco no monitoramento e na rastreabilidade de produtos e no comportamento de variáveis do sistema (sensores, geotecnologias, *Big Data* etc.). Com o uso ampliado dessas soluções digitais, busca-se aumentar o volume de informações sobre origem, segurança e qualidade dos alimentos, bem como sobre modelos de produção agropecuária e seus impactos potenciais na dimensão ambiental e social.

## 2.2 Forças motrizes-chave pelo lado da oferta

O lado da oferta reflete a quantidade de bens e serviços que os produtores optam por colocar no mercado, em um dado período. Contudo, a produção agropecuária não é um processo rápido. As decisões sobre o que produzir, e com qual pacote tecnológico, ocorrem com meses de antecedência à colheita de grãos, como o milho, ou de oleaginosas, como a soja. Na pecuária, na fruticultura e no setor florestal essa antecedência entre a tomada de decisão relativa à produção e a concretização dos resultados é de anos. Desse modo,

---

<sup>2</sup> Assume-se preços constantes, não incorporando, portanto, a dinâmica quando os preços vão se ajustando. Considerou-se queda de 6,50% no PIB per capita, com referência às informações no último Relatório Focus disponível, de 19 de junho de 2020.



as expectativas quanto aos preços (produtos, insumos), ao volume de produção e às variáveis de risco associadas (e.g. preço e produtividade) tornam-se bastante relevantes no processo decisório.

No curtíssimo prazo, o produtor tem capacidade limitada para alterar o nível de produção e o pacote tecnológico. No curto prazo, oscilações nas condições climáticas e volatilidade de preços, decorrentes de incertezas no lado da oferta e da demanda e de movimentos especulativos no mercado, ampliam os riscos de produção e de mercado da atividade agropecuária. Períodos de grandes incertezas, como o que está acontecendo com a pandemia do novo coronavírus, introduzem um maior grau de risco ao negócio agropecuário, determinam desafios adicionais às políticas agrícolas (renda do produtor e abastecimento aos consumidores) e influenciam a tomada de decisão em diferentes níveis.

As decisões quanto à produção e ao pacote tecnológico adotado são ajustadas pelo produtor conforme o tempo vai se ampliando. Quanto maior o tempo considerado, maior a possibilidade de implementação de ajustes. No prazo mais longo, todos os fatores são variáveis. No longo prazo, a geração e a incorporação de inovações tecnológicas aos sistemas de produção agropecuários têm sido a principal e mais exitosa estratégia para garantir maior oferta de alimentos, segurança alimentar para a população brasileira, majoritariamente urbana nos dias atuais, e condições econômicas viáveis aos produtores rurais (Martha Júnior; Alves, 2018).

Os pacotes tecnológicos desenvolvidos para a agropecuária brasileira, entre outros, incluem genética melhorada, fertilizantes, agroquímicos, práticas culturais e sistemas conservacionistas de produção, como o plantio direto e a integração lavoura-pecuária-floresta. Mais recentemente, as possibilidades tecnológicas têm se expandido e incorporado soluções digitais ao universo de tecnologias viáveis. Com a adoção dessas diferentes formas de tecnologia, busca-se ampliar os ganhos de produtividade com maior eficiência no uso dos recursos e dos insumos, aspectos estratégicos para a sustentabilidade e a competitividade da agropecuária nacional.

### 2.2.1 O papel da tecnologia na agropecuária brasileira

O estilo de desenvolvimento do agregado da agricultura brasileira tem sido predominantemente baseado em ganhos de produtividade, refletindo a crescente incorporação de tecnologias ao sistema de produção. Alves et al. (2013) trabalharam com os dados dos Censos Agropecuários de 1995/96 e de 2006 e investigaram os determinantes da renda na agropecuária brasileira. No espaço de uma década, a tecnologia, valendo-se do empreendedorismo dos produtores, das políticas públicas (como crédito rural) e do estoque de conhecimento e tecnologias disponíveis em agricultura tropical, passou a explicar 68% da variação na renda bruta na agropecuária. Uma elevação de 33% ante

a 1995/1996. Na comparação entre os Censos Agropecuários, a contribuição da terra e do trabalho para a variação da renda na agropecuária reduziu-se em cerca de 50% (de cerca de 18% para 9%) e 30% (i.e. de aproximadamente 31% para 22%), respectivamente.

Portanto, os fatores terra e trabalho perderam relevância para explicar o desenvolvimento de uma agropecuária baseada em ciência, como a brasileira. A tecnologia é o grande fator por trás do desenvolvimento sustentado da agropecuária nacional nas últimas décadas e para aquele projetado para o futuro. A resposta positiva ao investimento em pesquisa agropecuária, com retornos acima de 10% (Hurley et al., 2014), ocorre em períodos longos, geralmente superiores a 20 anos, conforme a tecnologia (Alston, 2010; Baldos et al., 2018). Dado esse longo tempo de maturação da pesquisa agropecuária, os resultados listados anteriormente só foram possíveis em razão de um persistente e focado trabalho em pesquisa e desenvolvimento (P&D) agropecuário, com foco em inovação, que vem se desenvolvendo ativamente no Brasil desde os anos 1970.

Entende-se que as soluções digitais ganharão relevância nas próximas décadas, reforçando o papel da tecnologia como fator majoritário explicando a renda na agropecuária brasileira. Isso acontece em razão do amplo conjunto de bases de dados, tecnologias e recursos que perfaz a agricultura digital, transversal às vertentes tecnológicas tradicionais, e que assim passa a desempenhar papel paulatinamente mais importante na gestão e na eficiência do componente tecnológico da agropecuária nacional.

### 2.2.2 Uma breve reflexão sobre os riscos na agropecuária

Os produtores rurais desenvolvem suas atividades em um ambiente dinâmico e incerto. As expectativas (e volatilidade) de preços de produtos e insumos norteiam sua tomada de decisão. Conforme a percepção do risco do negócio, os produtores rurais podem optar por atividades de menor risco, mesmo que isso implique em comprometimento da receita média da fazenda (Barry et al., 2000; Chavas, 2008; Moss, 2010). O nível de aversão ao risco dos indivíduos pode variar com o tempo, entre outros, em razão da riqueza e de experiências anteriores (Barry et al., 2000).

Oscilações nas condições climáticas, dependendo da intensidade, da duração e do momento em que ocorrem no ciclo produtivo, podem comprometer o resultado esperado de produção. Esse risco de produção devido ao clima é um efeito aleatório, fora do controle do produtor, a não ser em áreas irrigadas, que no Brasil perfazem menos de 10% da área total cultivada. Ademais, a agropecuária brasileira opera em solos de baixa fertilidade química e se vê, ao longo de todo o ciclo de produção, pressionada pela eventual incidência de pragas, doenças e invasoras. Isso a torna dependente do uso continuado

de insumos modernos para se manter produtiva, o que, no entanto, pode acomodar ganhos substanciais de eficiência agrônômica e econômica.

Com preços relativos produto-insumo desfavoráveis, a eficiência no uso desses insumos precisa elevar-se para atenuar a pressão sobre a renda do produtor. As tecnologias digitais podem atuar diretamente na elevação dos ganhos de eficiência e na redução dos custos de produção. O instrumental disponível de agricultura de precisão possibilita ajuste aprimorado nas quantidades utilizadas *vis-à-vis* exigências de uso de uma gama de insumos, como fertilizantes, sementes, agroquímicos, combustíveis. Ademais, modelos avançados que apoiam a tomada de decisão permitem, dentro de certos limites, reduzir os impactos negativos de algumas formas de risco. Assim, sistemas de alerta inteligentes possibilitam readequação do manejo, tornando-o mais efetivo frente às pressões de doenças e pragas ou aos efeitos da estacionalidade da produção forrageira em sistemas pastoris.

Os preços das commodities agropecuárias são mais voláteis, e.g. oscilam mais ao longo do tempo, em relação à volatilidade nos preços de outros bens e serviços não-alimentícios (Tomek; Robinson, 2003). Entre as commodities agropecuárias, os preços na pecuária de corte geralmente apresentam menor volatilidade (e.g. menor risco de preço para os agentes econômicos) frente aos preços de outros produtos, como soja ou milho. Wedekin (2017) ilustrou esse fato analisando a volatilidade de preços de diversas commodities agropecuárias na bolsa de valores, no período de janeiro de 2010 a fevereiro de 2017. A volatilidade, expressa em % ao ano, para boi gordo, bezerro, soja, milho, café e açúcar foi de 11,0%, 17,0%, 23,1%, 24,6%, 32,6%, e 34,1%, respectivamente<sup>3</sup>.

No âmbito dos riscos de preços, ainda é preciso considerar o risco cambial na venda de produtos e na compra de insumos e o comportamento dos preços relativos produto-insumos, importantes na determinação do nível de produção. Em geral, os preços de produtos e insumos são positivamente correlacionados (Tomek; Robinson, 2003), mas os ajustes em variações nos preços relativos produto-insumo podem levar algum tempo.

As expectativas de preços na agropecuária brasileira ganham complexidade à medida que parcela crescente da produção nacional é destinada às exportações e, assim, tem o mercado internacional como forte componente do referencial de preços. Destaque-se, porém, que esse crescimento nas exportações não tem comprometido o abastecimento doméstico e a segurança alimentar do brasileiro (Martha Júnior, 2020).

Duas ponderações adicionais são pertinentes. Primeiramente, as soluções digitais, como insumos à produção agropecuária, têm sua adoção sujeita à

---

<sup>3</sup> A volatilidade é geralmente estimada com base na variação diária dos preços, porém, expressa como taxa percentual ao ano (Wedekin, 2017).

percepção de benefícios e aos preços relativos produto-insumo. A segunda ponderação é que uma das maiores oportunidades para o grupo de soluções digitais cujo valor depende da informação que fornece para a tomada de decisão reside no seu uso para reduzir os riscos de produção e de mercado, o chamado risco do negócio. Isso decorre da capacidade ampliada de se observar e capturar (sensores, satélites, drones), registrar e armazenar dados (*Big Data*, armazenagem em nuvem), que transferidos e utilizados paulatinamente com mais velocidade (IoT), por meio de algoritmos e modelos avançados, permitem prover soluções básicas e aplicadas (inteligência artificial, analytics) para o “mundo-real”, ampliando a eficiência do gerenciamento e das operações e a melhoria no processo decisório.

### 2.2.3 O processo de escolha da tecnologia na propriedade rural

Dois grupos de tecnologias podem ser identificados. Um primeiro grupo, das chamadas tecnologias com conhecimento cristalizado, é representado por tecnologias que incorporam uma grande quantidade de conhecimento e que não exigem habilidades especiais para seu uso – o valor da tecnologia já está incorporado a ela. Exemplos seriam as sementes híbridas, os fertilizantes e a maioria dos agroquímicos. Esse tipo de tecnologia é o mais exitoso na agropecuária do século XX (Miller et al., 2018; Lowenberg-Deboer, 2019). Na agricultura digital, um exemplo seria a orientação de deslocamento por meio dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS) (Lowenberg-Deboer, 2019).

Um segundo grupo é o das tecnologias intensivas em informação. Essas tecnologias geram uma quantidade substancial de dados e, possivelmente, de informações, que podem ser utilizadas no processo de tomada de decisão. Entretanto, para explorar o potencial oferecido por essas tecnologias intensivas em informação é necessário analisá-las e interpretá-las, o que exige treinamento e algum grau de especialização (Miller et al., 2018; Lowenberg-Deboer, 2019). Na agricultura digital, um exemplo seria a tecnologia de aplicação de insumos a taxas variáveis (Lowenberg-Deboer, 2019).

Independentemente do tipo, existem algumas etapas que devem ser utilizadas no processo de escolha de tecnologias na propriedade rural. Tomando como base a sugestão de Alves (2001), e adaptando-a para o contexto das tecnologias digitais, as etapas críticas para a avaliação dessas soluções digitais seriam:

- a) descrição da tecnologia digital e da proposta para sua inserção no sistema produtivo.
- b) análise dos pontos positivos e negativos da tecnologia digital *vis-à-vis* a que será substituída na propriedade. Quais os ganhos esperados?

- c) identificação das mudanças necessárias no sistema de produção atual e na gestão da propriedade para viabilizar a adoção da tecnologia digital. Por exemplo, qual a demanda por recursos e por assistência técnica especializada para o funcionamento adequado da solução digital?
- d) identificação das restrições, no contexto da fazenda, que podem limitar o melhor desempenho da solução digital. Por exemplo, quais seriam eventuais limitações em infraestrutura de TI na região?
- e) análise da demanda financeira e das possibilidades de financiamento no caso de custos de aquisição de capital. Como a forma de contratação da solução digital afeta a tomada de decisão do produtor (custo fixo versus variável)? É importante considerar, também, se há uma escala mínima necessária, ou preços mínimos, para viabilizar a tecnologia digital.
- f) avaliação dos riscos relacionados à tecnologia digital e das necessidades de capacitação do produtor/gestor da propriedade.
- g) análise de impactos (positivo ou negativo) percebidos da tecnologia digital sobre o ambiente.

Nos casos em que os benefícios sociais esperados superam os benefícios privados em razão do uso da tecnologia, criam-se oportunidades para eventualmente se desenhar uma política pública para igualar os dois tipos de benefícios (Alves, 2001). Quando de interesse da sociedade, a adoção dessas tecnologias digitais pode, assim, ser induzida por meio de um conjunto de incentivos adequados.

#### 2.2.4 Um exemplo ilustrativo

As perspectivas do produtor quanto aos custos de oportunidade e aos riscos envolvidos na tomada de decisão são únicas em relação a uma dada combinação produtor-propriedade. Isso acontece porque a quantidade e a qualidade dos recursos (terra, trabalho, capital físico e humano) e de insumos disponíveis, sujeitos aos preços relativos pertinentes, variam caso a caso. A agropecuária brasileira é sobremaneira exposta aos sinais de mercado<sup>4</sup>. Portanto, avaliar o desempenho econômico da atividade é etapa essencial no processo decisório.

O fundamento do cálculo do custo é o custo de oportunidade. Este representa o valor da melhor alternativa sacrificada, dadas as restrições à produção, para que outra alternativa econômica seja realizada. Despesas (explícitas) e

---

<sup>4</sup> Calcula-se, com estatísticas da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, que na média de 1995–2018 o nível de incentivos à agropecuária brasileira (“producer support estimate”) foi de apenas 1,6% da receita bruta em nível de fazenda. Considerando o mesmo período, os níveis de incentivos médios recebidos pelos produtores rurais nos Estados Unidos, na China e na União Europeia foram de 13,0%, 8,7% e 26,9%, respectivamente (Organisation for Economic Co-Operation and Development, 2019).

remunerações (implícitas) do capital (próprio ou de terceiros) precisam ser computadas. As despesas envolvem desembolsos em dinheiro, enquanto os aluguéis e os juros pagos pelo uso do capital representam o quanto a firma está sacrificando, em termos monetários, para realizar essa atividade frente a outra alternativa.

A Tabela 1 apresenta um exercício referente à soja, safra 2019/2020. Descritores dos indicadores constam da nota de rodapé da Tabela. A renda líquida (RL), no cenário de base, foi de R\$ 265,01. Isso significa que, na situação representada na Tabela 1, foi possível remunerar, integralmente, todos os fatores de produção, tendo restado ainda um saldo positivo. As principais tecnologias digitais em uso têm buscado a elevação dos ganhos de eficiência nas operações mecanizadas e no uso de insumos, marcadamente fertilizantes e agroquímicos. Esses três itens de despesa – operações com máquinas, fertilizantes e agroquímicos – representaram, no exercício ilustrado na Tabela 1, 47,2% do custo total (CT).

**Tabela 1.**  
Exercício ilustrativo do potencial das tecnologias digitais na redução de despesas e na ampliação da renda líquida na produção de soja.<sup>5</sup>

Redução de despesas pela adoção de soluções digitais (%)	Renda líquida, RL (cenário de base)	Choque- produtividade	Choque- produtividade + choque-preço
	Renda líquida (R\$/ha)		
0	265,01	3,09	-158,42
2,5	303,10	41,19	-120,33
5,0	341,20	79,28	-82,23
15,0	493,58	231,66	70,15
RL, EPM	183,48 a 346,54	-78,44 a 84,62	-239,95 a -76,89

Alguns dos benefícios potenciais das soluções digitais passíveis de adoção no sistema de produção, de certa forma, já têm seu custo representado nessas despesas, pois se referem às tecnologias do tipo cristalizadas, que não demandam

<sup>5</sup> Obs.: Considera 18 painéis da Conab para a safra 2019/2020. A receita líquida (RL) é dada por RL = RB – CT. A redução nas despesas refere-se a operações com máquinas, fertilizantes, agroquímicos. EPM refere-se ao erro padrão da média, é uma medida de dispersão. Para o cenário de base, teve-se produtividade média de 53,4 sacas (60 kg) por hectare. O preço médio, à época da tomada de decisão (2019), foi de R\$ 65,34/saca. No cenário de base tem-se receita bruta (RB) de R\$ 3.492,21; custos variáveis (CV) de R\$ 2.330,73; custo operacional total, COT (CV + depreciações e outros custos fixos) de R\$ 2.791,04; custos totais (CT; CT=COT somado às despesas com remuneração do capital e aluguéis) de R\$ 3.227,20. O choque de produtividade considerou quebra de 7,5% na produtividade de soja e o choque de preço, uma queda de 5% no preço da soja.

remuneração adicional. Considere, alternativamente, que se estuda a viabilidade de ampliar tais benefícios por meio de tecnologias intensivas em informação. Estas permitiriam fazer um melhor uso, por exemplo, de mapas de produtividade, fertilidade do solo e identificação de desvios no desenvolvimento da cultura para apoiar a tomada de decisão. Não há uma regra para remuneração desses serviços, mas estima-se que, em função das particularidades de cada propriedade, esse valor pode variar, atualmente, entre R\$ 5,00 e R\$ 40,00 por hectare.

Um olhar descuidado às informações da Tabela 1 pode revelar que uma solução digital com custo, por exemplo, de R\$ 40,00/ha, seria facilmente paga pela RL de R\$ 265,01. Entretanto, o produtor já tem essa RL sem o uso da tecnologia em avaliação. Portanto, o importante é olhar para a diferença entre o ganho econômico esperado com o uso da solução digital em avaliação e aquele já auferido, traduzido pela RL no cenário de base. As diferenças seriam, assim, de R\$ 38,09, R\$ 76,19, R\$ 228,57 para os ganhos de eficiência pela adoção da solução digital de 2,5%, 5,0%, e 15,0%, respectivamente (Tabela 1).

Nesse contexto, duas qualificações possivelmente são relevantes. Primeiramente, na presença de choques negativos de produtividade e de preços, que reduzem a renda frente ao cenário de base, o desempenho econômico do sistema deteriora-se. Todavia, as respostas diferenciais esperadas pelos ganhos de eficiência no uso e aplicação de insumos, na Tabela 1, mantiveram-se. Colocado de outra maneira, se o pagamento por uma solução digital for como um “custo fixo”, que independe do nível de produtividade, a tomada de decisão, na margem, não se altera<sup>6</sup>. A decisão ótima se manteria, exceção feita quando a despesa adicional “fixa” for de uma magnitude tal que comprometa o resultado positivo do negócio já a partir do curto prazo.

Exemplificando, com quebra de 7,5% na produtividade (“choque-produtividade”), a RL ficou ligeiramente positiva, em R\$ 3,09. A dispersão da RL, dada pelo erro padrão da média, foi de -R\$ 78,44 a R\$ 84,62 (Tabela 1). Essa condição possivelmente sinalizaria que uma parcela dos produtores, com percepção de incerteza quanto ao desempenho efetivo da tecnologia digital, poderia optar por não a usar. Se a tecnologia entregar o que promete – no caso ilustrado na Tabela 1, uma redução nas despesas com operações mecanizadas, fertilizantes e agroquímicos de 2,5% a 15% –, sua adoção melhorará o desempenho econômico, quer seja pela ampliação do resultado positivo, quer seja pela redução do negativo, como ilustrado na última coluna (choque conjunto de produtividade e de preços).

---

<sup>6</sup> Se o pagamento por uma solução digital for variável, dependente do nível de produtividade, a tomada de decisão, na margem, se altera. Nessas situações, cada nível diferente de produção, coincidente com um pagamento distinto pela tecnologia, seria otimizado em um nível diferente.



Uma segunda qualificação diz respeito às relações entre receita e custo, em seus diferentes níveis. Se o custo de produção unitário for superior ao preço do produto, o negócio, da maneira como está, não é sustentável. No curto prazo, se as despesas representadas pelos custos variáveis fossem remuneradas, o produtor deveria permanecer na atividade se tivesse expectativas de que, no futuro, teria condição de remunerar os fatores de produção integralmente (RL nula ou até mesmo positiva no caso de “lucros anormais”)<sup>7</sup>. Tais expectativas poderiam refletir uma perspectiva de melhoria no preço do produto, o que, no entanto, foge ao controle do produtor. No mercado próximo à concorrência perfeita, em que a agropecuária opera, o produtor é um tomador de preços. Poderia, alternativamente, refletir uma análise crítica e bem-feita do sistema, pelo tomador de decisão, na qual identificar-se-iam oportunidades sob seu controle para melhorar, de modo sustentado, a eficiência de uso de recursos e insumos e a produtividade. O diagnóstico correto, associado com a capacidade de gestão e de implementação de ações adequadas, possibilitaria a redução dos custos de produção e/ou aumento da renda e, potencialmente, a obtenção de RL mais favorável.

As possibilidades oferecidas pela nova geração de soluções digitais permitem que instrumentos de gestão bem estabelecidos, mas ainda pouco utilizados pelos produtores em seu cotidiano, passem a fazer parte da esfera decisória de rotina, muitas vezes de maneira automática. Com a expansão de uma gama de dados para a gestão da fazenda e das operações de campo, torna-se possível estimar com mais acuracidade e precisão a situação em que o uso de determinado recurso e / ou insumo será maximizado. E com expectativas de mudanças nos preços relativos ou nos níveis de produção, é possível reestimar novos ótimos que maximizem os retornos ao produtor.

### 3 A agricultura digital no contexto da cadeia produtiva

As soluções digitais atuam transversalmente na cadeia produtiva agropecuária. Um exemplo interessante dessas aplicações foi apresentado por USAID (2019). As soluções digitais têm aplicabilidade desde o processo de planejamento, avançando para a indústria de insumos (pré-porteira), para a produção agropecuária, como amplamente abordado nos capítulos deste livro, chegando até a indústria de transformação e os consumidores. De modo transversal a esses elos tem-se o setor de transportes e o setor financeiro, que

---

<sup>7</sup> O custo econômico “zero”, por considerar despesas explícitas e implícitas, não é o mesmo que o “zero” do entendimento contábil.

de modo crescente se beneficiam das soluções digitais. As atividades, nesses diferentes elos, não ocorrem em um vazio econômico. Desse modo, observa-se uma série de efeitos para frente e para trás na cadeia produtiva, que em última análise tem potencial para multiplicar os ganhos setoriais.

Dados do Cepea - Esalq/USP (2020) (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2020) mostraram que o PIB do agronegócio brasileiro em 2019, equivalente a 21,4% do PIB do Brasil, somou R\$ 1,55 trilhões. Desse total, a contribuição dos setores insumos, agropecuária, agroindústria e serviços foi de R\$ 79,13 bilhões, R\$ 351,04 bilhões, R\$ 466,61 bilhões e R\$ 656,22 bilhões, respectivamente. O ponto-chave a ser ilustrado com esses números é que uma agropecuária forte, competitiva e sustentável tem condições de fornecer à indústria nacional um fluxo de matérias-primas de qualidade, a preços reais declinantes, aumentando, potencialmente, sua competitividade de maneira sustentada. Não obstante, a consolidação da competitividade e da sustentabilidade de uma agropecuária forte, baseada em ciência, demanda insumos modernos e de alto conteúdo tecnológico. Estes são providos pelas atividades urbanas. Tem-se, portanto, um amplo mercado a ser explorado pelo setor industrial e de serviços do país, se estes forem capazes de entregar à agropecuária produtos de qualidade e a preços competitivos (Martha Júnior; Alves, 2018).

Ganhos sustentados de eficiência, por exemplo, providos por soluções digitais, podem contribuir favoravelmente para a ampliação da demanda agropecuária. Em trabalho recente, Takasago et al. (2017) estimaram os multiplicadores do tipo II de produção, de emprego e de renda para a agropecuária brasileira. Os valores encontrados foram de 3,42, 1,84 e 5,55, respectivamente. Desse modo, para cada R\$ 1 milhão de aumento na demanda final do setor, espera-se um total de efeitos diretos, indiretos e induzidos de R\$ 10,81 milhões. Adicionalmente, para cada R\$ 1 milhão de choque na demanda final da agropecuária, há estímulo à criação de 60 empregos totais, sendo 33 diretos, sete indiretos e 20 induzidos. Esses números ilustram o expressivo potencial para a aplicação de conhecimentos e tecnologias que possibilitem melhorias nos processos de gestão e de tomada de decisão na propriedade rural, com consequente elevação dos ganhos de eficiência e redução dos custos de produção nas diferentes etapas produtivas<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Heath (2018) estimou os efeitos potenciais da agricultura digital para a economia australiana. Suas simulações basearam-se em ganhos de produtividade atribuídos à maior eficiência e valor da produção e comercialização. Encontrou que os ganhos seriam da ordem de A\$ 20,3 bilhões (cerca de R\$ 71.90 bilhões). Cerca de dois terços dos ganhos foram atribuídos a automação (poupa-trabalho), melhor entendimento da genética e manejo para o atingimento de ganhos em produtividade (vegetal e animal), uso mais eficiente de insumos e melhoria no acesso a mercados.

## 4 Considerações finais

As tecnologias digitais têm potencial efetivo para melhorar a competitividade e a sustentabilidade das cadeias produtivas agropecuárias brasileiras, de modo sustentado no tempo. Observar esse potencial, no entanto, não é tarefa trivial.

Um primeiro aspecto diz respeito ao fenômeno da concentração e consolidação setorial. Tal fenômeno, presente nos segmentos de insumos como sementes, agroquímicos, fertilizantes e máquinas agrícolas, avança de modo acelerado na dimensão da agricultura digital. Tais movimentos sinalizam para a maior concentração e consolidação na cadeia produtiva agropecuária, no “dentro da porteira” e nos segmentos de indústria e de serviços (Miles, 2019; Mooney, 2019; Klerkx; Rose, 2020).

Esse contexto introduz um segundo aspecto, relacionado às barreiras para a adoção das tecnologias digitais e à dimensão das políticas e sua capacidade para promover um ambiente mais competitivo à produção agropecuária nessa era digital que se avizinha. Uma das principais barreiras à adoção mais ampla de tecnologias modernas diz respeito às imperfeições de mercado. Estas alteram os preços relativos e o retorno ao investimento em tecnologias, e podem levar à ampliação da desigualdade produtiva. Desse modo, a redução de imperfeições de mercado é condição necessária para a expansão da produção de modo mais inclusivo e para aumentar a efetividade de políticas com foco na adoção de tecnologias na agricultura (Martha Júnior; Alves, 2018).

A adoção de uma nova tecnologia, em particular quando o setor opera com baixos níveis de incentivos, como no caso brasileiro, implica na avaliação pelos produtores de que a tecnologia proposta é superior (competitiva) àquela alternativa, em uso na propriedade. O processo de escolha da tecnologia na propriedade rural envolve a análise de diversos fatores e está condicionado à capacidade de o produtor rural assimilar e efetivamente adotar esses conhecimentos e tecnologias de acordo com as recomendações. Em alguns casos, há dificuldade da pesquisa e da extensão rural em traduzir e transferir o conhecimento existente e as respectivas recomendações em linguagem que possa ser absorvida facilmente pelos produtores.

Desse modo, um amplo e competente trabalho de geração de análises técnico-econômicas pertinentes, e posterior difusão dos resultados, faz-se necessário para estimular a sua mais rápida adoção. As soluções digitais, ao permitirem (1) difusão mais rápida de conhecimentos e recomendações (e.g. contribui para reduzir a percepção de risco); (2) melhor monitoramento de variáveis-chave (e.g. abre espaço para termos de troca mais favoráveis e para ganhos de eficiência no manejo dos componentes do sistema e das interações entre eles); e, potencialmente, (3) maior atratividade econômica do negócio agropecuário (e.g. impulsionados pela rastreabilidade e pela transparência

relacionadas a produtos e processos), podem auxiliar na redução de algumas das formas de imperfeição de mercados.

Um terceiro aspecto diz respeito ao comportamento das soluções digitais *vis-à-vis* outras inovações disponíveis para aplicação no sistema. Os resultados observados com a avaliação de uma determinada tecnologia, isoladamente, podem não ser transferíveis para situações em que outras tecnologias, digitais ou não, são implementadas simultaneamente. Os resultados da interação entre diferentes conhecimentos e tecnologias, introduzidos simultaneamente no sistema de produção, podem ser diferentes.

Além disso, mais soluções digitais estão ficando disponíveis à tomada de decisão dos produtores, como diferentes possibilidades de robôs/automação, inteligência artificial e sensores. Entretanto, ainda se sabe muito pouco sobre como os produtores farão suas escolhas, priorizando uma ou outra tecnologia digital ou um conjunto delas (Klerkx; Rose, 2020). As escolhas dos insumos e das tecnologias utilizados nos sistemas de produção dependem dos seus preços relativos e, obviamente, das expectativas de retorno com a sua utilização. No curto prazo, variações substanciais nos preços relativos dos fatores podem inviabilizar a adoção de tecnologias, principalmente daquelas mais intensivas em capital.

Um quarto aspecto, potencializado pela crise do novo coronavírus, sinaliza que as tecnologias digitais estão sendo adotadas de forma mais ávida no cotidiano das pessoas e de algumas atividades produtivas e financeiras (trabalho remoto, comércio eletrônico etc.). Essas alterações na forma de funcionamento da economia podem acelerar mudanças estruturais, com impactos na dimensão socioeconômica. Se por um lado alguns setores ganham impulso com a antecipação de uma era digital mais intensa, por outro pode-se observar a persistente manutenção de taxas elevadas de desemprego nos estratos de pessoas com menor qualificação. Essa porção da população, já bastante prejudicada pela crise e pela retomada lenta da economia, pode ver suas expectativas de emprego e renda adicionalmente deterioradas frente à sua falta de domínio de instrumentais mínimos para transitar nessa era digital.

Com visão de futuro, o fortalecimento da competitividade e da sustentabilidade da agropecuária brasileira passa por uma base sólida de investimentos em pesquisa agropecuária, sem falhas de continuidade. Por uma perspectiva estratégica, a intensidade de investimentos em pesquisa agropecuária pública requer isonomia de condições frente aos principais competidores internacionais. Os países desenvolvidos investem cerca de 3,12% do PIB agropecuário em pesquisa pública (Heisey; Fuglie 2018). O Brasil investia aproximadamente 1,8% do PIB agropecuário em pesquisa, majoritariamente pública, até 2013 (Martha Júnior; Alves, 2018). Com o quadro recessivo que se estabeleceu no país entre 2015-2017, somado à fraca recuperação econômica nos anos seguintes, houve uma redução nesse patamar de investimento. Dois

desdobramentos relevantes surgem dessa reflexão: a) a necessidade de se elevarem os investimentos em pesquisa agropecuária pública no país, para garantir a continuidade do ciclo virtuoso de inovação no setor agropecuário; b) a necessidade de incentivar o engajamento do setor privado, pois o aporte governamental, isoladamente, ainda que ampliado, não será suficiente para sustentar os níveis de investimentos em pesquisa necessários para uma agropecuária competitiva nas próximas décadas.

Por fim, mas não menos importante, a implementação de estratégias exitosas pelo setor produtivo e pelo setor público e o desenho de políticas públicas de maior impacto sobre a competitividade e a sustentabilidade da produção agropecuária brasileira, buscando a consolidação de novos mercados, requerem instrumental adequado para prover análises críveis e verificáveis das dimensões técnico-econômica-ambiental-social. Sem entendimento robusto dessas dimensões, as estratégias, as políticas, os programas e, em última análise, a tomada de decisão a eles associada podem se mostrar inapropriados e impraticáveis, com consequências (resultados) indesejadas. Nesse contexto, vertentes da agricultura digital, que se valem de amplas bases de dados (*Big Data*) e de modelos e técnicas de modelagem avançadas (inteligência artificial, analytics), em diferentes áreas do conhecimento, são de grande relevância para apoiar o processo decisório em seus diferentes níveis.

## 5 Referências

ALSTON, J. M. **The benefits from agricultural research and development, innovation, and productivity growth**. Paris: OECD Publishing, 2010. (OECD food agriculture and fisheries papers, n. 31). DOI: [10.1787/5km91nfsnkwg-en](https://doi.org/10.1787/5km91nfsnkwg-en).

ALVES, E. Que fazer antes de difundir a tecnologia? Tema para discussão. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 18, n. 2, p.135-138, maio/ago. 2001. DOI: [10.35977/0104-1096.cct2001.v18.8846](https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2001.v18.8846).

ALVES, E. R. A.; SOUZA, G. S.; ROCHA, D. P.; MARRA, R. Fatos marcantes da agricultura brasileira. In: ALVES, E. R. A.; SOUZA, G. S.; GOMES, E. G. (ed.). **Contribuições da Embrapa para o desenvolvimento da agricultura no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p.13-45.

BALDOS, U. L. C.; VINES, F. G.; HERTEL, T. H.; FUGLIE, K. O. R&D spending, knowledge capital, and agricultural productivity growth: a Bayesian approach. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 101, n. 1, p. 291-310, Jan. 2019. DOI: [10.1093/ajae/aay039](https://doi.org/10.1093/ajae/aay039).

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Focus – relatório de mercado**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus>. Acesso em: 23 jun. 2020.

BARRY, P. J.; ELLINGER, P.N.; HOPKIN, J. A.; BAKER, C. B. **Financial management in agriculture**. 6th ed. Danville: Interstate, 2000. 678 p.

BOUMPHREY, S.; BREHMER, Z. **Megatrend analysis: putting the consumer at the heart of business**. London: Euromonitor International, 2017. 25 p.

CHAVAS, J.-P. On the economics of agricultural production. **The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 52, n. 4, p. 365-380, Dec. 2008. DOI: [10.1111/j.1467-8489.2008.00442.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.2008.00442.x).

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Agropecuária é destaque no PIB e cresce mesmo com Coronavírus**. Maio 2020. (PIB Brasil – 1º trimestre/2020. Comunicado técnico, 15/2020). Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/boletins/CNA-Comunicado-Tecnico-n15-29maio2020-1.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2020.

ELZEN, B.; BARBIER, M.; CERF, M.; GRIN, J. Stimulating transitions towards sustainable farming systems. In: DARNHOFFER, I.; GIBBON, D.; DEDIEU, B. (ed.). **Farming systems research into the 21st century: the new dynamic**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. p. 431-455. DOI: [10.1007/978-94-007-4503-2\\_19](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_19).

EMBRAPA. **Visão 2014-2034: o futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira**. Brasília, DF, 2014. 194 p.

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF, 2018. 212 p.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ. Centro de Estudos Avançados em Economia Agrícola. **PIB do agronegócio brasileiro**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 15 maio 2020.

EUROPEAN COMMISSION. **European economic forecast: Autumn 2019**. Nov. 2019. (European economy: institutional paper, 115). Disponível em: [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/economy-finance/ip115\\_en\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/economy-finance/ip115_en_0.pdf). Acesso em: 7 maio 2020a.

EUROPEAN COMMISSION. **European economic forecast: Spring 2020**. May 2020. (European economy: institutional paper, 125). Disponível em: [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/economy-finance/ip125\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/economy-finance/ip125_en.pdf). Acesso em: 7 maio 2020b.

FAO. **The future of food and agriculture: trends and challenges**. Rome, 2017. 163 p.

GLOBAL megatrends and impacts on the food value chain. Apr. 2019. Disponível em: <https://www.pwc.co.nz/pdfs/2019pdfs/global-megatrends-and-impacts-on-the-food-value-chain.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2019.

GODFRAY, C. J.; AVEYARD, P.; GARNETT, T.; HALL, J. H.; KEY, T. J.; LORIMER, J. Meat consumption, health, and the environment. **Science**, v. 361, n. 6399, eaam5324, 2018. DOI: [10.1126/science.aam5324](https://doi.org/10.1126/science.aam5324).

GUILLEMETTE, Y.; TURNER, D. The long view: scenarios for the world economy to 2060. **OECD Economic Policy Paper**, n. 22, July, 2018. DOI: [10.1787/2226583X](https://doi.org/10.1787/2226583X).

HARARI, Y. N. **Sapiens: a brief history of humankind**. New York: HarperCollins Publishers, 2015. 443 p.

HAZELL, P.; WOOD, S. Drivers of change in global agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 363, n. 1491, p. 495-515, July 2008. DOI: [10.1098/rstb.2007.2166](https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2166).

HEATH, R. An analysis of the potential of digital agriculture for the Australian economy. **Farm Policy Journal**, v. 5, p. 9-23, 2018. <http://103.37.8.116/~farminst/product/an-analysis-of-the-potential-of-digital-agriculture-for-the-australian-economy-by-richard-heath/>

HERTEL, T. W.; BALDOS, U. L. C. **Global change and the challenges of sustainably feeding a growing planet**. Cham: Springer International Publishing, 2016. 184 p. DOI: [10.1007/978-3-319-22662-0](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22662-0).

HURLEY, T. M.; RAO, X.; PARDEY, P. G. Re-examining the reported rates of return to food and agricultural research and development. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 96, n. 5, p. 1492-1504, Oct. 2014. DOI: [10.1093/ajae/aau047](https://doi.org/10.1093/ajae/aau047).

Forças motrizes para a agropecuária brasileira na próxima década: implicações para a agricultura digital

KHARAS, H. The unprecedented expansion of the global middle class: an update. **Global Economy Development Working Paper**, n. 100, Feb. 2017. 27 p. (Brookings Institution). Disponível em: [https://think-asia.org/bitstream/handle/11540/7251/global\\_20170228\\_global-middle-class.pdf?sequence=1](https://think-asia.org/bitstream/handle/11540/7251/global_20170228_global-middle-class.pdf?sequence=1). Acesso em: 1 jun. 2020.

KIROVA, M.; MONTANARI, F.; FERREIRA, I.; PESCE, M.; ALBUQUERQUE, J. D.; MONTFORT, C.; NEIRYNCK, R.; MORONI, J.; TRAON, D.; PERRIN, M.; ECHARRI, J.; ARCOS PUJADES, A.; LOPEZ MONTESINOS, E.; PELAYO, E. **Megatrends in the agri-food sector: global overview and possible policy response from an EU perspective**. Disponível em: [https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/megatrends-agri-food-sector-global-overview-possible-policy-response-eu-perspective\\_en](https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/megatrends-agri-food-sector-global-overview-possible-policy-response-eu-perspective_en). Acesso em: 1 jun. 2020.

KLERKX, L.; ROSE, D. Dealing with the game-changing technologies of agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? **Global Food Security**, v. 24, article 100347, Mar 2020. DOI: [10.1016/j.gfs.2019.100347](https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347).

LOWENBERG-DEBOER, JDEBOER, J. L. The economics of precision agriculture. In: STAFFORD, J. (ed.). **Precision agriculture for sustainability**. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2019. Disponível em: <https://shop.bdspublishing.com/store/bds/detail/workgroup/3-190-56391>. Acesso em: 28 nov. 2019.

MARTHA JÚNIOR, G. B. Uma agropecuária forte amortece os impactos negativos da Covid-19. **Revista de Política Agrícola**, v. 29, n. 2, abr./maio/jun. 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215297/1/Uma-agropecuaria-forte.pdf>. Acesso em: 13 out. 2020.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; ALVES, E. R. de A. Brazil's agriculture modernization and Embrapa. In: AMANN, E.; AZZONI, C.; BAER, W. (ed.). **The Oxford handbook of the Brazilian economy**. New York: Oxford University Press, 2018. p. 309-337. DOI: [10.1093/oxfordhob/9780190499983.013.15](https://doi.org/10.1093/oxfordhob/9780190499983.013.15).

MILES, C. The combine will tell the truth: on precision agriculture and algorithmic rationality. **Big Data & Society**, p. 1-12, Jan./June 2019. DOI: [10.1177/2F2053951719849444](https://doi.org/10.1177/2F2053951719849444).

MILLER, N. J.; GRIFFIN, T. W.; CIAMPITTI, I. A.; SHARDA, A. Farm adoption of embodied knowledge and information intensive precision agriculture technology bundles. **Precision Agriculture**, v. 20, p. 348-361, 2018. DOI: [10.1007/s11119-018-9611-4](https://doi.org/10.1007/s11119-018-9611-4).

MOONEY, P. **Blocking the chain: industrial food chain concentration, Big Data platforms and food sovereignty solutions**. Disponível em: [https://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/files/blockingthechain\\_english\\_web.pdf](https://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/files/blockingthechain_english_web.pdf). Acesso em: 23 mar. 2019.

MOSS, C. B. **Risk, uncertainty and the agricultural firm**. New Jersey: World Scientific, 2010. 292 p. DOI: [10.1142/7469](https://doi.org/10.1142/7469).

NAÇÕES UNIDAS. **World population prospects 2019 – data booklet**. Disponível em: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_DataBooklet.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_DataBooklet.pdf). Acesso em: 30 jul. 2019.

NELSON, G. Drivers of change in ecosystem condition and services. In: CARPENTER, S. R. (ed.). **Ecosystems and human well-being: scenarios - findings of the scenarios working group**. [Washington, D.C.]: Island Press, 2005. p.173-222.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Producer and consumer support estimates database**. Disponível em: <https://www.oecd.org/unitedstates/producerandconsumersupportestimatesdatabase.htm>. Acesso em: 19 set. 2019.

TAKASAGO, M.; CUNHA, C. A.; OLIVIER, A. K. G. Relevância da agropecuária brasileira: uma análise insumo-produto. **Revista Espacios**, v. 38, n. 36, p. 31, 2017. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a17v38n36/a17v38n36p31.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2019.



THE ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT. **Global food trends to 2030**: with a closer look at the GCC. Disponível em: <https://eiuperspectives.economist.com/strategy-leadership/global-food-trends-2030-closer-look-gcc>. Acesso em: 18 ago. 2019.

TOMEK, W. G.; ROBINSON, K. L. **Agricultural product prices**. 4th ed. Ithaca: Cornell University Press, 2003. 428 p.

USAID. **Digital tools in USAID agricultural programming toolkit**. [S.l.]: Usaid, 2018. 26 p. Disponível em: <https://www.usaid.gov/digitalag/documents/how-program-digital-tools-agriculture-programs>. Acesso em: 28 nov. 2019.

WARR, P. **Urbanisation and the demand for food**. Australian National University, Dec. 2019. (Working Papers in Trade and Development, n. 2019/09). Disponível em: [https://acde.crawford.anu.edu.au/sites/default/files/publication/acde\\_crawford\\_anu\\_edu\\_au/2019-12/adec\\_td\\_wp\\_2019\\_10\\_warr.pdf](https://acde.crawford.anu.edu.au/sites/default/files/publication/acde_crawford_anu_edu_au/2019-12/adec_td_wp_2019_10_warr.pdf). Acesso em: 28 nov. 2019.

WEDEKIN, I. **Economia da pecuária de corte**: fundamentos e o ciclo de preços. São Paulo: Wedekin Consultores, 2017. 180 p.



# 16 Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no Brasil

Édson Luis Bolfe  
Jayme Garcia Arnal Barbedo  
Sílvia Maria Fonseca Silveira Massruhá  
Kleber Xavier Sampaio de Souza  
Eduardo Delgado Assad

## 1 Introdução

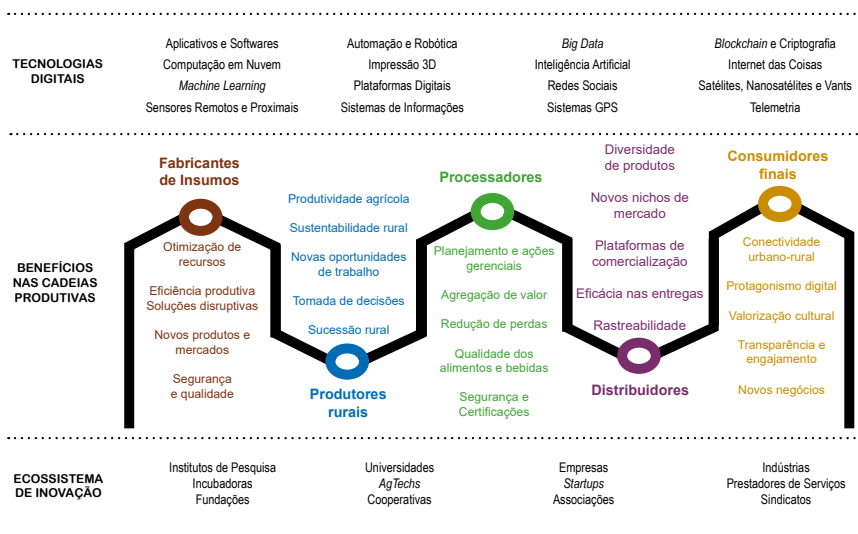
A conjunção de condições do solo, clima, relevo, ciência, tecnologia, políticas públicas e o empreendedorismo dos agricultores tornou o Brasil um dos líderes mundiais em produção e exportação agrícola. Projeções recentes do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2019b) indicam que a produção de grãos poderá passar do atual patamar de 250 milhões de toneladas, chegando a entre 300 e 350 milhões de toneladas na safra de 2028/2029. Quanto à produção de carnes (frango, suína e bovina), projeções indicam que passaremos dos atuais 26 milhões para 33 milhões de toneladas até o final da próxima década. Há, também, crescente demanda por algodão, celulose, leite, açúcar e frutas, especialmente manga, uva e maçã. O mercado interno e a demanda internacional são indicados como principais fatores de crescimento para a maior parte desses produtos.

O crescimento dessa produção deverá continuar ocorrendo com base na produtividade. A produtividade total dos fatores (PTF) tem crescido em média 3,5% ao ano ao longo dos últimos anos, e apresenta previsão de crescimento de 2,92% ao ano para a próxima década (Gasques et al., 2016). Embrapa (2018) também ressalta a importância da intensificação agrícola brasileira

nos próximos anos, com destaque para múltiplas safras por ano em mesma área, recuperação de pastagens degradadas, irrigação de precisão e uso mais sustentável de insumos e recursos naturais. Por sua vez, o aumento da população, a contínua urbanização, a maior expectativa de vida, as alterações no padrão alimentar e no poder econômico são fatores que impulsionam uma demanda mundial maior de alimentos, energia e água.

As tecnologias digitais podem ajudar a resolver essa complexa equação com inúmeras variáveis econômicas, sociais e ambientais em que é preciso produzir mais alimentos, com qualidade e com menor uso de recursos naturais. A agricultura digital, também chamada de “4.0”, é composta por tecnologias, já operacionais ou em desenvolvimento, como robótica, nanotecnologia, proteína sintética, agricultura celular, tecnologia de edição de genes, inteligência artificial, *blockchain* e aprendizado de máquina, que podem ter seus efeitos transformadores difundidos para o futuro desenvolvimento da agricultura e dos sistemas agroalimentares (Klerkxa; Roseb, 2020).

Bolfe e Massruhá (2020) destacam que o processo de transformação digital nas propriedades rurais não é mais uma opção, é um caminho imprescindível para tornar a agricultura brasileira mais competitiva e com maior agregação de valor. Essa transformação pode ser entendida como interdisciplinar e transversal, não limitada a regiões, cultivos ou classe social. Seus potenciais benefícios amplificam as inovações e a interação entre os elos das cadeias produtivas agrícolas, promovendo novas abordagens e aplicações para fabricantes de insumos, produtores rurais, processadores, distribuidores e consumidores (Figura 1).



**Figura 1.** Potenciais benefícios da transformação digital nas cadeias produtivas agrícolas.

Fonte: Bolfe e Massruhá (2020).

Esse ambiente de transformação digital também molda agendas de desenvolvimento em várias escalas. Internacionalmente, pode ser associado à Agenda 2030, que envolve 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Nações Unidas, 2015). Nesse contexto, a transformação digital na agricultura também pode contribuir significativamente para o alcance desses objetivos, em especial na redução da fome, saúde e bem-estar, emprego digno e crescimento econômico, redução das desigualdades, consumo e produção responsáveis, combate às alterações climáticas, vida sobre a terra, paz, justiça e instituições fortes.

Estimativas da UNGC (United Nations Global Compact, 2017) apontam que o mercado mundial da agricultura digital, em 2021, será de 15 bilhões de dólares, e que 80% das empresas esperam ter vantagens competitivas nesse setor. Porém, aspectos internacionais recentes envolvendo questões comerciais entre os Estados Unidos e a China e de saúde, com a pandemia de Covid-19 (Nações Unidas, 2020), geram um ambiente com certo grau de incerteza, porém com expectativas de uma possível aceleração do crescimento do uso das tecnologias digitais na agricultura ainda maior a partir de 2020.

Nesse contexto, o presente capítulo objetiva elencar alguns dos principais desafios científicos, tecnológicos, sociais e econômicos e, posteriormente, apontar tendências e oportunidades para o futuro da agricultura brasileira.

## 2 Desafios científicos e tecnológicos

### 2.1 Serviços digitais on-line

A oferta de serviços digitais on-line a produtores rurais ganhou força no início da década de 2010, expandindo-se desde então. Com a disseminação dos smartphones, a maior parte de tais serviços migrou para essa plataforma (Duncombe, 2016). Grande parte das startups de tecnologia aplicada à agricultura (*AgTechs*) surgidas nos últimos anos vem apostando nesse tipo de tecnologia. Por ser algo ainda relativamente novo, a melhor maneira de ofertar esse tipo de produto ainda está sendo definida, porém essa tecnologia já é uma realidade, e a maior parte das tecnologias mencionadas nesta seção são ou serão incorporadas a portfólios de serviços digitais já existentes ou em desenvolvimento. Os desafios que ainda precisam ser superados dizem respeito a aspectos que não são necessariamente tecnológicos, como propriedade dos dados gerados por esse tipo de ferramenta, falta de sintonia entre as necessidades dos produtores e a informação gerada pelas ferramentas e segurança dos dados (Rotz et al., 2019). Independentemente das soluções que venham a ser adotadas para esses problemas, novas plataformas de serviços

digitais continuarão a ser desenvolvidas, muitas das quais baseadas nas tecnologias discutidas a seguir.

## 2.2 Gestão e monitoramento da produção vegetal

Existem diversos fatores que precisam ser constantemente monitorados na gestão agrícola, incluindo produção, produtividade, presença de doenças, pragas, ervas daninhas, deficiências nutricionais, estresse hídrico, entre outros. Um dos principais desafios é o monitoramento de estresses, que pode ser dividido em três etapas: detecção de estresse, determinação da causa do estresse e atuação para resolver o problema. Apesar dos avanços recentes em inteligência artificial, o processo como um todo ainda é majoritariamente manual. Porém, o grau de automação vem aumentando, sendo que várias empresas (startups em particular) já oferecem serviços nesse sentido (Wolfert et al., 2017).

Um grande número de modelos matemáticos vem sendo desenvolvido para processar diferentes variáveis e fornecer um indicativo para a susceptibilidade da lavoura a eventos indutores de estresse. Por exemplo, dados sobre precipitação, umidade e molhamento foliar podem ser usados para calcular a probabilidade da incidência de certas doenças. Esses modelos vêm sendo aperfeiçoados e alimentados com dados de qualidade cada vez mais elevada, tornando-os peça fundamental na gestão integrada das propriedades rurais. Contudo, para que se possa fazer uma gestão eficaz de estresses, é necessário que estes sejam detectados diretamente na lavoura. O desafio é fazer com que essa detecção seja suficientemente precoce para evitar prejuízos significativos. Embora existam métodos proximais para detecção de estresses, a tendência é que cada vez mais se faça uso de imagens obtidas remotamente. No curto e no médio prazo, drones devem dominar essa atividade devido à alta resolução temporal das imagens obtidas por esse meio, tornando possível detectar problemas até mesmo em folhas individuais (Barbedo, 2019a). À medida que sensores mais sofisticados forem embarcados em satélites, estes tenderão a ganhar espaço, principalmente devido à cobertura que eles oferecem.

Câmeras convencionais (RGB) têm capacidade limitada na detecção precoce de estresses, uma vez que elas não conseguem ir além da capacidade visual humana. Para esse fim, sensores capazes de capturar outras bandas do espectro além da visível, como câmeras multiespectrais e hiperespectrais, são essenciais. Câmeras multiespectrais, as quais normalmente incluem de três a cinco bandas do espectro, vêm sendo cada vez mais usadas. Porém, o barateamento e a miniaturização de câmeras hiperespectrais, as quais capturam separadamente centenas de bandas do espectro, as tornarão uma alternativa especialmente atrativa num futuro próximo (Thomas et al., 2018).

Uma vez detectado o estresse, é necessário determinar sua causa para que as devidas ações possam ser realizadas. Sob certas condições, os sensores

atuais são capazes de oferecer informação suficiente para que os modelos baseados em inteligência artificial forneçam uma classificação confiável para o problema sendo observado (Barbedo, 2018, 2019b), mas em grande parte dos casos é necessário que tal identificação seja feita por um especialista, ou mesmo através de análises laboratoriais. O problema é que diferentes tipos de estresse frequentemente produzem sinais visuais semelhantes (Barbedo, 2019b). Os perfis espectrais produzidos por diferentes agentes tendem a diferir em maior grau, mas mesmo utilizando sensores hiperespectrais sensíveis o índice de confusão é elevado (Thomas et al., 2018). A tendência, no futuro, é combinar o imageamento com outras fontes de informação (variáveis meteorológicas, histórico de manejo da propriedade, características de solo etc.) para aumentar o grau de automação do processo, embora a completa eliminação das atividades manuais seja improvável num futuro próximo. Além da identificação do estresse, em muitos casos é importante também determinar a severidade dos sintomas, a fim de balizar o enfrentamento do problema. Embora já existam diversos algoritmos para esse fim, muitas das dificuldades mencionadas valem também neste caso (Bock et al., 2020).

Após a localização e a identificação do estresse, é necessário atuar para eliminar o problema. Em muitos casos, é necessária a aplicação de produtos como defensivos e nutrientes. Veículos autônomos vêm sendo desenvolvidos por diversos grupos de pesquisa para que tal atividade possa ser feita não somente sem a necessidade de supervisão permanente de um operador humano, mas também no local e na quantidade necessária, reduzindo custos e o impacto sobre o meio ambiente (Reina, 2016). No futuro próximo, será possível ter um ou mais desses veículos monitorando e atuando dentro da propriedade. Em paralelo, atuadores podem ser também instalados no maquinário agrícola para realização dessas mesmas atividades.

É importante notar que algoritmos de inteligência artificial vêm sendo usados em outras aplicações, como previsão de safra, localização de falhas em linhas, determinação da qualidade da produção, determinação do grau de maturação de frutos/grãos, entre outros (Liakos et al., 2019). A tendência que se observa é que ferramentas baseadas em inteligência artificial e aprendizado de máquina continuarão a ganhar espaço e serão parte da rotina da maioria das propriedades em um futuro próximo.

### **2.3 Gestão e monitoramento da produção animal**

A gestão apropriada de propriedades de produção animal evoluiu consideravelmente nos últimos anos, especialmente no caso de gado de leite e gado de corte no sistema intensivo. Entretanto, a gestão de propriedades adotando o sistema extensivo de produção ainda enfrenta desafios significativos (Barbedo; Koenigkan, 2018). Um controle mais efetivo das variáveis envolvidas na gestão da propriedade é essencial para maximizar os lucros e

diminuir a quantidade e a seriedade dos problemas. Duas alternativas vêm sendo utilizadas, ainda de maneira limitada, para o monitoramento de grandes propriedades de criação animal: sensores afixados nos animais e drones para monitoramento remoto (Barbedo; Koenigkan, 2018).

Sensores podem ser afixados nos animais por meio de brincos ou colares, sendo capazes de colher diversas informações a respeito desses animais, incluindo localização, temperatura e padrões de movimentação e mastigação (Rahman et al., 2018). Com essas informações, é possível detectar potenciais problemas, como doenças, e inferir diversos aspectos do comportamento animal, o que é importante, por exemplo, para criar mecanismos efetivos de aceleração de engorda e definir o ponto ótimo de abate (Miller et al., 2019). Para que os dados possam ser coletados com a frequência requerida, é necessário que se tenha uma comunicação efetiva entre os sensores individuais e a central de processamento dos dados. Receptores podem ser instalados em postes distribuídos pela propriedade, ou os dados podem ser coletados através do uso de drones sobrevoando os animais (Barbedo et al., 2019). Ambas as opções têm limitações no caso de grandes propriedades: no caso dos receptores fixos, um grande número precisaria ser instalado, o que representa um alto custo inicial, além da dificuldade de manutenção de equipamentos localizados em regiões mais distantes. No caso dos drones, além destes terem autonomia limitada, o planejamento dos voos deve ser cuidadoso para que todos os animais sejam considerados. Já há soluções comerciais oferecendo monitoramento através de sensores individuais nos animais, como revelam simples buscas na internet. Porém, tais soluções não são adequadas para todos os tipos de propriedades, e os custos ainda são elevados. É importante notar que os custos tecnológicos tendem a cair à medida que se tem um aumento na sua adoção.

O uso de drones para imageamento dos animais é mais recente, e o uso prático desse tipo de tecnologia ainda depende de mais esforços de pesquisa e desenvolvimento de novos algoritmos. Há vários esforços nesse sentido (Barbedo et al., 2019, 2020), já que, uma vez viabilizado, esse tipo de tecnologia tem várias vantagens: não necessita de infraestrutura específica, é uma opção comparativamente mais barata, vários tipos de sensores podem ser embarcados nos drones (câmeras RGB, termais, multiespectrais, hiperespectrais), além de ter o potencial de fornecer outros tipos de informações além daquelas que podem ser obtidas com os brincos. Em particular, há estudos em andamento cujo objetivo é, a partir de medidas dos animais obtidas usando as imagens capturadas, estimar o peso de cada animal sem a necessidade de uma balança. Outras informações que no futuro poderão ser obtidas usando drones incluem o número de animais em uma determinada área e a detecção de eventos anômalos como doenças e nascimentos de bezerras. Contudo, algumas limitações ainda precisam ser vencidas, como



a autonomia relativamente curta das aeronaves atuais e a dificuldade de se identificarem animais individuais quando estes estão agrupados (Barbedo et al., 2020). No caso da limitação de autonomia, possíveis soluções futuras incluem o uso de imagens capturadas em ângulo para a cobertura de áreas maiores (Barbedo et al., 2020) e o desenvolvimento de novos drones com autonomies maiores, como o “drone-balão”. À medida que novas soluções vão surgindo, o uso de drones na pecuária deverá crescer substancialmente no futuro próximo.

É importante ainda mencionar o uso de satélites. Embora a resolução espacial das imagens capturadas por satélite ainda não seja suficiente para permitir seu uso efetivo no monitoramento de rebanhos, avanços na tecnologia de imageamento e multiplicação de constelações de micro e nanosatélites com propósitos específicos tendem a viabilizar o uso desse tipo de equipamento no futuro. Isso não significa que essa tecnologia substituirá as outras, mas será uma opção adicional que certamente será vantajosa sob certas condições.

#### 2.4 Bases de dados em agricultura

A evolução observada nas últimas duas décadas em relação às técnicas de aprendizado de máquina fez com que a maioria dos problemas de detecção, reconhecimento e classificação tornassem-se tratáveis, potencialmente levando ao desenvolvimento de ferramentas de grande utilidade prática. Porém, para que tais ferramentas sejam confiáveis e robustas, é necessário que a base de dados utilizada para produzir os modelos seja representativa de toda a variabilidade encontrada na prática (Barbedo, 2018). Na maioria dos casos, isso implica na necessidade de se colher um grande número de amostras, sejam estas imagens, medições ou análises. No caso de imagens, por exemplo, há situações que requerem a coleta de centenas de milhares de amostras (Barbedo, 2018). O desafio torna-se ainda maior quando se considera que as amostras precisam ser anotadas adequadamente, isto é, informações sobre o que está representado naquela amostra, onde tal amostra foi coletada, e outras precisam ser corretamente geradas para que o modelo possa ser corretamente inferido. Como consequência, muitas vezes é inviável que um único grupo de pesquisa seja capaz de construir uma base de dados realmente representativa (Barbedo, 2019b).

Há duas alternativas que vêm sendo aplicadas em algumas circunstâncias e que deverão prevalecer no futuro. A primeira é a ciência cidadã (*citizen science*) (Irwin, 2002). Essa abordagem, a qual é mencionada no documento de Visão da Agricultura 2030 (Embrapa, 2018a), faz uso de voluntários não profissionais para coletar dados como parte de pesquisa científica, particularmente em ecologia e ciências ambientais (Silvertown, 2009). No caso da detecção de doenças em plantas, por exemplo, produtores e trabalhadores

rurais poderiam coletar imagens de sintomas em campo e, após serem enviadas a um servidor, tais imagens poderiam ser rotuladas por fitopatologistas. À medida que dispositivos móveis com capacidade de imageamento tornam-se ubíquos, o desafio será encontrar mecanismos para promover a participação de voluntários (Barbedo, 2019b).

A segunda alternativa que tende a prevalecer no futuro é o compartilhamento das bases geradas (Barbedo, 2018). A maioria dos desafios tecnológicos e científicos é abordada simultaneamente por diversos grupos de pesquisa, cada qual gerando seu próprio conjunto de dados. Se tais bases de dados fossem disponibilizadas e integradas, o conjunto resultante provavelmente seria muito mais representativo e aplicável às condições do mundo real. A Embrapa vem contribuindo em esforços desse tipo através da disponibilização de bases de dados como o Digipathos (Embrapa, 2019), a qual foi uma das primeiras a fazer parte da Rede de Repositórios de Dados Científicos do Estado de São Paulo (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2019). Um passo complementar para adição de valor às bases de dados é a adesão aos princípios FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable and Reusable*), os quais ditam os padrões de encontrabilidade, acessibilidade, interoperabilidade e reusabilidade (Wilkinson et al., 2016).

### 3 Desafios socioeconômicos

#### 3.1 Conectividade no Campo

O Brasil está entre os dez principais mercados mundiais de telecomunicações móveis e dados de banda larga fixa (Agência Nacional de Telecomunicações, 2020). O censo agropecuário de 2017 apontou que o acesso à internet cresceu 1.900% em relação a 2006, sendo acessado por cerca de 30% dos agricultores (1,43 milhões em 2017), sendo 659 mil através de banda larga e 909 mil por internet móvel (IBGE, 2017). Apesar de representar um crescimento relativamente elevado, esses dados indicam que aproximadamente 3,5 milhões de estabelecimentos rurais – ou seja, 70% – não possuíam acesso à internet. Estudo com 750 agricultores brasileiros indica que 47% fazem uso de, pelo menos, uma ferramenta em agricultura de precisão, enquanto 33% usam duas ou mais, sendo que o perfil jovem dos agricultores brasileiros, inferior a 45 anos para algumas regiões e sistemas de produção, é um dos motivos dessa receptividade a novas tecnologias (Mckinsey Consultoria, 2020).

Mesmo com os recentes investimentos do setor público e privado, a falta de conectividade no meio rural ainda é um dos principais desafios para a inserção da agricultura no processo de transformação digital. As dimensões territoriais, a baixa densidade demográfica de grande parte do meio rural

e as desigualdades socioeconômicas são alguns dos principais obstáculos para elevar a disponibilidade de acesso à internet no país. O BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017) estima que a maior conectividade na agricultura por meio da “internet das coisas” (IoT – *internet of things*) poderia gerar de 50 a 200 bilhões de dólares de impacto econômico anual em 2025. É destacado ainda que se deve buscar a padronização e a interoperabilidade dos componentes das soluções de IoT, com o objetivo de se obter maior escala de adoção, mais rapidez de desenvolvimento de novos serviços e aplicações, e de fomentar a capacidade de inovação.

A conectividade é fundamental para melhorar a assistência técnica, a educação a distância, o acesso a informações de mercado, a utilização de software e aplicativos de gestão e a integração de máquinas e equipamentos agrícolas, reduzindo custos de produção e melhorando a produtividade da propriedade. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2020) enfatiza que a infraestrutura de conexão e a interoperabilidade dos dados são os maiores obstáculos para inclusão da agricultura brasileira na era do 4.0, a qual deverá auxiliar o produtor a superar o desafio de ampliar a oferta de alimentos com preços acessíveis e de forma sustentável.

Iniciativas privadas para elevar o acesso à internet nas propriedades rurais via satélite, rede de antenas e tecnologias *bluetooth* estão em expansão no Brasil. Um exemplo é a ConectarAgro (2020), que busca incentivar e promover soluções para a conectividade nas áreas rurais por tecnologias de torres, rádios e antenas. Porém, pequenos e médios produtores possuem maiores dificuldades em função dos custos de implementação. Possíveis recursos públicos para melhorar a infraestrutura de internet podem se originar a partir do projeto de lei nº 172/2020 (Brasil, 2020a), que tramita no Congresso Nacional, objetivando modificar a Lei Geral das Telecomunicações para acesso aos recursos do Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (FUST). O projeto de lei prevê o financiamento da expansão da infraestrutura nas regiões de zona rural ou urbana com baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), estimulando o uso e o desenvolvimento de novas tecnologias de conectividade para promoção de desenvolvimento econômico e social. A maior conectividade no meio rural também está apontada no Plano Nacional de Internet das Coisas (Brasil, 2019a) e nas discussões da Câmara Agro 4.0, na qual existe um grupo de trabalho em Conectividade no Campo (Brasil, 2019a, 2020b).

### 3.2 Custos das tecnologias digitais

Dados do IFAD (International Fund for Agricultural Development, 2020) indicam que cerca de 63% das pessoas mais pobres do mundo trabalham na agricultura, sendo a grande maioria em pequenas propriedades rurais. No Brasil, de acordo com o Censo Agropecuário (IBGE, 2017), dos cinco milhões

de estabelecimento rurais, 4,5 milhões possuem área agrícola inferior a 100 ha, ou seja, representam cerca de 90% dos agricultores. Pesquisa realizada pela Embrapa, o Sebrae e o Inpe (Bolfé et al., 2020) com 753 produtores rurais, empresas e prestadores de serviços em agricultura digital de todas as regiões brasileiras observa que 67% desses agricultores e 58% dos prestadores de serviços indicam que o valor do investimento para aquisição de máquinas, equipamentos e/ou aplicativos ainda é o principal desafio para a implantação e a manutenção da transformação digital na propriedade. Dessa forma, percebe-se que, para importante parcela dos agricultores, especialmente pequenos e médios, o processo de transformação digital ainda é considerado oneroso frente à percepção atual dos potenciais benefícios econômicos.

Por outro lado, estudo estimou um relevante potencial de impacto econômico da adoção das principais tecnologias em agricultura de precisão no Brasil para os produtos cana-de-açúcar, milho e soja. Observou-se que um cenário de aumento de 10% na produtividade dessas culturas, com ou sem redução ou aumento de fertilizantes, poderia elevar em cerca de R\$ 11 bilhões o PIB da economia do país e gerar mais de 450 mil empregos (Costa; Guilhoto, 2013). DeBoer (2019), ao analisar a agricultura de precisão para a sustentabilidade, destaca que, com suas aplicações, eleva-se a capacidade de identificar a variabilidade espacial dentro do campo e usar essas informações para um gerenciamento de culturas mais direcionado, operando recursos com maior eficiência, tornando a agricultura mais produtiva, sustentável e reduzindo seu impacto ambiental.

Outra importante tendência frente ao desafio dos custos em agricultura digital é a disponibilização gratuita de instrumentais e capacitações públicas e privadas. Exemplos são as plataformas e os aplicativos disponíveis que objetivam apoiar a gestão da propriedade e da produção agrícola, como: WebAgritec, Zarc Plantio Certo, SatVeg, Agritempo, WebAmbiente, Roda da Reprodução, BioInsumos e AGro (Embrapa Informática Agropecuária, 2019a, 2019b, 2020a, 2020b); AFSOFT, Siscob, Qualisolo (Embrapa Instrumentação, 2020); MapOrgânico, Geoweb Matopiba, GeoInfo (Embrapa Territorial, 2020); RenovaCalc, AgroTag e Aquisys (Embrapa Meio Ambiente, 2020).

### 3.3 Sucessão familiar rural

O censo agropecuário de 2017 indicou que, do total de cinco milhões de produtores agropecuários, 15% declararam que nunca frequentaram uma escola, 14% frequentaram até o nível de alfabetização, e 43%, no máximo, o nível fundamental. Dessa forma, 73% do total de produtores possuem, no máximo, o ensino fundamental como nível de escolaridade – concluído ou parcial. Destaca-se que 1,1 milhão de produtores (23%) declararam não saber ler e escrever (IBGE, 2017).

A Embrapa (2018) em seu estudo sobre o futuro da agricultura brasileira, aponta que 91% da população deverá se concentrar em áreas urbanas em 2030. Ressalta ainda que apenas o desenvolvimento de tecnologias adequadas às diferentes condições socioeconômicas e ambientais não basta para elevar a produtividade agrícola brasileira e a renda das famílias, uma vez que os produtores apresentam baixo nível de escolaridade e carecem de acesso a assistência técnica e extensão rural, o que dificulta ou até impossibilita a incorporação de tecnologias. O estudo também destaca que questões associadas à renda e ao esvaziamento demográfico do campo estão alterando um elemento estrutural importante da agricultura nacional, a sucessão hereditária no comando/gestão das propriedades.

A propriedade e a gestão são entendidas como duas grandes dimensões no processo de sucessão familiar, no qual o fator tecnologia digital é apontado como uma das oportunidades para os futuros processos de sucessão no Brasil (PWC Brasil, 2019). Dessa forma, é importante existirem ações para facilitar o processo de tomada de decisão da sucessão, especialmente para pequenos e médios produtores rurais, com relação ao que se deve produzir e a como essa produção será realizada, gerando informações e auxiliando na gestão da produção ajustada à realidade dos estabelecimentos rurais.

### 3.4 Desenvolvimento rural sustentável

O grande desafio da agricultura mundial é elevar seu nível de sustentabilidade econômica, social e ambiental. Dentre as metas brasileiras propostas na Agenda dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para 2030, pode-se destacar “acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável” (IPEA, 2018). Especificamente em agricultura, alguns desafios são “garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos, por meio de políticas de pesquisa, de assistência técnica e extensão rural, entre outras, visando implementar práticas agrícolas resilientes que aumentem a produção e a produtividade e, ao mesmo tempo, ajudem a proteger, recuperar e conservar os serviços ecossistêmicos, fortalecendo a capacidade de adaptação às mudanças do clima, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, melhorando progressivamente a qualidade da terra, do solo, da água e do ar” e “aumentar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, particularmente de mulheres, agricultores familiares, povos e comunidades tradicionais, visando tanto à produção de autoconsumo e garantia da reprodução social dessas populações quanto ao seu desenvolvimento socioeconômico”.

Segundo o Mapa (Brasil, 2019a), a agricultura brasileira tem elevado sua produção total nas últimas décadas, e esse crescimento deverá continuar ocorrendo, com base na produtividade, até 2030. Um dos desafios é a necessidade de maior integração das geotecnologias com novos algoritmos de

processamento e fusão de imagens de sensoriamento remoto para elevar o nível e a precisão do uso dos recursos naturais em tempo real, favorecendo ainda mais a sustentabilidade agrícola (Bolfe, 2019).

Dentre os desafios de inovação, a Embrapa (2019) aponta a necessidade da agricultura brasileira elevar: i) a eficiência de uso de água em sistemas agrícolas irrigados de grãos, hortaliças, frutíferas, pastagens e cana-de-açúcar; ii) a capacidade adaptativa e a resiliência dos sistemas de produção agrícola com maior impacto econômico projetado e relevância para segurança alimentar a partir de cenários de mudanças climáticas; iii) a orientação do uso e a ocupação das terras em áreas de conversão de uso e de expansão da fronteira agrícola nos biomas Cerrado, Caatinga e Amazônia. Para o Brasil assumir definitivamente o papel de protagonista na produção agrícola sustentável mundial, serão necessários maiores investimentos públicos e privados em ciência, inovação, empreendedorismo, infraestrutura de conectividade, comunicação e capacitação profissional em agricultura digital (Bolfe; Massruhá, 2020).

## 4 Tendências e oportunidades

### 4.1 Tecnologias digitais disruptivas

A quantidade e a qualidade de novas tecnologias disponíveis para uso na agricultura vêm não apenas aumentando continuamente ao longo das últimas décadas, como se intensificando. Exemplos de tecnologias disruptivas que vêm sendo cada vez mais empregadas na agricultura para os mais diversos fins incluem nanossatélites (Houborg; McCabe, 2016), sensores remotos e proximais (Mahlein, 2016; Adão et al., 2017), algoritmos de inteligência artificial (Liakos et al., 2018), drones (Barbedo; Koenigkan, 2018), técnicas de *Big Data* (Wolfert et al., 2018), internet das coisas (Tzounist et al., 2017), computação em nuvem (Roopaei et al., 2017), *blockchain* e criptografia (Lin et al., 2017), edição genômica (Chen et al., 2019), impressão 3D, robótica (Bechar; Vigneault, 2016), realidade aumentada (Huuskonen; Oksanen, 2018), entre outras. Grande parte dessas tecnologias foram abordadas em detalhe ao longo deste livro e fazem parte do portfólio de pesquisas sendo realizadas no contexto da Embrapa.

Embora tal oferta de tecnologias seja evidentemente positiva, sua utilidade só pode ser maximizada através de mecanismos e sistemas que agreguem a enorme quantidade de dados gerada por essas tecnologias. Mais importante, tais ferramentas devem ser capazes de gerar informações que podem ser utilizadas imediatamente na tomada de decisões. Tais tecnologias agregadoras terão papel cada vez mais fundamental em todos os setores produtivos, o que

é demonstrado pelos investimentos que vêm sendo despendidos em direção a esse fim (Rose et al., 2016).

O aumento do impacto de sistemas integrados desse tipo passa por alguns grandes desafios. Em particular, a integração apropriada de dados advindos de diferentes fontes ainda requererá muitos esforços de pesquisa. Avanços significativos vêm sendo alcançados em algumas áreas: a retroalimentação entre genotipagem e fenotipagem vem sendo aplicada com sucesso em muitos esforços de melhoramento genético, e dados meteorológicos vêm sendo integrados a informações obtidas através de imagens para determinação do estado fitossanitário de lavouras (Mahlein, 2016). Porém, é provável que exista um alto grau de complementariedade entre diferentes tipos de dados que não foi ainda explorado, fazendo com que muitas tecnologias não atinjam todo o seu potencial. Outro desafio importante é a criação de mecanismos para que os sistemas integradores possam lidar com a heterogeneidade dos potenciais usuários. Além do nível de instrução variar consideravelmente, é importante levar em conta diferenças no tipo e no nível de informação que cada usuário espera receber. Enquanto a maioria dos usuários deseja receber os dados totalmente processados sob a forma de informações diretamente relacionadas à tomada de decisões, há aqueles que desejam ter um relatório mais detalhado do que ocorre na propriedade. Assim, uma maior flexibilização na visualização dos dados através de uma interface amigável é também um objetivo importante no futuro próximo.

É importante observar que tecnologias emergentes poderão causar grandes mudanças, que ainda não podem ser previstas, como a computação quântica, que pode acelerar o cálculo em sistemas que envolvam cálculos massivos, tais como simulação de cenários sobre impactos climáticos em diferentes áreas, volatilidade de preços e flutuações no mercado (Preskill, 2018; Woerner; Egger, 2019), e a robótica de enxame, em que um grande número de robôs age de forma concertada para a coleta de dados (Bayindir, 2016). Essas são tecnologias capazes de alterar significativamente o cenário atual, abrindo novas possibilidades ainda não viáveis no estágio atual.

## 4.2 Capacitações em agricultura digital

Inúmeras iniciativas públicas e privadas buscam elevar a capacitação em temas de agricultura digital para os produtores rurais e, com isso, favorecer também o processo de permanência dos jovens no campo. Um dos exemplos inovadores é o Senar (2019), com cursos de agricultura de precisão, fornecendo informações sobre o estado da arte nas técnicas agrícolas para a gestão rural, favorecendo a racionalidade e a eficiência na produção. Outra iniciativa parte do Sebrae (2019) para disponibilizar apoio a pequenos produtores por meio de prestadores de serviços tecnológicos, como na agricultura digital.



Além da disponibilidade de plataformas on-line, aplicativos e cursos de vários centros de pesquisa, podem-se destacar as ações da Rede de Pesquisa em Agricultura de Precisão (Embrapa, 2018b), que gera conhecimento científico, disponibiliza publicações técnicas e capacita multiplicadores/extensionistas sobre variabilidade da produção e de parâmetros edafoambientais, das plantas, pragas e doenças de culturas como soja, milho, algodão, trigo, eucalipto, cana-de-açúcar, laranja, uva, maçã e pêssego. No nível de ensino superior brasileiro, o BNDES ((Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017) aponta a necessidade de incorporação de novas disciplinas relacionadas a IoT e agricultura de precisão nos cursos na área rural e a ampliação da oferta de cursos de extensão e pós-graduação para formar especialistas da área de tecnologia com conhecimento agrícola.

Dessa forma, vislumbram-se oportunidades para conferir maior dinamismo e integração entre pesquisa, ensino, indústria, comércio, assistência técnica e extensão rural; aproveitar o mundo rural mais conectado e fortalecer o processo de educação a distância no campo. As capacitações digitais podem atrair mais jovens para gerarem soluções cada vez mais interdisciplinares no dia a dia das propriedades rurais, elevando a produtividade com menor pressão nos recursos naturais. Um perfil inovador, empreendedor e multiplicador é imprescindível a todos que buscam a transformação digital da agricultura.

### 4.3 Mercado consumidor na era digital

O maior nível de informação dos consumidores, viabilizado pelas redes sociais, permite elevar a consciência quanto à qualidade e origem dos alimentos e a responsabilidade socioambiental dos sistemas de produção agrícola. As diferentes tecnologias de informação e comunicação favorecem a relação rural-urbana pela melhor compreensão do papel de cada setor, possibilitam a valorização da cultura regional e dos produtos locais, auxiliam na valoração e na manutenção da biodiversidade e apoiam o turismo rural. Os negócios convencionais deverão ser desenvolvidos sob a ótica do mercado digital, no qual o relacionamento entre consumidores e clientes será fortalecido por meio dos ecossistemas empresariais, do uso intensivo da automação e da convergência das TIC na agricultura (Embrapa, 2018b).

A economia digital com criptomoedas também impulsiona cooperativas virtuais, novos negócios e plataformas digitais com a integração direta do produtor ao consumidor. Bolfe e Massruhá (2020) ressaltam que, nessa revolução tecnológica, o grande protagonista é o ser humano, que terá, cada vez mais, um papel decisivo na tomada de decisão, pois, por meio das tecnologias digitais, será mais exigente e demandará mais informações sobre os produtos consumidos.

Segundo estudo do Cepea (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2020), a atual pandemia do Covid-19 pode alterar potencialmente

ainda mais os hábitos da sociedade, de modo a intensificar a preocupação e os esforços para atender a níveis de higiene e saúde pública conhecidos pela ciência, mas não priorizados até o presente. É destacado que os diferentes países deverão adotar protocolos de saúde mais robustos e, para além disso, precisam levantar a discussão mundial sobre a consistência dos sistemas de vigilância e controle de doenças, que atingem animais e humanos, para garantir a oferta e a segurança alimentar.

Nesse cenário, somente o produtor que incorporar novas tecnologias digitais conseguirá dar mais transparência em seu processo produtivo e responderá às exigências do mercado nacional e internacional. Dessa forma, vislumbram-se grandes oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias alinhadas com a transformação digital, que geram informações a respeito de origem, qualidade, métodos de produção, impactos ambientais e sociais da produção agrícola, entre outras, tais como bem-estar animal e adequado uso de insumos agrícolas.

#### 4.4 Plataformas digitais

A crescente transformação digital da agricultura impulsiona a demanda por soluções que integrem informações de gestão da propriedade, da produção e da comercialização e que estejam disponíveis para acesso ao agricultor via computadores ou smartphone. Nesse contexto, instituições de pesquisa, universidades, grandes empresas, startups, cooperativas e associações têm investido no desenvolvimento de plataformas digitais, oportunizando soluções inovadoras com a integração e a análise de dados via geoestatística, inteligência artificial, processamento em nuvem e visão computacional.

A SigmaABC é um exemplo de plataforma que objetiva integrar as informações dos usuários (fazendas, talhões, máquinas e implementos, custos de produção) com dados coletados em campo, levantamentos geofísicos, dados fitotécnicos, estações meteorológicas automáticas, modelos globais e regionais de previsão de tempo, modelos matemáticos (doenças, pragas, plantas daninhas, água no solo, produtividade potencial) e modelos de sensoriamento remoto (índices de vegetação), em diferentes escalas espacial e temporal (Fundação ABC, 2020).

Um outro formato de plataforma digital em agricultura é o AgroAPI, que oferece informações e modelos agropecuários gerados (Embrapa, 2019). Oportuniza a geração de novos produtos e negócios para empresas, startups, instituições públicas e privadas para a criação de softwares, sistemas web e aplicativos móveis para o setor agropecuário, com redução de custo e de tempo. O acesso às informações e aos modelos é realizado de forma virtual, por meio de APIs (*Application Programming Interface*). Essas aplicações agregam um conjunto de padrões e linguagens de programação que permite, de

maneira automatizada, a comunicação entre sistemas diferentes de forma ágil e segura.

As plataformas de comercialização de bebidas e alimentos também já são realidades consolidadas no Brasil, e atendem inúmeros perfis de consumidores. Com a atual pandemia associada ao Covid-19, gigantes do comércio eletrônico aproveitam suas capacidades em logística, suprimentos e tecnologia para também fornecerem aos centros urbanos, especialmente na Ásia. A RaboResearch (2020) destaca que essas empresas podem solidificar ainda mais seu poder de influência junto aos consumidores, interligando os agricultores e processadores aos distribuidores e varejistas, organizando efetivamente a produção agrícola, o processamento, o gerenciamento de inventários e de canais de comercialização.

Destacam-se ainda oportunidades para os próximos anos no desenvolvimento de plataformas digitais integradas, em temas como: i) suporte à análise de dados e à tomada de decisão da propriedade, com informações geoespaciais de agricultura, vegetação, solo e recursos hídricos para apoio aos Programas de Regularização Ambiental (PRA), Cotas de Reserva Ambiental (CRA) e Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA); ii) conectividade entre produtores rurais e consumidores, favorecendo o processo de rastreabilidade e a certificação de qualidade e origem de produtos como leite, mel, ovos, carnes, grãos, frutas, açúcar, biocombustíveis, fibras, madeiras e celulose; e iii) suporte à tomada de decisão e à gestão de políticas públicas agrícolas, baseadas em modelos matemáticos, estatísticos e computacionais, com o uso de inteligência artificial, visão computacional e processamento de imagens de sensoriamento remoto (Embrapa, 2018a, 2018b, 2019).

#### 4.5 Sistemas de projeções de riscos futuros

A variabilidade climática sempre foi um dos principais fatores na determinação dos riscos às atividades agrícolas. Utilizando as ferramentas hoje disponíveis, é necessário compilar, sistematizar e atualizar as informações sobre os possíveis impactos relacionados com o aumento da temperatura na agricultura brasileira frente às mudanças climáticas. Para efeito de planejamento de curto prazo, todas as informações atualmente disponíveis pela Embrapa que objetivam apoiar a gestão da propriedade e da produção agrícola, como WebAgritec, Zarc Plantio Certo, SatVeg e Agritempo, são suficientes para tomada de decisões.

Entretanto, para projeções de médio e longo prazo e análise de riscos futuros na agricultura, um dos desafios é a incorporação de modelos climáticos regionais, que permitam avaliar o comportamento futuro das culturas em termos de risco climático e produtividade. A Embrapa, em caráter experimental, está desenvolvendo um novo sistema denominado Simulador de Cenários Agrícolas (ScenAgri) (Embrapa, 2020), que incorpora os aspectos

citados e associa a fundamentação do ZARC (Zoneamento Agrícola de Risco Climático). O sistema é baseado em computação de alto desempenho para apoiar os pesquisadores na investigação dos impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira. Alguns estudos já evidenciaram a importância dessa projeção futura de médio e longo prazo para doenças de plantas, forrageiras, eucalipto, grãos e cana-de-açúcar (Ghini et al., 2011a, 2011b; Marin; Nassif, 2013; Assad et al., 2016).

No futuro próximo, o agricultor poderá ter, nos seus aplicativos, sistemas que mostram a vulnerabilidade climática da cultura nas condições de curto (Plantio Certo), médio e longo prazos (SCenAgri). Como apontado anteriormente, um dos principais desafios é resolver o problema de tratamento de grande quantidade de dados dos modelos, mas o avanço tecnológico permitirá reduzir tal limitação como impeditivo a médio prazo. Os principais setores que têm procurado informações sobre impactos futuros do clima são papel e celulose, *citrus* e pecuária de corte.

Com o aumento das emissões dos gases de efeito estufa, em decorrência da ação antrópica, e suas consequências negativas para os ecossistemas naturais e para a certificação dos produtos agrícolas brasileiros, outra grande oportunidade está associada a soluções tecnológicas que incorporam a determinação do balanço de emissões de gases de efeito estufa por sistema de produção. Tais tecnologias são baseadas no protocolo GHG (*Greenhouse Gas Protocol*), e servem de base para certificações de Carne Baixo Carbono (CBC) ou Carne Carbono Neutro (CCN) (Alves et al., 2018).

Assim, futuramente, além das recomendações que estão no sistema WebAgritec, serão incorporados os custos por sistema de produção e o cálculo do balanço de emissões baseado no protocolo GHG. Com isso, a cada ciclo da cultura ou sistemas integrados, o produtor rural terá a produtividade e a “pegada” de carbono na sua propriedade rural, o que auxiliará na certificação do seu produto. Essa certificação acontece com a análise do balanço de emissões, que será feita após a assimilação dos fatores de emissão originários do Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa do MCTIC.

#### **4.6 Rastreabilidade e certificações**

A partir de novos padrões de consumo nacional e internacional, os processos de rastreabilidade de certificação alimentar têm se intensificado nos últimos anos. Estudo da Embrapa (2018) sobre o futuro da agricultura brasileira para 2030 destaca que a rastreabilidade dos produtos que contenham informações de seu local de origem, insumos utilizados, colheita, abate, processamento, conservação, qualidade, armazenamento e transporte se tornará condição essencial para atendimento ao consumidor, que exigirá transparência em relação a tais características.

Porpino e Bolfe (2020) ressaltam que a busca pelas certificações dos produtos alimentares por parte das empresas brasileiras do setor é uma pressão crescente imposta pelo mercado consumidor, que exige garantias sobre as características nutricionais, sanitárias e higiênicas dos alimentos. Existe um conjunto de legislações e normas estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) para determinadas certificações, a exemplo das “Boas Práticas de Fabricação” (BPF) e do Serviço de Inspeção Federal (SIF). Além das certificações gerais para segurança de alimentos já descritas, são crescentes as oportunidades para a agricultura alcançar mercados e consumidores mais exigentes para processos e produtos com certificações específicas, em especial: Socioambientais como *Fair Trade*, *Certified Humane*, *Rainforest* ou Orgânicos (Brasil, 2003); *Good Agricultural Practices* (FAO, 2016); Bem-estar Animal (Brasil, 2017); Indicações Geográficas (Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 2019); *International Organization for Standardization* (2020); e *Food Safety System Certification* (2020). Essas certificações consideram a complexidade da agricultura e são baseadas em métricas, critérios e protocolos reconhecidos nacional e/ou internacionalmente.

Novas oportunidades também são vislumbradas para a agricultura digital frente aos desafios de inovação (Embrapa, 2019), em que se destaca a necessidade de: i) prover soluções digitais e ciberfísicas em apoio à identificação, à rastreabilidade, ao sensoriamento e à certificação de rebanhos e de produtos de origem animal e vegetal. Um grande apoio à rastreabilidade pode advir do uso da tecnologia de *blockchain*, pois esta fornece um grande banco de dados distribuído que pode acompanhar o que ocorreu nos vários elos da cadeia produtiva; ii) ampliar a outorga de certificados de indicações geográficas a produtos e processos agropecuários, com valor intrínseco e identidade própria do local de origem, como solo, vegetação e clima; iii) otimizar a rastreabilidade e a certificação em conformidade com padrões dos órgãos de controle e demandas do consumidor nas cadeias de proteína animal, ovos, leite, frutas, hortaliças e grãos; e iv) ampliar a rastreabilidade e o diagnóstico rápido de patógenos, toxinas e resíduos de medicamentos veiculados por alimentos de origem animal e de interesse econômico e à saúde pública.

#### 4.7 Sociedade 5.0

A agricultura digital, aqui também chamada de “Agricultura 4.0”, tem sido apresentada como uma alternativa para resolver grandes desafios da agricultura. Observe que a agricultura digital amplia a ideia de observar, medir e conectar máquinas inteligentes oriundas da agricultura de precisão para plataformas de *Big Data* e aprendizado automatizado de máquinas, sensores, satélites, drones e robôs.

As tecnologias digitais aparecem como facilitadoras para otimizar os processos de planejamento e produção da agricultura para atingir as metas de sustentabilidade, possibilitar melhores tomadas de decisão e remodelar o funcionamento dos mercados agroalimentares, melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores agrícolas e da população rural e poder atrair uma geração mais jovem para a agricultura e os novos negócios rurais.

A robustez do agronegócio brasileiro favorece o uso dessas novas tecnologias, mas o país ainda está tendo de superar os desafios relacionados com capacitação, infraestrutura de telecomunicações, regulação, definição de padrões e segurança da informação, além de custos elevados. Sem dúvida, a pandemia de Covid-19 marcou o fim do século XX e, oficialmente, o início do século XXI, funcionando com um acelerador de futuros, dando início a uma nova revolução na sociedade moderna.

Após um grande avanço em mecanização, eletrificação, informação e tecnologia de rede, a sociedade moderna entrou em uma nova era de desenvolvimento de tecnologia: a era paralela da tecnologia virtual-real de dupla inteligência. Da mesma forma, nossa sociedade está mudando de sociedade de máquinas (Sociedades 1.0), sociedade elétrica (Sociedades 2.0), sociedade da informação (Sociedades 3.0) e sociedade em rede (Sociedades 4.0) para seu quinto paradigma: a sociedade paralela ou Sociedades 5.0 (World Economic Forum, 2019), na qual não deve haver separação entre mundo físico e virtual.

A teoria básica da pesquisa nas Sociedades 5.0 é a inteligência paralela, que é uma nova metodologia que estende as teorias tradicionais de inteligência artificial às emergentes de sistemas ciber-físico-sociais (CPSS – *Cyber-Physical-Social Systems*) (Zhang, 2016). Esse conceito de inteligência paralela pode ser apresentado como uma das tecnologias habilitadoras para uma agricultura mais preditiva e inteligente, que pode contribuir para atender às novas demandas de aumento da produção e de produtividade de maneira sustentável nas três dimensões: econômica, ambiental e social. Nesse contexto, insere-se o conceito da chamada “agricultura 5.0”, que além do uso massivo de inteligência artificial e biotecnologia nos processos agrícolas produtivos, deverá garantir a produção e a distribuição de alimentos de maneira mais econômica e ecologicamente eficiente do que é praticado atualmente (Fraser; Campbell, 2019).

Além de maior demanda por alimento, existe uma outra tendência de mudança comportamental nas populações, devido à urbanização crescente, ao aumento da expectativa de vida, às novas relações de trabalho e ao acesso à informação. Essa combinação traz para o ambiente das cidades o conceito de “agricultura urbana” (FAO, 2011), que engloba diferentes vertentes, como produção *indoor*, em ambientes controlados, combinação com produção orgânica, criação de abelhas e pequenos animais, hortas comunitárias, produção em telhados etc.

No âmbito do desenvolvimento urbano deve-se ter como pano de fundo a preservação e a conservação do meio ambiente, podendo, entre outros exemplos: promover coleta, tratamento e reciclagem de resíduos sólidos, usar racionalmente a água, utilizar energia limpa e de modo eficiente, desenvolver e utilizar tecnologias digitais e modelos de negócios inovadores como a internet das coisas (IoT) e tecnologias vestíveis, utilizar veículos autônomos, economia circular e compartilhada, garantir a emissão líquida zero de gases causadores do efeito estufa e propor novas soluções para a habitação, atendendo aos princípios do desenvolvimento sustentável.

## 5 Considerações finais

O Brasil já possui papel inovador no contexto mundial na transformação digital da agricultura. Aplicativos móveis dão suporte à tomada de decisão sobre inúmeras práticas envolvendo a produção animal e vegetal. O uso de aplicativos tem auxiliado cada vez mais o monitoramento das condições fitossanitárias, a aplicação de defensivos, o controle biológico, o bem-estar animal, o manejo do solo e a gestão da irrigação. Atividades de planejamento associado ao Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) e ao Cadastro Ambiental Rural (CAR) já fazem parte do dia a dia das propriedades rurais. Esses instrumentos apoiam o planejamento do uso e ocupação da terra, a recuperação de áreas degradadas, a implantação de sistemas agrícolas mais resilientes e de baixa emissão de carbono, a exemplo da integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e do plantio direto.

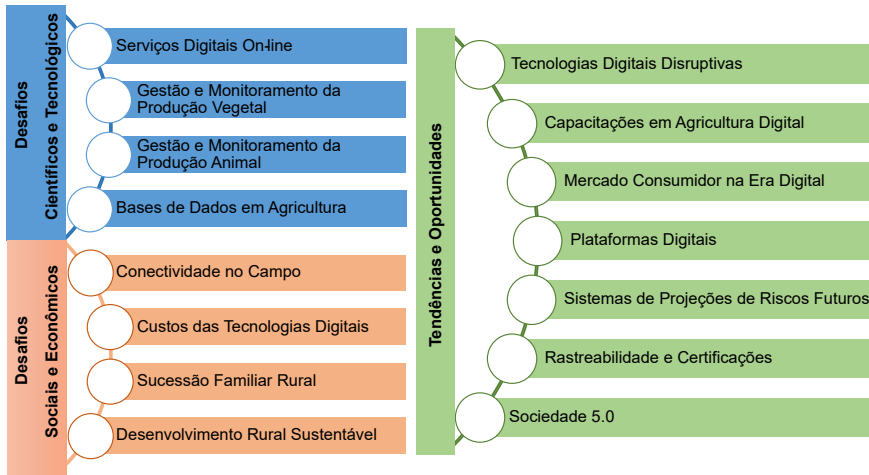
Porém, ainda existem importantes desafios científicos, tecnológicos, sociais e econômicos a serem superados para que a transformação digital da agricultura brasileira possa integrar as diferentes classes e regiões agrícolas. Também são inúmeras as oportunidades para que institutos de pesquisa, universidades, empresas, startups, cooperativas, associações e sindicatos gerem soluções digitais mais integradas para planejamento, manejo, colheita e comercialização de produtos como leite, mel, ovos, carnes, grãos, frutas, açúcar, biocombustíveis, fibras, madeiras e celulose (Figura 2).

A pandemia vinculada ao Covid-19 está acelerando e moldando a digitalização de todos os elos das cadeias produtivas agrícolas. A necessidade de maior segurança dos alimentos, com as possibilidades de uso de tecnologias que reduzem o contato físico, impulsiona novas aplicações dos fornecedores de insumos aos produtores rurais, da comercialização ao transporte, e da distribuição aos consumidores finais.

No “novo normal”, pós-pandemia, a conectividade digital e os serviços de conteúdo associados aos elos das cadeias deverão se expandir na medida em que crescem as preocupações com a saúde das populações e a segurança



**Figura 2.** Principais desafios e oportunidades na transformação digital da agricultura brasileira.



sanitária e nutricional dos alimentos. Gestores públicos e privados, empresários, prestadores de serviços e agricultores necessitam cada vez mais considerarem, em suas decisões, os aspectos da transformação digital e suas implicações e interligações com os demais elos das cadeias produtivas e a segurança alimentar. Gigantes do comércio eletrônico têm aproveitado a capacidade já instalada em logística e distribuição para comercializar produtos alimentares em determinados centros urbanos mundiais. No entanto, deverão persistir as “lacunas digitais” entre as famílias mais pobres e as mais ricas, assim como entre as populações rurais e urbanas.

Essas e outras condições estão antecipando o futuro da digitalização da agricultura brasileira, quando a pesquisa, a inovação e os negócios deverão se amplificar rapidamente em infraestruturas e serviços como:

- Inteligência artificial cognitiva para acompanhamento da produção;
- Análises multiescalares e multifontes dos riscos agrícolas;
- Monitoramento das propriedades em tempo real por sensoria-mento remoto;
- Sistemas de predição de manutenção de máquinas e equipamentos;
- Processamento de *big data* e *small data* agrícolas em nuvem;
- Plataformas de comercialização via circuitos curtos integrando os produ-tores aos consumidores;
- Aplicativos de ensino e trabalho a distância com segurança de procedi-mentos administrativos e interação social de equipes;
- Tecnologias de *blockchain* e criptografia digital para a segurança de tran-sações comerciais e a rastreabilidade de produtos e alimentos;
- Sistemas de gestão técnico-financeiro considerando aspectos econômicos, ambientais e sociais da propriedade;

- Segurança e privacidade de dados e informações geradas em todos os processos digitais.

Dessa forma, a transformação digital da agricultura brasileira terá um papel ainda mais relevante nos próximos anos na produção de alimentos, fibras e energia em maior quantidade, qualidade e com sustentabilidade.

## 6 Referências

ADÃO, T.; HRUŠKA, J.; PÁDUA, L.; BESSA, J.; PERES, E.; MORAIS, R.; SOUSA, J.J. Hyperspectral imaging: a review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry. **Remote Sensing**, v. 9, article 1110, 2017. DOI: [10.3390/rs9111110](https://doi.org/10.3390/rs9111110).

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Brasil). **Relatório e comparação internacional**. Brasília, DF, 2020. 19 p. Disponível em: <https://www.anatel.gov.br/dados/relatorios-de-acompanhamento/2020>. Acesso em: 14 out. 2020.

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; GOMES, R. da C.; MACEDO, M. C. M.; PEREIRA, M. de A.; FERREIRA, A. D.; BUNGENSTAB, D. J. **50 perguntas, 50 respostas sobre a Carne Carbono Neutro (CCN)**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 29 p.

ASSAD, E. D.; OLIVEIRA, A. F.; NAKAI, A. M.; PAVÃO, E. J.; MONTEIRO, J. E.; PELLEGRINO, G. Q. Impactos e vulnerabilidades da agricultura brasileira as mudanças climáticas. In: TEIXEIRA, B. S.; ORSINI, J. A. M.; CRUZ, M. R. (ed.). **Modelagem climática e vulnerabilidades setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília, DF: Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação, 2016. 590 p. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/804/o/ModelagemClimticaeVulnerabilidadeSetoriaisMudanadoClimanoBrasil.pdf?1528299061>. Acesso em: 14 out. 2020.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil**. Brasília, DF: BNDES; MCTIC: McKinsey/Fundação CPqD: Pereira Neto Macedo, 2017. 65 p. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/onde-atuamos/inovacao/internet-das-coisas>. Acesso em: 14 out. 2020.

BARBEDO, J. G. A. A review on the use of unmanned aerial vehicles and imaging sensors for monitoring and assessing plant stresses. **Drones**, v. 3, n. 2, article 40, 2019a. DOI: [10.3390/drones3020040](https://doi.org/10.3390/drones3020040).

BARBEDO, J. G. A. Detection of nutrition deficiencies in plants using proximal images and machine learning: A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, p. 482-492, July 2019b. DOI: [10.1016/j.compag.2019.04.035](https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.035).

BARBEDO, J. G. A.; KOENIGKAN, L. V. Perspectives on the use of unmanned aerial systems to monitor cattle. **Outlook on Agriculture**, v. 47, n. 3, p. 214-222, June 2018. DOI: [10.1177/0030727018781876](https://doi.org/10.1177/0030727018781876).

BARBEDO, J. G. A.; KOENIGKAN, L. V.; SANTOS, P. M.; RIBEIRO, A. R. B. Counting Cattle in UAV Images-Dealing with Clustered Animals and Animal/Background Contrast Changes. **Sensors**, v. 20, n. 7, article 2126, 2020. DOI: [10.3390/s20072126](https://doi.org/10.3390/s20072126).

BARBEDO, J. G. A.; KOENIGKAN, L. V.; SANTOS, T. T.; SANTOS, P. M. A study on the detection of cattle in UAV images using deep learning. **Sensors**, v. 19, article 5436, 2019. DOI: [10.3390/s19245436](https://doi.org/10.3390/s19245436).

BAYINDIR, L. A review of swarm robotics tasks. **Neurocomputing**, v. 172, p. 292-321, 2016. DOI: [10.1016/j.neucom.2015.05.116](https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.05.116).

BECHAR, A.; VIGNEAULT, C. Agricultural robots for field operations: Concepts and components. **Biosystems Engineering**, v. 149, p. 94-111, 2016. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014).

BOCK, C. H.; BARBEDO, J. G. A.; DEL PONTE, E. M.; BOHNENKAMP, D.; MAHLEIN, A.-K. From visual estimates to fully automated sensor-based measurements of plant disease severity. **Phytopathology Research**, v. 2, n. 9, Apr. 2020. DOI: [10.1186/s42483-020-00049-8](https://doi.org/10.1186/s42483-020-00049-8).

BOLFE, E. Application of geotechnologies in the development of sustainable agriculture in Brazil. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, p. 458-463, 2019. DOI: [10.22161/ijaers.612.53](https://doi.org/10.22161/ijaers.612.53).

BOLFE, E. L.; JORGE, L. A. C.; SANCHES, I.; COSTA, C. C. DA; LUCHIARI JR., A.; VICTÓRIA, D.; INAMASU, R.; GREGO, C.; FERREIRA, V.; RAMIREZ, A. **Agricultura digital no Brasil: tendências, desafios e oportunidades: resultados de pesquisa online**. Campinas: Embrapa, 2020. 44 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agropensa/produtos-agropensa>. Acesso em: 14 out. 2020.

BOLFE, E.; MASSRUHÁ, S. A transformação digital e a sustentabilidade agrícola. **Agroanalysis**, v. 40, p. 32-34, mar. 2020.

BRASIL. **Decreto Federal nº 9.013 de 2017**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/decreto/d9013.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9013.htm). Acesso em: 15 mar. 2020.

BRASIL. **Decreto Presidencial nº 9.854 de 2019a**. Institui o Plano Nacional de Internet das Coisas e dispõe sobre a Câmara 4.0. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9854.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9854.htm). Acesso em: 14 maio 2020.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.831 de 2003**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/legislacao/portugues/lei-no-10-831-de-23-de-dezembro-de-2003.pdf/view>. Acesso em: 15 mar. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29** projeções de longo prazo. Brasília, DF: MAPA/ACE, 2019b. 126 p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Câmara Agro 4.0**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/47656442/mapa-e-mctic-promovem-primeira-reuniao-da-camara-do-agro-40>. Acesso em: 5 maio 2020b.

BRASIL. **Projeto de Lei nº 172 de 2020**. Altera a Lei Geral de Telecomunicações e a Lei do Fust. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/140555>. Acesso em: 10 maio 2020a.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ. Centro de Estudos Avançados em Economia Agrícola. **Coronavírus e o agronegócio – covid-19 e agroalimentos: recalibrando expectativas**. Piracicaba, 2020. 16 p.

CHEN, K.; WANG, Y.; ZHANG, R.; ZHANG, H. E.; GAO, C. CRISPR/Cas Genome Editing and Precision Plant Breeding in Agriculture. **Annual Review of Plant Biology**, v. 70, p. 667-697, 2019. DOI: [10.1146/annurev-arplant-050718-100049](https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100049).

CONECTARAGRO. **Agricultura 4.0**. Disponível em: <https://conectaragro.com.br/>. Acesso em: 14 maio 2020.

COSTA, C.; GUILHOTO, J. M. Impactos Potenciais da Agricultura de Precisão sobre a Economia Brasileira. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 10, p. 177-204, 2013. DOI: [10.25070/rea.v10i2.201](https://doi.org/10.25070/rea.v10i2.201).

DEBOER, J. **Precision agriculture for sustainability**. Cambridge, United Kingdom: Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2019. 514 p.

DUNCOMBE, R. Mobile phones for agricultural and rural development: a literature review and suggestions for future research. **European Journal of Development Research**, v. 28, p. 213-235, 2016. DOI: [10.1057/ejdr.2014.60](https://doi.org/10.1057/ejdr.2014.60).

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **AgroAP**. Campinas, 2019a. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/>. Acesso em: 24 maio 2020.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Digipathosrep**. Campinas, 2019b. Disponível em: <https://www.digipathos-rep.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 10 maio 2020.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **SCenAgri**. Campinas, 2020a. Disponível em: <https://www.scenagri.cnptia.embrapa.br/scenagri/publico/login.xhtml>. Acesso em: 13 maio 2020.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Soluções tecnológicas**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/informatica-agropecuaria/solucoes-tecnologicas>. Acesso em: 14 maio 2020b.

EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO. **Soluções tecnológicas**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/instrumentacao/solucoes-tecnologicas>. Acesso em: 14 maio 2020.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE. **Soluções tecnológicas**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/meio-ambiente/solucoes-tecnologicas>. Acesso em: 14 maio 2020.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Soluções tecnológicas**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/territorial/solucoes-tecnologicas>. Acesso em: 14 maio 2020.

EMBRAPA. **Portfólios de P&D da Embrapa**: desafios de inovação. Brasília, DF: SPD/Idiare, 2019.

EMBRAPA. **Rede AP**. 2018b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-automacao-e-agricultura-de-precisao>. Acesso em: 14 maio 2020.

EMBRAPA. **Visão 2030**: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF, 2018a. 212 p.

FAO. **Good Agricultural Practice – GAP**. 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i6677e.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

FAO. **The place of urban and peri-urban agriculture in national food security programmes**. 2011. 60 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i2177e/i2177e00.pdf>. Acesso em: 14 maio 2020.

FRASER, E.; CAMPBELL, M. Agriculture 5.0: reconciling production with planetary health. **One-earth**, v.1, n. 3, p. 278-280, Nov. 2019. Disponível em: DOI: [10.1016/j.oneear.2019.10.022](https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.022). Acesso em: 19 maio 2020.

FOOD SAFETY SYSTEM CERTIFICATION. **Food Safety System Certification 22000**. 2019. Disponível em: <https://www.fssc22000.com>. Acesso em: 10 mar. 2020.

FUNDAÇÃO ABC. **SigmaABC**. 2020. Disponível em: <https://www.sigmaabc.org/>. Acesso em: 24 maio 2020.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Agricultura 4.0. **Revista Fapesp**, ed. 287, jan. 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/2020/01/02/agricultura-4-0/>. Acesso em: 15 de maio 2020.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Rede de repositório de dados**. São Paulo, 2019. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/fapesp-lanca-rede-de-repositorios-de-dados-cientificos-do-estado-de-sao-paulo/32251/>. Acesso em: 10 maio 2020.

GASQUES, J. G.; BACCHI, M. P. R.; RODRIGUES, L.; BASTOS, E. T.; VALDEZ, C. Produtividade da agricultura brasileira: a hipótese da desaceleração. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (org.). **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília, DF: Ipea, 2016. p. 143-163.

GHINI, R.; BETTIOL, W.; HAMADA, E. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. **Plant Pathology**, v. 60, p. 122-132, 2011a. DOI: [10.1111/j.1365-3059.2010.02403.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02403.x).

GHINI, R.; HAMADA, E.; PEDRO JR., M.; GONÇALVES, R. Incubation period of *Hemileia vastatrix* in coffee plants in Brazil simulated under climate change. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 2, p. 85-93, Apr./June 2011b. DOI: [10.1590/S0100-54052011000200001](https://doi.org/10.1590/S0100-54052011000200001).

HOUBORG, R.; MCCABE, M. F. High-resolution NDVI from planet's constellation of earth observing nano-satellites: a new data source for precision agriculture. **Remote Sensing**, v. 8, n. 9, article 768, 2016. DOI: [10.3390/rs8090768](https://doi.org/10.3390/rs8090768).

HUUSKONEN, J.; OKSANEN, T. Soil sampling with drones and augmented reality in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 154, p. 25-35, 2018. DOI: [10.1016/j.compag.2018.08.039](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.039).

IBGE. **Censo agropecuário 2017**. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>. Acesso em: 5 maio 2020.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (Brasil). **Legislações de indicação geográfica**. 2019. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/indicacao-geografica>. Acesso em: 10 maio 2020.

INTERNATIONAL FUND FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT. **Covid-19**. 2020. Disponível em: <https://www.ifad.org/en/covid19>. Acesso em: 10 maio 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 2019. Disponível em: <https://www.iso.org/home.html>. Acesso em: 10 mar. 2020.

IRWIN, A. **Citizen science: a study of people, expertise and sustainable development**. London: Routledge, 2002. 216 p.

KLERKXA, L.; ROSEB, D. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0. **Global Food Security**, v. 24, n.3, p. 1-7, Mar. 2020. DOI: [10.1016/j.gfs.2019.100347](https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347).

LIAKOS, K. G.; BUSATO, P.; MOSHOV, D.; PEARSON, S.; BOCHTIS, D. Machine learning in agriculture: a review. **Sensors**, v. 18, n. 8, article 2674, 2018. DOI: [10.3390/s18082674](https://doi.org/10.3390/s18082674).

LIN, Y. P.; PETWAY, J. R.; ANTHONY, J.; MUKHTAR, H.; LIAO, S. W.; CHOU, C. F.; HO, Y. F. Blockchain: the evolutionary next step for ICT e-agriculture. **Environments**, v. 4, article 50, 2017. DOI: [10.3390/environments4030050](https://doi.org/10.3390/environments4030050).

MAHLEIN, A.-K. Plant disease detection by imaging sensors – parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. **Plant Disease**, v. 100, n. 2, p. 241-251, Jan. 2016. DOI: [10.1094/PDIS-03-15-0340-FE](https://doi.org/10.1094/PDIS-03-15-0340-FE).

MARIN, F. R.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 232-239, fev. 2013. DOI: [10.1590/S1415-43662013000200015](https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200015).

MCKINSEY CONSULTORIA. **Nossas publicações**. 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com.br>. Acesso em: 14 maio 2020.

MILLER, G. A.; HYSLOP, J. J.; BARCLAY, D.; EDWARDS, A.; THOMSON, W.; DUTHIE, C.-A. Using 3D imaging and machine learning to predict liveweight and carcass characteristics of live finishing beef cattle. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 3, May 2019. DOI: [10.3389/fsufs.2019.00030](https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00030).

NAÇÕES UNIDAS **The 2030 Agenda for Sustainable Development in the new global and regional context**: scenarios and projections in the current crisis. Santiago: Economic Commission for Latin America and the Caribbean, 2020. 61 p.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 5 maio 2020.

PRESKILL, J. Quantum computing in the NISQ era and beyond. **Quantum**, v. 2, n. 79, 2018. DOI: [10.22331/q-2018-08-06-79](https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79).

PWC BRASIL. **Empresas familiares e plano de sucessão**. 2019. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/sala-de-imprensa/artigos/empresas-familiares-e-plano-de-sucessao.html>. Acesso em: 6 maio 2020.

RAHMAN, A.; SMITH, D. V.; LITTLE, B.; INGHAM, A. B.; GREENWOOD, P. L.; BISHOP-HURLEY, G. J. Cattle behaviour classification from collar, halter, and ear tag sensors. **Information Processing in Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 124-133, Mar. 2018. DOI: [10.1016/j.inpa.2017.10.001](https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.10.001).

REINA, G.; MILELLA, A.; ROUVEURE, R.; NIELSEN, M.; WORST, R.; BLAS, M. R. Ambient awareness for agricultural robotic vehicles. **Biosystems Engineering**, v. 146, p. 114-132, June 2016. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2015.12.010](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.12.010).

ROOPAEEI, M.; RAD, P.; CHOO, K. R. Cloud of Things in Smart Agriculture: Intelligent Irrigation Monitoring by Thermal Imaging. **IEEE Cloud Computing**, v. 4, n. 1, p. 10-15, Mar. 2017. DOI: [10.1109/MCC.2017.5](https://doi.org/10.1109/MCC.2017.5).

ROSE, D. C.; SUTHERLAND, W. J.; PARKER, C.; LOBLEY, M.; WINTER, M.; MORRIS, C.; TWINING, S.; FFOULKES, C.; AMANO, T.; DICKS, L. V. Decision support tools for agriculture: Towards effective design and delivery. **Agricultural Systems**, v. 149, p. 165-174, Nov. 2016. DOI: [10.1111/soru.12233](https://doi.org/10.1111/soru.12233).

ROTZ, S.; DUNCAN, E.; SMALL, M.; BOTSCHNER, J.; DARA, R.; MOSBY, I.; REED, M.; FRASER, E. D. The Politics of Digital Agricultural Technologies: A Preliminary Review. **Sociologia Ruralis**, v. 59, p. 203-229, Feb. 2019. DOI: [10.1111/soru.12233](https://doi.org/10.1111/soru.12233).

SEBRAE. **SebraeTec**. 2019. Disponível em: <http://www.sistemasebraetec.sebrae.com.br/>. Acesso em: 14 maio 2020.

SEENAR. **EAD**. 2019. Disponível em: <http://ead.seenar.org.br/cursos/agricultura-de-precisao/>. Acesso em: 25 maio 2020.

SILVERTOWN, J. A new dawn for citizen science. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, n. 9, p. 467-471, 2009. DOI: [10.1016/j.tree.2009.03.017](https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.017).

THOMAS, S.; KUSKA, M. T.; BOHNENKAMP, D.; BRUGGER, A.; ALISAAC, E.; WAHABZADA, M.; BEHMANN, J.; MAHLEIN, A.-K. Benefits of hyperspectral imaging for plant disease detection and plant protection: a technical perspective. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 125, p. 5-20, 2018. DOI: [10.1007/s41348-017-0124-6](https://doi.org/10.1007/s41348-017-0124-6).

TZOUNIS, A.; KATSIOULAS, N.; BARTZANAS, T.; KITTAS, C. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. **Biosystems Engineering**, v. 164, p. 31-48, Dec. 2017. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007).

UNITED NATIONS GLOBAL COMPACT - UNGC. **Digital agriculture**. 2017. <http://breakthrough.unglobalcompact.org/disruptive-technologies/digital-agriculture>. Acesso em: 19 maio 2020.

WOERNER, S; EGGER, D. Quantum risk analysis. **Quantum Information**, n. 5, article 15, Feb. 2019.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. J. Big data in smart farming – a review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69-80, May 2017. DOI: [10.1016/j.agsy.2017.01.023](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023).

WORLD ECONOMIC FORUM. **Modern society has reached its limits. Society 5.0 will liberate us.** 2019. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/modern-society-has-reached-its-limits-society-5-0-will-liberate-us/>. Acesso em: 19 maio 2020.

ZHANG, Y. Grorec: a group-centric intelligent recommender system integrating social, mobile and big data technologies. **IEEE Transactions on Services Computing**, v. 9, n. 5, p. 786-795, Sept./Oct. 2016. DOI: [10.1109/TSC.2016.2592520](https://doi.org/10.1109/TSC.2016.2592520).





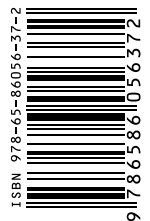


**Embrapa**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL



CGPE 16273