

Capítulo 11

Instrumentação em máquinas agrícolas

Ricardo Yassushi Inamasu, Rafael Vieira de Sousa,
Rubens André Tabile

1. Introdução e histórico

A enorme capacidade de produção de alimento por poucos tem a contribuição de tecnologias e conhecimentos, muitas delas na forma de variedades, sementes, fertilizantes e agroquímicos. As máquinas agrícolas são um dos elementos-chave desse processo. Podemos dizer que os primeiros instrumentos utilizados na agricultura evoluíram para a mecanização da lavoura. Hoje as máquinas agrícolas multiplicam a capacidade do homem e tornam seu trabalho no campo muito mais produtivo.

Para uma agricultura competitiva, não há como prescindir de máquinas e seu correto e adequado uso como ferramenta. Ao ampliar a capacidade do homem, amplia-se também o conceito de dimensão das lavouras. Nos últimos tempos, a evolução das máquinas seguiu em direção ao aumento de rendimento e da capacidade cada vez maior de trabalho. Por rendimento entende-se o poder da máquina em realizar a operação em um número maior de unidades de área, em um período menor de tempo. Nesse sentido, as máquinas aumentaram a potência e, conseqüentemente, o tamanho e o peso. Observa-se maior capacidade de liberar insumos em áreas cada vez maiores.

A tecnologia de máquinas evoluiu também em qualidade. Menor perda, maior eficiência e melhor uniformidade. Na distribuição de insumos, a regularidade dentro dos parâmetros especificados é fundamental. No caso de sementes, a regularidade das distâncias e a profundidade são fatores decisivos para um bom plantio. A qualidade e eficiência foram perseguidas por fabricantes e agricultores com o objetivo de alcançar a excelência nos processos de operações da lavoura até o grande salto da Agricultura de Precisão.

Os conceitos da Agricultura de Precisão não são novos. Intuitivamente, os bons agricultores reconheciam as diferenças criadas pela natureza, como solos e microclima, e tratavam com respeito a variabilidade do campo. Em 1929, Linsley e Bauer publicaram um comunicado que recomendava a aplicação de diferentes taxas de calcário, pois o solo em uma propriedade em Illinois, EUA, poderia variar significativamente (LINSLEY; BAUER, 1929). Essa diferença sempre chamou a atenção de alguns grupos de pesquisadores. Os trabalhos por eles publicados deixavam clara a importância de se considerar a não uniformidade do campo. Portanto por mais uniforme que seja a aplicação do insumo, as manchas na lavoura persistem e interferem na produtividade total dela. Se há diferença no campo, o agricultor deve tirar proveito dessa diferença e tratá-la de forma adequada. Se um setor é mais úmido do que outro, a demanda por insumos é diferente, e assim por diante. O grande desafio era identificar e delinear essas áreas formulando recomendações. Evidentemente, na época os projetistas de máquinas não estavam preparados e nem tinham à disposição um arsenal tecnológico como o de hoje para promover uma evolução tão grande.

No início da década de 1980, a tecnologia de sistema de posicionamento geográfico norte-americano baseado em satélite foi disponibilizada para uso civil. Os computadores também, instalados até então em grandes salas climatizadas para uso corporativo, estavam sendo usados em mesas individuais e eram aplicados em máquinas. A integração entre engenharias como a mecânica, a eletrônica e a computação estavam gerando inovações tecnológicas sem precedentes. Essas tecnologias emergentes fizeram que os países do primeiro mundo, onde havia a massa crítica, pudessem vislumbrar a possibilidade de implementar nessas máquinas a automação para a delimitação das manchas e a aplicação programada dos insumos por setor.

No Brasil, há três décadas, a Embrapa criava a Unidade de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento da Instrumentação Agropecuária com engenheiros eletrônicos e físicos. Na mesma época, o país estabelecia a reserva de mercado para a informática, buscava criar competência nacional, porém afastava o mercado brasileiro dos produtos que estavam inovando o sistema de informação na maioria dos setores produtivos. Nesse período a Embrapa iniciou as primeiras incursões na área de eletrônica embarcada.

No final da década de 1980, a unidade da Embrapa iniciou a construção de um protótipo de coletor de dados para máquinas agrícolas, ilustrado na Figura 1. Utilizava microcontrolador de primeira geração e disponibilizava os dados em computadores pessoais; realizava vinte leituras digitais por segundo de parâmetros como força de tração, consumo de combustível, velocidade real e patinação das rodas. Esses parâmetros eram suficientes para medir desempenho de tratores (MANTOVANI et al., 1999). Considerando

o período do país na área agrícola, pode-se dizer que foi um grande feito (INAMASU et al., 1992).

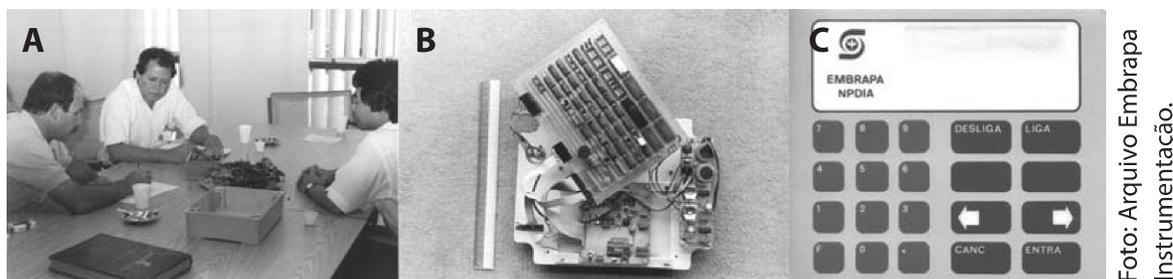


Foto: Arquivo Embrapa Instrumentação.

Figura 1. Protótipo do coletor de dados; A) apresentação na Embrapa Cerrados, B) detalhe construtivo, C) painel com logo da época.

No início da década de 1990, o protótipo chamou a atenção de jovens empreendedores, gerando empresas como a Enalta em São Carlos. A reserva de mercado apresentava resultados positivos, porém esses esforços na área agrícola foram isolados, enquanto que no mundo (Europa, EUA e Japão) surgiam grandes inovações no campo por meio de máquinas agrícolas – a tecnologia brasileira parecia estar se distanciando. Ao mesmo tempo em que a tecnologia de rede de computadores ia sendo embarcada em veículos automotores, os tratores e máquinas agrícolas também estavam sendo beneficiados por essa mesma tecnologia.

Não foram apenas os motores a gasolina a receber comandos eletrônicos (injeção eletrônica), mas também os motores a diesel, pela necessidade de baixa emissão de poluentes e eficiência. Na busca de maior flexibilidade e modularidade, os fabricantes padronizaram a comunicação eletrônica com os controladores dos motores e transmissões, atualmente disponível como padrão de comunicação SAE (*Society of Automotive Engineers*), J1939 adotado internacionalmente.

No Brasil, apenas na década de 1990, a eletrônica começa a ser embarcada em veículos. Na mesma época, na Europa e nos EUA a Agricultura de Precisão recebe um aporte de solução para a operacionalização do tratamento à taxa variada. São máquinas com receptores GNSS (*Sistemas de Satélites de Navegação Global – Global Navigation Satellite Systems*) e monitor gráfico na cabine. O GNSS é conhecido como GPS (*Geographic Positioning System*) por esse ser o primeiro sistema GNSS implementado. Surgem os primeiros mapas de produtividade e as telas gráficas em máquinas agrícolas, com o diferencial que o sistema era programável por meio de barramento em rede de computador embarcado. A eletrônica embarcada populariza-se nos EUA e na Europa. Agricultores demandam compatibilidade entre formato de arquivos e entre dispositivos eletrônicos. Surge a semente para a

Conceitos e aplicações da instrumentação para o avanço da agricultura

padronização internacional de comunicação de dados e de controle entre máquinas e implementos.

No final da década de 1990, no Brasil, as indústrias de tratores trazem a eletrônica embarcada em máquinas de grande porte como as grandes colhedoras, já com capacidade para realizar mapeamento da lavoura durante a operação, ou seja, a eletrônica embarcada para tratar a variabilidade espacial, ilustrada na Figura 2. Esse início aparentemente não empolgou a maioria dos agricultores brasileiros, talvez por entenderem que haveria uma necessidade de adaptação, e de fato a informática era presente para poucos iniciados. Entretanto, chamou a atenção para o que seria o futuro das máquinas agrícolas.



Figura 2. Primeiros modelos de colhedora no mercado brasileiro com monitor de colheita em campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo em 2000.

A academia inicia trabalhos de acompanhamento da Agricultura de Precisão viabilizada pela eletrônica embarcada. Em 1997, a Esalq realiza um dos primeiros workshops sobre o tema, evento que atualmente é realizado como Conbap – considerado o mais tradicional no país. No mesmo ano, a Embrapa realiza um workshop para mapear oportunidades e competências. Em 1998, a UFV promove o Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão (SIAP). Esses eventos acadêmicos abordavam a importância de se tratar a variabilidade, mas, esse conceito não foi amplamente assimilado no Brasil.

Talvez devido ao fato de que as primeiras máquinas com eletrônica embarcada no mercado nacional tenham sido para a Agricultura de Precisão, criou-se um senso comum de que esta estava relacionada a máquinas com certo grau de eletrônica e, portanto, a um tópico da mecanização agrícola. Esse entendimento desacelerou o avanço da Agricultura de Precisão no país em setores importantes de conhecimento básico da agricultura, fundamentais para tratar a variabilidade espacial do campo.

Em 2009, a Embrapa aprovou o projeto de rede de Agricultura de

Precisão com cerca de 200 pesquisadores, 19 Unidades, buscando desenvolver conhecimentos e tecnologias para tratar um campo espacialmente variado. O projeto realizou esforços para ampliar conceitos além da mecanização. A Agricultura de Precisão foi posta como processo de gestão da lavoura que leva em conta a variabilidade espacial com o intuito de aumentar o retorno econômico e reduzir o impacto no meio ambiente. As máquinas e equipamentos como ferramentas serviram para apoiar essa forma de gestão, e esse enfoque intensifica a demanda por máquinas e equipamentos de melhor qualidade.

Tecnologia para gestão agrícola

Primeiramente, é necessário entender como a automação de sistemas e o uso da tecnologia de informação está presente no setor agrícola. Basicamente, pode-se dizer que estes tópicos, assim como uma série de outros, contribuem para formar o sistema de manejo conhecido como Agricultura de Precisão. Entre as diversas abordagens existentes relacionadas ao tema é comum encontrar citações referentes à coleta massiva de dados, sistemas georreferenciados, geração de mapas e aplicação de insumos à taxa variável. Entretanto, essas operações, quando realizadas de forma isoladas, ou sem um gerenciamento adequado, não providenciam ganhos efetivos ou geram informações desencontradas.

Diante do cenário apresentado, admite-se que a Agricultura de Precisão deve ser vista como forma de gerenciamento da produção agrícola, o qual tem o objetivo de aumentar o retorno econômico e reduzir o efeito ao meio ambiente por meio de gerenciamento da variabilidade espacial e temporal do campo. Essa forma de gestão incorpora diversas áreas da ciência, tais como ciências agrárias, engenharias, geoestatística, ciências da computação entre outras, resultando em um sistema com caráter multidisciplinar. Por isto, os envolvidos com o seu desenvolvimento e uso precisam dispor de vasta quantidade de dados, que por sua vez, são oriundos de múltiplas fontes, para realizar as tarefas de integração e tomadas de decisão.

O conceito de Agricultura de Precisão foi definido de várias formas ao longo dos anos. Seu significado pode ter distintas interpretações em função do foco de análise, tecnologia disponível e método adotado. Hoje a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) define a Agricultura de Precisão como “um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente”.

Historicamente o desejo de aperfeiçoar a eficiência da produtividade agrícola foi estimulado por inovações tecnológicas. Entretanto, com o aumento das áreas cultivadas e sem tecnologias que adaptassem dinamicamente

a liberação do insumo de forma automática, tornou-se inviável gerenciar de modo eficiente a variabilidade espacial por métodos de observação e/ou experiência. A incorporação de técnicas mais apuradas em relação à Tecnologia da Informação no ambiente agrícola iniciou-se no meio da década de 1980 e cresceu continuamente com o decorrer dos anos. O uso da informação para a tomada de decisão no ambiente agrícola convencional baseia-se nos dados coletados pela média e analisados para gerenciar insumos e operações de forma uniforme no campo. Nesse sentido, a Agricultura de Precisão incentivou o desenvolvimento e uso de métodos para processar e analisar dados de múltiplas fontes de alta resolução espacial e temporal para a tomada de decisão.

No quesito escala amostral, a tendência é aumentar sua frequência, e o limite é o tratamento por planta, o que já pode ser constatado em culturas perenes como a fruticultura. Entretanto, cada fator específico com a possibilidade de ser gerenciado pode ter a resolução mais apropriada. O controle de insetos e o monitoramento do clima para o gerenciamento das tomadas de decisões para o cultivo são exemplos de variáveis que são gerenciadas em larga escala. Outros fatores como fertilidade do solo e distribuições de doenças podem variar significativamente quanto ao talhão durante a semeadura e a germinação. Por esta razão, é importante observar o gerenciamento agrícola em termos das unidades espacial e temporal para a tomada de decisão. Estas escalas são vistas como um fluxo contínuo de informações das áreas de atuação, desde uma planta até a propriedade como um todo.

Os fatores que limitam a produção de um talhão podem mudar anualmente (por exemplo, a disponibilidade de nutrientes, doenças, pragas, plantas invasoras, clima etc.), gerando incertezas que dificultam o planejamento e conseqüentemente o seu manejo. Um dos aspectos mais atrativos da Agricultura de Precisão é o potencial para o gerenciamento individual de pequenas áreas, cujo tamanho é determinado por características locais e/ou pelo tipo de cultivo. A capacidade em determinar a localização repetidamente de uma ocorrência em um talhão e suas características agrônômicas proporciona uma oportunidade de aperfeiçoar o gerenciamento por zona de manejo. A subdivisão de um campo em pequenas unidades de manejo pode aperfeiçoar sustentavelmente os sistemas de produção agrícola em aspectos econômicos e ambientais.

Os primeiros defensores da Agricultura de Precisão utilizavam a abordagem de que as decisões de gerenciamento deveriam ser baseadas nas características do solo, assumindo que um conjunto de solos semelhantes poderia ser gerenciado como unidade homogênea. Em áreas com fertilidade já equilibrada, com anos de cultivo, os solos tendem a apresentar aproximadamente a mesma variabilidade de nutrientes. O gerenciamento preciso

baseado na variabilidade das propriedades físicas e químicas dentro dos tipos de solos pode não ser suficiente para o gerenciamento ótimo das atividades da produção agrícola. Para aumentar a precisão da tomada de decisão é importante que se entenda os fatores limitantes de cada talhão, para adequar o gerenciamento nesta escala. A determinação destes fatores, porém, pode ser o maior desafio.

Em resposta à busca de ferramentas para viabilizar a gestão, surgiram, no mercado, sistemas automatizados, equipamentos e procedimentos para coleta e processamento de dados, o que induziu novas práticas no meio agrícola. No fim da década 1990, várias práticas e tecnologias emergentes foram testadas e refinadas para uso no setor agrícola. Foram baseadas em tecnologias previamente existentes utilizadas em outras áreas, as quais foram adaptadas para o ambiente agrícola, como no caso da medição de condutividade elétrica aparente do solo, sensoriamento remoto próximo, georreferenciamento de observações, geoestatística, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), e integração de dispositivos e controladores por meio de redes digitais.

A multidisciplinaridade envolvida no setor agrícola atual fez que diversos métodos, baseados em distintas áreas da ciência, sejam desenvolvidos visando uma mesma aplicação. Da mesma forma, uma determinada tecnologia não se restringe em melhorar uma única prática, mas empregada em múltiplas situações, auxiliando no processo como um todo. Devido ao processo contínuo de evolução das áreas que envolvem ou interagem com a instrumentação, tais como microeletrônica, sensores, computadores, telecomunicações, tecnologia da informação e da comunicação, o potencial de inovações foi ainda muito pouco explorado. Entre as tecnologias, a grande demanda por mecanização e automação está relacionada ao aumento da produtividade; processos para medidas massivas de propriedades físicas e químicas do solo; processo de identificação para apoio à nutrição animal e vegetal; processo de acompanhamento da produção de volume vegetal e biomassa; processo de monitoramento da saúde e nutrição animal; processo de medição e acompanhamento de disponibilidade de água; processos para identificar e monitorar pragas (doenças, plantas invasoras, insetos) de forma espacialmente variada, entre outros. Os conhecimentos e tecnologias que têm sido adaptados e explorados na agricultura, como redes de sensores no campo, identificação de *status* de plantas por espectrorradiômetros, visão de máquina, sensoriamento remoto aéreo multiespectral e hiperespectral, imagens de satélite, imagens térmicas, entre outros, têm se convergido e tendem a se integrar em um grande sistema para apoiar a gestão agrícola.

Máquinas agrícolas

A evolução tecnológica ocorrida nas máquinas agrícolas nas últimas décadas foi perceptível. Com a busca do incremento da capacidade operacional, as dimensões e velocidade de operação das máquinas aumentaram e, conseqüentemente, a potência instalada também aumentou. A abertura do mercado nacional no final da década de 1990 para produtos importados trouxe consigo um salto tecnológico e a possibilidade de adoção de novas práticas e tecnologias que até então não estavam disponíveis. A Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea) (ANFAVEA, 2006) chamou essa fase de “salto tecnológico do obsoleto à última geração”.

No início de 2000, o avanço no projeto mecânico continuou, agora também presente em implementos e unidades de menor porte. Nas grandes máquinas, a ampliação do uso de componentes hidráulicos em substituição aos mecânicos, principalmente na transmissão, além da adoção de sistemas eletro-hidráulicos, aumentou a sofisticação dos projetos, assim como a operação dessas máquinas.

Em meados da década de 2000, apesar do avanço nos projetos mecânicos, resultado do surgimento de novos materiais, popularização de técnicas de projeto que usam ferramentas como 3D-CAD, CAE e CAM e produção descentralizada, foi o avanço da eletrônica e da automação que mais chama a atenção. Importante observar que essas técnicas e equipamentos são também reflexo da evolução ocorrida em outros setores econômicos, como na indústria de manufatura, da tecnologia de informação e da comunicação. A evolução teve também reflexo no aumento do número de fornecedores e serviços, o que resultou em redução dos custos de implantação e operacionais.

A evolução das máquinas agrícolas ocorreu em várias frentes. Uma das mais evidentes tem sua base na evolução de máquinas e veículos. São inovações implementadas em ergonomia, segurança, sistemas de transmissão, controle de motores, monitoramento de peças, novos materiais, ou seja, reflexo da evolução dos elementos e partes de máquinas. A evolução da instrumentação embarcada nessas máquinas também propiciou a inovação no uso adequado das tecnologias em aplicações agrícolas. Entretanto, talvez o avanço, que se diferencia de um padrão de máquinas, tenha duas características muito distintas de uso. Uma das características é a existência de acoplamento de dois elementos, o trator e o implemento agrícola, cuja conexão forma um sistema de trabalho. A compatibilidade entre esses dois equipamentos é necessária, mas salvo as incompatibilidades mecânicas e hidráulicas, surgiu nesse novo cenário, grandes desafios para compatibilizar os dados de comunicação e de controle digital presentes no sistema de informação e no de eletrônica embarcada. A outra característica provém da

própria natureza dos processos de produção da agricultura. A subjetividade e o comportamento reativo das variáveis exigem uma interação com um sistema de suporte à decisão muito mais intensa e complexa: a integração com um sistema de gestão.

Atualmente, os sensores utilizados para medir grandezas ou variáveis para monitorar e eventualmente controlar as máquinas na busca de eficiência operacional mecânica como rotação, consumo de combustível, posição de elementos de máquinas, temperatura, entre outros, podem ser considerados convencionais e são constituídos de elementos de transdução conhecidos. A seguir será abordada de forma sintética a forma de incorporação de alguns instrumentos que não são convencionais em veículos, mas têm sido cada vez mais encontrados em máquinas agrícolas.

1.1. Informações georreferenciadas

A georreferência refere-se aos dados baseados em informações geográficas, o que implica na maneira de enxergar a informação agrícola e a variabilidade espacial com auxílio de coordenadas geográficas. Portanto, para um determinado talhão pode-se obter vários tipos de informações utilizadas para a realização de análises comparativas e quantitativas. Por exemplo, dados das propriedades físicas do solo podem ser comparados com outros disponíveis no Sistema de Suporte a Decisão (DSS, *Decision Support System*), como topografia da região, dados do monitor de produtividade e das Aplicações à Taxa Variável realizadas no campo e como interação entre si.

O elemento que viabilizou a adoção de informações georreferenciadas na agricultura, tanto tecnológica como comercialmente, é o GNSS, conhecido inicialmente como GPS. Apesar do sofisticado aparato tecnológico por trás desse sistema, a forma de uso dos receptores atualmente são extremamente simples. Os dados fundamentais que todos eles fornecem são a coordenada geográfica (latitude e longitude) em uma frequência de pelo menos uma vez por segundo. Alguns dados adicionais secundários como velocidade a partir do histórico de coordenadas, a altitude (elevação) ou o horário de enorme precisão também podem ser obtidos. A Figura 3 mostra um sistema didático de medição da produção em uma colhedora que viabiliza o mapeamento de produtividade de uma área.

Os GNSS utilizam conjuntos de satélites e emitem sinais digitais que podem ser captados por receptores móveis sensíveis à frequência de transmissão. O posicionamento é estipulado através das transmissões recebidas simultaneamente de quatro ou mais satélites. Pela referência da localização do satélite e o tempo entre a transmissão do satélite e a recepção do sinal pelo receptor, a localização da antena receptora pode ser determinada por triangulação. Há cinco sistemas GNSS principais existentes com seus

Conceitos e aplicações da instrumentação para o avanço da agricultura

sinais disponíveis no Brasil. O *Global Positioning System*, primeiro sistema em funcionamento lançado pelos EUA, iniciou o processo de navegação por satélite. Seguiram a Europa com seu sistema Galileo, a Rússia com Glonass (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) e a China com o seu sistema Compass.

Foto: Ricardo Inamasu



Figura 3. Sistema instalado em colhedoras para mapeamento da produção.

O uso dos GNSS, ao fornecer a latitude e correspondente longitude, permite referenciar os dados obtidos ao local específico do campo. Também é usado para guiar a navegação pelo campo, possibilitando ao agricultor visitar novamente um determinado local. Portanto, o GNSS torna-se um componente de campo importante para a maioria das aplicações em Agricultura de Precisão baseadas em mapeamento e outras medidas das características do solo que podem ser usadas para a geração de mapas de aplicação.

O conhecimento de elementos que participam no sistema viabiliza o entendimento das fontes de erros. Dependendo da fonte de erro é possível minimizá-lo, por meio de custo razoável, e aumentar a precisão dos dados fornecidos pelos receptores. O sinal com correção diferencial foi muito popular por apresentar um erro na ordem de três metros, suficiente para uso em aplicação de insumos à taxa variada; entretanto, para pilotos automáticos, o erro deve ser suficientemente menor, da ordem de dois a três centímetros, para que a roda não pise e cause dano às plantas. Esse sistema de correção mais preciso é denominado de RTK (*Real Time Kinematic*) e requer

estação-base próxima à área de operação do receptor, dependendo do modelo, distante cerca de 20 km, o que pode trazer providências adicionais para viabilizar a operação da máquina no campo. Como o processo é muito dependente de sinais de radiofrequência, fenômenos naturais como a cintilação ionosférica faz que o sistema pare de funcionar por um tempo, e o gestor da operação de campo deve estar preparado para assimilar e se adaptar ao processo.

Ao embarcar um receptor GNSS na máquina agrícola e obtido os dados de coordenada geográfica, ele apenas será útil se estiver integrado com um sistema de informação. A forma mais tradicional de se conectar ao receptor é por meio de interface serial RS232, em um padrão de dados conhecido como NMEA (protocolo desenvolvido pela Associação para Eletrônica Marítima - *National Marine Electronics Association*), mas, como o sistema exige um grau de processamento de dados digitais elevado, todos contêm uma UCP (Unidade Central de Processamento) e, devido à sua presença, o dispositivo pode atualmente incorporar qualquer interface, desde o padrão USB e CAN até a comunicação de redes de rádio como Bluetooth e Wi-Fi. Uma outra característica também derivada da sua capacidade de processamento é a quantidade elevada de rotinas e algoritmos proprietários implementados pelos fabricantes para atenuar ou reduzir os erros, o que aprimora o produto e o adequa para uma aplicação específica a cada versão produzida, incluindo a atualização do seu firmware.

Vale lembrar que foi essa conexão, no início da década de 1990, que permitiu a obtenção do mapa de produtividade, ou mapa de colheita, que permitiu ao produtor ver áreas de maior e menor produtividade. Os relatos de diferenças superiores a quatro vezes fez que percebessem rapidamente que o tratamento convencional pela média traz prejuízo ao se aplicar excesso de insumos em uma área, e na outra pela insuficiência e perda de produtividade.

1.2. Sistemas de coleta de dados e mapeamento

Um receptor GNSS isoladamente apresenta apenas os dados de coordenadas e a hora do momento da recepção desse par de dados. Os sistemas de coletas de dados e mapeamento são sistemas projetados para armazenar as coordenadas de forma sincronizada com os dados de outros sensores, transformando-as em informações georreferenciadas que podem retratar a produção agrícola durante as operações realizadas. Os dados mais importantes são os de produtividade, por refletirem o resultado de todo o processo de cultivo. Esses dados são obtidos por meio de monitores de colheita, porém nem todas as culturas têm máquinas para a colheita com dispositivos de medição da produtividade disponíveis. No caso da cana-de-açúcar, por

exemplo, ainda não existe um sistema comercial estabelecido. Portanto, outras informações podem ser agregadas para indicar diferenças da lavoura.

Na maioria dos sistemas, os dados são obtidos, processados e disponibilizados para o operador, ou para uma central de operação, além de serem armazenados para posterior análise. Os dados podem ser obtidos por meio de sensores instalados nas máquinas como tratores, pulverizadores, colhedoras, semeadoras e, em função do tipo de operação realizada, ou material processado, sensores específicos são instalados. Algumas informações disponibilizadas, como umidade e perdas de colheita auxiliam o ajuste dos parâmetros operacionais da máquina, como velocidade de trabalho, e também corrigem os dados de produtividade.

Os dados em tempo real ajudam o operador a realizar ajustes e calibrações na máquina durante o decorrer do dia, pois operações de colheita, que medem também a massa colhida por unidade de área, podem necessitar de ajustes de sensibilidade na medida em que o valor da umidade do grão é alterado. Mas o mais interessante é o armazenamento dos dados e o seu uso.

Os dados armazenados, ao serem carregados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), podem ser manipulados e organizados pelo usuário e ser apresentados em mapas. A maioria dos SIG permite sobrepor mapas e imagens. Os dados que são pontuais (coordenada geográfica e uma variável) podem ser interpolados, preenchendo as áreas entre os pontos, transformando-as em imagem com continuidade. Há alguns processos de interpolação que possuem base matemática encontrada na geoestatística. Apesar de muitos SIG realizarem a interpolação automaticamente, observa-se que há a necessidade de se cumprir determinadas conferências antes de aplicar esse processo, como a verificação da dependência espacial dos dados. A não verificação desses passos iniciais é uma das fontes de erro mais comuns no processo de análise. Compondo mapas e imagens aéreas (tema abordado em outro capítulo dessa publicação), o usuário pode exercer a intuição e trazer sua experiência e o histórico das áreas, e inserir tudo em uma base de dados. O SIG e a geoestatística são ferramentas desenvolvidas para a gestão de informação geográfica para gestão de territórios, apoio às polícias públicas, construção, logística, mineração, entre outros. E a agricultura tem utilizado este sistema, adicionando-o ao seu arsenal de ferramentas que fornecem suporte à decisão; porém, vale observar que ainda há muitos desafios para que seja um sistema integrado, ou seja, um Sistema de Suporte à Decisão para a agricultura.

Mais dados como a condutividade elétrica aparente do solo, acidez do solo, índices de refletância a partir de sensoriamento próximo, ou mesmo a análise de solos tradicional podem, em conjunto, fornecer subsídios para a tomada de decisão. Em toda a situação, qualquer leitura, quer seja por

sensor ou por observação em campo, estando os dados em conjunto com a coordenada geográfica é possível inseri-los em SIG para a análise. A instrumentação nesse caso deve estar instalada com um receptor GPS. A tarefa de uma unidade eletrônica é ler os dados de sensores sincronizados com a leitura da coordenada geográfica e armazená-los em um formato adequado. Muitos dos sistemas armazenam os dados em formato texto com separadores que podem ser um caractere vírgula ou tabulação. Formato este que pode ser aberto com editores e planilhas eletrônicos.

Os vários mapas gerados pelas informações colhidas e processadas ajudam o produtor a identificar as várias características e aptidões encontradas na propriedade e a gerar um mapa de procedimento ou mapa de recomendação, com o intuito de produzir respeitando as diferenças existentes no campo.

1.3. Tecnologias de aplicação de insumos

As tecnologias de taxa variável (*Variable Rate Technology, VRT*) e as Tecnologias *on the go* são técnicas aplicadas às máquinas agrícolas para permitir a aplicação controlada de insumos (fertilização e pulverização) ou para permitir o controle de plantio (espaçamento e quantidade de sementes) de acordo com mapa de recomendação. Necessitam de receptor GNSS instalado na máquina agrícola, para o reconhecimento da coordenada geográfica onde se encontra e de um sistema computacional de apoio prévio para o estudo e a geração de mapa de recomendação.

A VRT foi a resposta às demandas da Agricultura de Precisão para aplicação de insumos de acordo com sua localização geográfica. Historicamente estes métodos foram introduzidos pela indústria nos meados da década de 1980. A VRT viabilizou aos aplicadores o ajuste do volume de insumos, tais como sementes, fertilizantes e produtos químicos ainda em movimento de acordo com sua posição. Os sistemas contam com controladores que ajustam as taxas de liberação de um ou mais produtos simultaneamente, em resposta à taxa desejada em um local específico. Os sistemas de aplicação à taxa variada são projetados de acordo com o insumo que será controlado e a fonte de informação utilizada para as taxas locais, podendo ser esta fonte de informação:

- Baseada em mapas, sendo necessário o georreferenciamento por sistema GNSS/DGPS e uma unidade de comando que armazene as informações para o plano de aplicação de insumos em cada local a ser atendido;
- Baseada em sensores que não necessitam do georreferenciamento, porém incluem uma unidade de comando dinâmico que determina

a aplicação através de análises em tempo real das medidas de um sensor do solo ou cultura, para cada lugar dentro do campo percorrido. Nesse caso é necessário que seja feito o sensoriamento, processamento (tomada de decisão) e atuação durante o movimento da máquina. Demandam menor tempo de resposta do sistema.

O papel dos implementos aplicadores é de distribuir o insumo na quantidade e no local correto, conforme as recomendações agrônômicas. Na agricultura convencional, o objetivo é obter uma aplicação uniforme (quantidade aplicada e variação da distribuição em unidade de $0,25 \text{ m}^2$ para fertilizantes e corretivos). As diferenças do insumo aplicado com o recomendado é o erro apresentado pelo equipamento. O erro permitido ou tolerável em máquinas agrícolas depende do insumo, porém, é desejável que o valor seja menor do que a metade da resolução indicada pelo equipamento. Por exemplo, para um sistema que indica a menor resolução igual a 10% do fundo de escala, ou seja, dez subdivisões, então o erro máximo esperado deveria ser menor do que 5%. Para alcançar a uniformidade desejada, há máquinas que, mesmo em aplicações convencionais, utilizam sensores e atuadores para ajuste da vazão e de distribuição de acordo com a velocidade. Os atuadores são convencionais e podem ser motores hidráulicos, pistões hidráulicos, atuadores elétricos lineares e motores elétricos, que, por sua vez, são controlados por sistemas que podem também ser considerados convencionais nos dias atuais, pois todos esses sistemas têm baixa exigência no tempo de resposta que é da ordem de um segundo. Apenas alguns sistemas de corte de seção atuam de forma digital (liga/desliga) e tem uma resposta mais rápida, da ordem de décimos de segundo, valor que, para unidades eletrônicas, ainda pode ser considerado de baixa exigência.

O que diferencia as máquinas VRT das convencionais é a exigência por menor erro (coeficiente de variação da distribuição), o sistema de localização geográfica e um sistema que disponibilize o valor da recomendação de acordo com a latitude e longitude em que a máquina está realizando a aplicação. Portanto, o sistema deve realizar a tarefa de leitura de mapa de recomendação a partir de uma mídia digital, comparar com a posição apresentada pelo receptor GNSS instalado e comandar os atuadores para que ajustem a liberação do insumo na taxa solicitada em tempo real. Para essa operação é comum encontrar terminal gráfico para indicar o *status* da operação.

Um aspecto pouco abordado é o tempo de resposta para que um equipamento mude de taxa. Se o sistema leva 5 segundos para que mude de taxa, em uma operação com velocidade a 2 m/s , a resolução de mudança é de 10 metros. Para um sistema de aplicação de insumo orientado com sensor de dossel, torna-se relativamente crítico, pois da detecção até o acionamento efetivo terá de ser ajustado.

1.4. Sensores on the go para aplicação de insumos

Na última década surgiram quatro fabricantes de sensores com a finalidade de ler o *status* da cultura em tempo real para controlar a aplicação de insumos. São sensores ópticos que realizam a leitura da cor do dossel das plantas e inferem a quantidade de fertilizante nitrogenado requerido pela planta. O princípio tem origem em sensoriamento remoto desenvolvido para aplicações civis a partir das imagens de satélite e são também conhecidos como sensores (remotos) próximos.

Possuem fonte de luz que ilumina o dossel por meio de semicondutor (LED, *light emitting diode*), atualmente popularizado em lanternas portáteis e até nas telas de TV. A luz refletida é captada por sensores ópticos. O sensor é um tipo de célula fotovoltaica semicondutora, cujo uso também é encontrado em painéis solares e em sensores de câmeras digitais. A luz tem comportamento ondulatório, divisível por um prisma e é visível a partir de um comprimento próximo de 380 nm até 780 nm. Quando uma luz branca é incidida sobre uma folha sadia, devido aos pigmentos e biomassa, ela reflete com maior intensidade a cor verde (entre 500 nm a 550 nm), absorve a cor vermelha (650 nm a 700 nm) para a fotossíntese e reflete com maior intensidade a partir do infravermelho próximo (acima de 750 nm) com a presença de biomassa. A relação da intensidade da reflexão entre diferentes comprimentos de onda gera uma grande quantidade de estudos e índices na área de sensoriamento remoto. A relação mais aplicada na agricultura e empregada nos sensores é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) que é o resultado da divisão entre a diferença entre a intensidade da reflexão dos comprimentos entre infravermelho próximo (NIR) e visível (VIS vermelho) dividido pela soma dessas duas intensidades ($NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$) (HATFIELD et al., 2008). Esse índice tem uma forte correlação com a quantidade de clorofila presente no dossel. Como a quantidade de clorofila tem correlação com o nitrogênio disponível para a planta, diz-se que o sensor mede a quantidade de N, porém são correlações indiretas. O NDVI, na realidade, reflete, além da deficiência ou suficiência de N na planta, outros fatores que causam estresse ou vigor. Uma vez que esses fatores participam da relação “clorofila e biomassa”, eles são elementos interferentes para quantificar a presença de N. Portanto, esse tipo de sensor pode ser utilizado para buscar outros parâmetros ou fatores interferentes da planta.

Há dois tipos de forma construtiva que resultam em respostas muito próximas. Sensor com a fonte “luz branca”, ou seja, em uma faixa de espectro amplo, e sensores com vários fotoemissores de diferentes cores, ou seja, com emissão de diversos comprimentos de onda. A luz branca, ao refletir, é captada por mais de um fotossensor, cada um em um comprimento de onda desejado. Portanto, para se medir o NDVI é necessário pelo menos um

sensor para VIS e outro para NIR. Para fontes de luz diferentes, é necessário ter uma fonte VIS e outra NIR, e um sensor que realize a leitura uma por vez. As fontes de luz podem pulsar a uma frequência acima de 10 mil vezes por segundo, de modo que viabiliza o emprego de processamento de sinal digital (DSP, *digital signal processing*), obtendo por meio dele dados muito estáveis.

Os dados de sensores devem ainda ser cuidadosamente testados e analisados antes de uma aplicação; entretanto, há alguns modelos nos quais o algoritmo de controle de aplicação de N está programado em seu sistema proprietário, e os ajustes são ainda de acesso restrito. Os sensores que permitem a leitura de dados possuem interface serial com liberação de dados sequenciais em tempo regular. Seus protocolos de comunicação ainda não são estabelecidos em normas.

Eletrônica embarcada em tratores e implementos

A instrumentação eletrônica embarcada em tratores e implementos não pode ser dissociada de um sistema que inclua microprocessador e seja, conseqüentemente, de sistema digital, ou seja, hardware e software com sua Unidade Central de Processamento (UCP), memórias e conjunto de elementos para entradas e saídas. As entradas são constituídas de elementos que fornecem os dados de entrada por meio de sensores e de dispositivos de leitura e recebimento de dados. As saídas, por meio digital, podem comandar diversos dispositivos presentes em máquinas agrícolas, desde lâmpadas, mostradores, válvulas e até o motor e a transmissão considerados como atuadores. A Figura 4 ilustra um sistema de controle baseado em sistema microprocessados.



Figura 4. Sistema de controle baseado em microprocessadores.

As primeiras gerações de sistemas embarcados iniciaram com apenas um processador. Praticamente todos os sensores e atuadores foram conectados à única UCP. Essa configuração, utilizada em computadores, apresentou problemas de ordem prática, tanto na montagem como na manutenção. Com o aumento de funções na máquina, aumenta também a quantidade de fios necessários para conectar os elementos que entram ou saem da UCP, fazendo que uma simples interrupção de sinal em um dos fios torne a operação de manutenção extremamente complexa.

A solução veio da indústria automobilística. Com a redução do custo de circuitos integrados viabilizou-se o uso de processadores com cada elemento de entrada e saída.

A comunicação entre as UCPs, ou seja, entre sensores e atuadores, foi entregue à tecnologia de redes de computadores. Os computadores embarcados, no âmbito de tratores e implementos, são conhecidos como ECU (*Electronic Control Unity* ou Unidade de Controle Eletrônico). Com a popularização dos processadores e da tecnologia de redes de computadores embarcadas em veículos, as ECUs têm sido empregadas em quantidades e distribuídas na máquina para que cada uma realize diferentes tarefas, como o controle da comunicação com o operador, controle do motor e transmissão, leitura e registro de tarefas em formato de mapas, leitura do posicionamento, entre outras.

A tecnologia de rede empregada em máquinas agrícolas não são como a de escritório. As que temos utilizado em nossos computadores domésticos em redes com cabo são conhecidas como Ethernet. Para veículos os mais populares são redes CAN (*Controller Area Network*), pois são robustas e um pouco mais simples. Esse padrão ou protocolo tem sido adotado para promover a interconexão entre dispositivos de automação e controle em máquinas agrícolas e permitem a implementação de sistemas distribuídos. Tal protocolo foi adotado para compor o padrão internacional da ISO (*International Organization for Standardization*) para aplicações em máquinas e implementos agrícolas, denominado ISO 11783, e também conhecido atualmente no mercado como Isobus.

1.5. Controller Area Network

Sob os conceitos de *fieldbus* foi desenvolvido o protocolo de comunicação digital serial CAN (*Controller Area Network* ou Rede de Área de Controle). O CAN foi desenvolvido na década de 1980 pela empresa Bosch para promover a interconexão entre dispositivos de controle em automóveis, mas em poucos anos esta tecnologia migrou para outras áreas. Atualmente encontram-se padrões baseados no CAN em outros tipos de veículos, como caminhões, ônibus, barcos, satélites, máquinas agrícolas, máquinas da

construção civil e máquinas militares. Outros padrões com o CAN foram desenvolvidos para automação de plantas industriais, aplicações na área de robótica e para aplicações em instrumentação, como em instrumentação médica e agrícola.

A popularidade de aplicações com CAN em sistemas de automação e controle é sustentada, entre outros fatores, por este possuir, em relação a outros padrões, características muito próprias para tais sistemas, as quais podemos destacar:

- Possibilidade de configurações para operar com taxas de comunicação de poucos Kb/s até 1 Mb/s;
- Comunicação de dados utilizando dois fios, o que reduz o custo e a complexidade da implementação física, e promove proteção a interferências eletromagnéticas;
- Tamanho de dados por quadro otimizado, o que permite a transmissão de dados comuns a dispositivos de sistemas de controle, com pequeno tempo de ociosidade para cada dispositivo;
- Utilização de um método de arbitragem para acesso ao meio para transmissão de dados que evita colisões e permite uma resposta rápida à necessidade de transmissão;
- Possibilidade de implementação de rede com comunicação ponto a ponto (entre dois dispositivos), por multidifusão (de um dispositivo para um grupo de dispositivos) ou por difusão (de um para todos dispositivos);
- Mecanismos de identificação de erros e de tolerância a faltas que permitem a implementação de redes bastante robustas;
- Flexibilidade para adição, remoção e mudança de dispositivos, que favorecem operações de manutenção e alterações no sistema.

O protocolo CAN foi padronizado e documentado internacionalmente pela ISO, gerando a Norma ISO 11898, para aplicações de alta velocidade, e a Norma ISO 11519, para aplicações de baixa velocidade. Estes padrões apresentam camada física e camada de enlace de dados em acordo com o Modelo de Referência OSI (*Open Systems Interconnection*), ou simplesmente modelo OSI, e foi sugerido com o intuito de padronizar internacionalmente o projeto de redes. As camadas acima da camada de enlace de dados não são definidas pelas normas ISO 11898 e ISO 11519, ficando abertas para que cada usuário ou grupo de usuários desenvolva o próprio padrão, baseados em protocolos de camadas superiores, denominados Protocolos de Alto Nível (*Higher Layer Protocols*), com especificações que atendam às necessidades de cada aplicação.

A comunicação de dados em uma rede com protocolo CAN é baseada em mensagens, que são transportadas em quadros de bits, que, por

sua vez, são formados por campos de bits, que são conjuntos de bits com determinada função no quadro. A mensagem CAN é formada por campo de dados denominado *Data Field*, ao qual está associado outro campo que caracteriza a mensagem. No caso do CAN, este campo identificador que caracteriza a mensagem é denominado *Identifier*. Este campo define também a prioridade de cada mensagem. O valor do identificador das mensagens de cada nó é exclusivo em uma rede CAN e, quanto mais baixo o valor do identificador, mais alta é a prioridade das mensagens desse nó. Utilizando um identificador, os vários nós fazem o escalonamento do acesso ao meio. Na recepção, quando os nós recebem a mensagem transmitida por um determinado nó, estes realizam o teste de aceitação e verificam se a mensagem tem interesse para esse nó ou não, através do identificador.

Existem duas versões do protocolo CAN, que diferem pelo formato do quadro de bits. Estas duas versões são: o Standard CAN (CAN 2.0A), com o identificador composto por 11 bits, e o Extended CAN (CAN 2.0B), com identificador composto por dois campos, um com 11 bits e outro com 18 bits (total de 29 bits). Ambas as versões definem um campo de dados do quadro de dados composto por 64 bits (8 bytes), além de outros campos de controle e verificação.

1.6. Isobus

Atualmente, instituições de pesquisa e associações de normas concentram esforços significativos para a padronização da eletrônica embarcada em máquinas e implementos agrícolas através da implantação da norma ISO 11783. Observa-se também o esforço por parte de fabricantes de máquinas, implementos e de outros equipamentos para a promoção e para a implantação do Isobus. São exemplos dessas parcerias entre fabricantes, instituições de pesquisa e associações de normas a Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF) que é uma organização internacional independente que tem o objetivo de promover não só a divulgação do padrão Isobus em diversos meios como também de criar e disponibilizar procedimentos e ferramentas para apoiar o desenvolvimento de máquinas e equipamentos com essa tecnologia.

O propósito da norma ISO 11783 é prover um padrão aberto para interconexão de sistemas eletrônicos embarcáveis através de um barramento de rede digital para permitir a comunicação de dados entre estes dispositivos sensores, atuadores e controladores. Uma única ECU pode ser responsável pela conexão de um ou mais dispositivos a um barramento de comunicação. Também um dispositivo pode ser conectado a um barramento por uma ou mais ECUs. O conjunto formado por uma ECU e por dispositivos Isobus compatíveis constitui um nó de rede padrão CAN (*Controller Area Network*).

A ISO 11783 adota o protocolo CAN como enlace de comunicação por fio e algumas especificações da norma foram baseadas na norma DIN 9684 e muitas outras foram baseadas na norma SAE J1939. A documentação atual da norma ISO 11783 é composta por 14 partes elencadas a seguir.

- Parte 1: Padrão Geral para Comunicação de Dados Móvel
- Parte 2: Camada Física
- Parte 3: Camada de Enlace de dados
- Parte 4: Camada de Rede
- Parte 5: Gerenciamento de Rede
- Parte 6: Terminal Virtual
- Parte 7: Camada de Aplicação de Mensagens do Implemento
- Parte 8: Mensagens de Tomada de Potência
- Parte 9: ECU do Trator
- Parte 10: Controlador de Tarefa e Gerenciamento da Informação
- Parte 11: Dicionário de Elementos de Dados Móveis
- Parte 12: Serviços de Diagnósticos
- Parte 13: Servidor de Arquivos
- Parte 14: Controle de Sequência

Os sistemas projetados e desenvolvidos no padrão Isobus permitem uma maior conectividade entre máquinas e implementos agrícolas, independentemente dos fabricantes, além de evitarem a redundância de sistemas eletrônicos (sensores, atuadores, terminais) instalados nas máquinas. Uma máquina agrícola que possua uma rede básica de comunicação no padrão ISO 11783 é composta normalmente pelas seguintes unidades: Terminal Virtual ou Universal (UT, *Universal Terminal*), Unidade de Controle Eletrônico do Trator (Tractor ECU – TECU) e Controlador de Tarefas (Task Controller – TC), Unidade de Controle Eletrônico do Implemento (*Implement ECU – I-ECU*) e receptor GNSS (não obrigatório) distribuídos em uma rede (ou barramento) baseada no protocolo CAN. A Figura 5 apresenta um exemplo de conexão entre implementos e uma máquina, de diferentes fabricantes, no padrão Isobus.

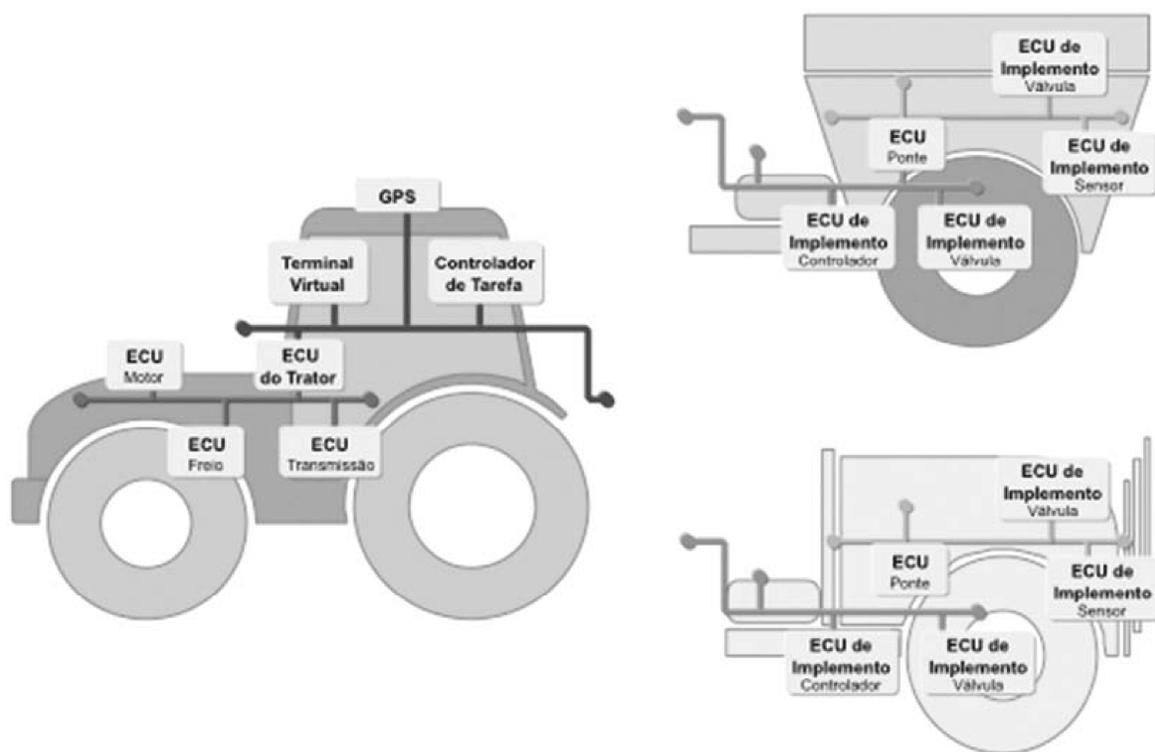


Figura 5. Comunicação Isobus entre máquinas e implementos agrícolas.

A Figura 5 ilustra dois implementos que, no momento do engate com o trator, passam trocar mensagens de status e de controle das operações em campo, e são automaticamente identificados pelo sistema de controle do trator. Dessa maneira, independentemente do fabricante, ou do implemento que será utilizado, todos os parâmetros que precisam ser monitorados na operação agrícola que será realizada estarão disponíveis no barramento Isobus. Por exemplo, quando um implemento é conectado no trator, ocorre uma negociação de endereço entre as ECUs instaladas no conjunto – o implemento envia para o barramento parâmetros como: endereço, o código do seu fabricante, qual operação irá realizar (plantio, pulverização, colheita

etc.) e quais parâmetros serão monitorados durante essa operação. Além desses parâmetros do implemento, também estão disponíveis informações do trator, como, por exemplo, posição GNSS, operador, data e hora do engate, status do motor, status da tomada de potência, entre outros.

A ISO 11783 define três tipos de sub-redes, que são conectados por dispositivos denominados ou Unidade de Interconexão de Rede (NIU, *Network Interconnection Unit*). Estas NIUs podem ser *Repeaters* (Repetidores), *Bridges* (Pontes), *Routers* (Roteadores) e *Gateways* (Portais), com funções semelhantes às funções destes elementos nas redes de computadores pessoais convencionais. Um tipo de sub-rede é a do veículo, denominada Barramento do Trator, onde podem estar conectadas ECUs para parâmetros veiculares associados, por exemplo, com o motor e com a transmissão (Figura 5). O outro tipo é a sub-rede principal de implementos, denominada Barramento de Implemento, onde podem estar conectadas ECUs para parâmetros relacionados com aplicações agrícolas como, por exemplo, plantio e pulverização (Figura 5).

Uma máquina agrícola (trator) dita Isobus deve conter três ECUs específicas ilustradas na Figura 5 que são necessárias para viabilizar a operação da rede Isobus, sendo essas o UT, o TECU e o TC.

O UT especificado na Parte 6 das normas é uma ECU com tela gráfica que promove a interface entre a máquina (trator e implemento) e o operador (ser humano), e fica localizada na cabine de operação da máquina agrícola. Quando um implemento Isobus é conectado em um trator Isobus, uma ECU de implemento qualificada como Mestre do Grupo de ECU (*Working Set Master*) é responsável por interconectar todos os dispositivos do implemento e demais ECUs relacionadas com uma aplicação agrícola com o UT através de um arquivo padrão denominado *Object Pool* (OP) transmitido do implemento (IECU) para o trator (UT) pela rede. O *Object Pool* é um arquivo que contém a descrição de um conjunto de objetos definidos pela norma (máscaras, botões, variáveis, indicadores gráficos, figuras etc) que são exibidos no UT para representar graficamente a ECU do implemento responsável pelo comando da aplicação agrícola. O protocolo de tratamento da interface gráfica é organizado da maneira *object-oriented* (orientada a objeto). As informações das ECUs conectadas ao barramento são mostradas na tela física do UT e são definidas pelos elementos data *mask* (máscara de dados), *alarm mask* (máscara de alarme) e *soft-key masks* (máscaras soft-key). Os dados dessas máscaras estão contidos em objetos de definições que, em conjunto, compõem o *Object Pool*.

O TECU especificada na Parte 9 é uma NIU com funções especiais e faz a interconexão do barramento do trator com o barramento de implemento.

A TECU deve inicializar no barramento do implemento do mesmo modo que qualquer outra ECU na rede, e seu acesso ao UT é idêntico ao de qualquer outro implemento e dispositivo, porém existem três classe possíveis de TECU quanto às funções:

- Classe 1 – Possui uma interface simples com suporte para rede e fornece principalmente medições internas do trator com as mesmas informações definidas na norma ISO 11786, mais antiga que a ISO 11783, comum em alguns tratores. Além disso, suporta o gerenciamento de energia, armazenamento do idioma de parâmetros específicos e permite o controle da iluminação do trator;
- Classe 2 – Possui as funções de uma TECU Classe 1 e tem funções adicionais com dados tais como: hora e data, distância e direção baseados no solo e roda, informações da tomada de potência mecânica (PTO), todas as mensagens da iluminação do implemento e estados de válvulas auxiliares. Isto permite um controle mais sofisticado do implemento e uma estratégia de segurança;
- Classe 3 – Possui as funções das TECUs Classe 1 e Classe 2 e, além disso, esta categoria de TECU aceita comandos do barramento do implemento. Em particular, os comandos básicos para engate traseiro, desacoplamento da potência e o processamento do controle de válvulas auxiliares. Portanto, o implemento está hábil a controlar a potência desejada na fonte e a posição do engate.

O TC especificado na Parte 10 é uma ECU especial responsável pelo envio, recebimento e armazenamento de dados de processos agrícolas, e, além disso, contém a interface de dados para sistemas computacionais externos à máquina agrícola. Essa ECU é responsável por gerenciar o controle de tarefas predeterminadas, sendo que as tarefas são prescritas previamente, e são transmitidas para o trator no formato de arquivo XML. Para que as tarefas possam ser realizadas, um implemento Isobus compatível deve enviar as características de seus dispositivos ao Controlador de Tarefas utilizando um arquivo denominado *Device Description Object Pool (DDOP)*, também no formato XML. Essa ECU não possui uma tela gráfica e, por isso, pode apresentar as tarefas no UT.

Outro componente essencial relacionado com o TC é o Sistemas de Informação de Gestão Agrícola (FMIS, *Farm Management Information System*) que consiste no sistema de gerenciamento de informações externas com softwares e bancos de dados adequados à gestão de tarefas agrícolas. A norma ISO 11783 não estabelece um meio específico para a transferência

de dados entre a máquina agrícola em campo e um FMIS. Entretanto estabelece no documento ISO 11783-10 uma padronização baseada na linguagem de marcação XML (eXtensible Markup Language) que permite a criação de documentos com dados organizados hierarquicamente, tais como textos, banco de dados ou desenhos vetoriais. São definidos no documento formatos de dados, parâmetros necessários para o controle de processos agrícolas e formatos de mensagens para a comunicação entre um FMIS e o TC. A Figura 6 mostra o modelo conceitual para a arquitetura de integração entre um sistema embarcado automatizado baseado na norma ISO 11783 e o FMIS por meio de um terminal de acesso implantado em computador pessoal.

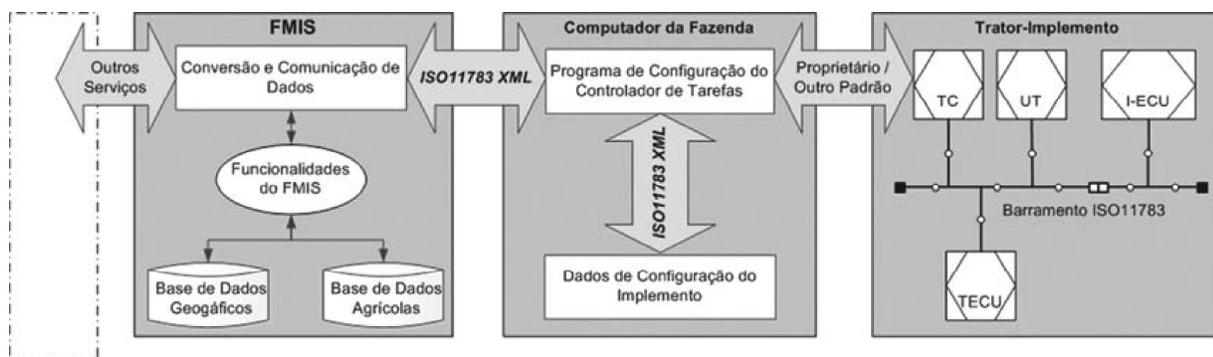


Figura 6. Arquitetura de integração entre um sistema embarcado ISO 11783 e um FMIS: elementos, interfaces e fluxo de dados.

Na Figura 6, observa-se que a I-ECU comunica-se através do barramento ISO 11783 com o UT, com o TECU e com o TC. A I-ECU conectada à rede ISO 11783 é qualificada como Mestre do Grupo, sendo responsável por interconectar todos os dispositivos do implemento e demais ECUs relacionadas com a aplicação agrícola com o UT por meio de um arquivo padrão denominado Object Pool trafegado na rede.

Os dados referentes a processos agrícolas seguindo o fluxo ilustrado na Figura 6 podem ser transferidos para o conjunto máquina/implemento, utilizando identificadores próprios para mensagens de dados de processo especificados no Dicionário de Dados (base de dados denominada ISO 11783-1¹). As mensagens descritas na Tabela 1 podem ser utilizadas para a transmissão de dados medidos ou comandos para um ou mais controladores associados a ECUs, sendo que a identidade dos dados é determinada por uma entrada do Dicionário de Dados.

¹ <http://dictionary.isobus.net/isobus>.

Tabela 1. Grupo de mensagens com informações comunicadas entre um sistema automatizado embarcado e um FMIS

Tipo de Serviço	Documento da Norma	Parâmetro
Operação trator-implemento	ISO 11783-7	Navegação, tomada de potência, engates traseiro e dianteiro, supervisão e controle processos, comando de atuadores do implemento e leitura de sensores do implemento.
Dados automotivos	ISO 11783-8	Motor, transmissão, freios, caixa de marcha e sistema de combustível.
Operação trator	ISO 11783-9	Sistema hidráulico do implemento, tomada de potência, gerenciamento de potência e navegação (velocidade e distância baseados nas rodas e solo).
Diagnóstico de sistemas	ISO 11783-12	Protocolos para diagnóstico e identificação de ECUs, versão de softwares e certificação.

O FMIS possui um elemento de conversão e comunicação de dados para acesso a serviços providos pelo FMIS. Entre as funcionalidade do FMIS está incluso o acesso a bancos de dados geográficos e agrícolas que armazenam as informações referentes à aquisição automática dos dados colocados na Tabela 1. O uso dessas informações dentro do processo de gestão agrícola pode trazer resultados positivos e bastante significativos como, por exemplo, a redução do consumo de combustível, a redução dos custos para manutenção das máquinas, a redução do tempo da máquina parada (no campo ou no pátio), a melhoria na logística de distribuição das máquinas em campo e no processo de logística, o monitoramento e controle mais preciso de operações agrícolas, entre outros.

Considerações finais

A instrumentação em máquinas agrícolas tem avançado significativamente nas últimas décadas, acompanhando a evolução de veículos automotores e da automação em setores de máquinas impulsionados pela microeletrônica e informática. Entretanto, não se pode simplificar em um processo de transferência linear de tecnologia para as máquinas agrícolas.

São as particularidades que a agricultura guarda no seu processo produtivo que a faz se diferenciar substancialmente de uma automação industrial. Os problemas encontrados em outros países podem diferenciar substancialmente dos encontrados em nosso país. A instrumentação, nesse sentido, possui ainda grandes oportunidades para inovar e contribuir com o desenvolvimento das máquinas agrícolas e com o desenvolvimento da agricultura brasileira.

A agricultura brasileira apresentou saltos que impressionam o mundo. Ao mesmo tempo em que o potencial posiciona o país com destaque no cenário internacional, aumenta as responsabilidades econômicas, ambientais e sociais.

Para avançar e acompanhar a demanda é necessário que o país aumente significativamente a produção, sobrepujando as tendências de redução da massa trabalhadora, restrição no aumento de área cultivada e o aumento na carga de trabalho para o controle e monitoramento do processo produtivo e das exigências de disponibilização de dados para o rastreamento do produto final. Tecnologias deverão ser cada vez mais integradas e as máquinas agrícolas, mais inteligentes, deverão ser ferramentas não apenas na operação de cultivo, mas para a geração de dados e de informação para sua conexão a um sistema maior da tecnologia da informação e da comunicação do futuro.

Referências

ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Indústria Automobilística Brasileira**, 2006. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/50anos/180.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

HATFIELD, J. L.; GITELSON, A. A.; SCHEPERS, J. S.; WALTHALL, C. L. Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions. **Celebrate the Centennial - a Supplement to Agronomy Journal**, [S. l.], p. 117-131, 2008.

INAMASU, R. Y.; MACEDO, A.; RABELLO, L. M.; CRUVINEL, P. E.; TANIWAKI, K.; FRANZ, C.; FOLLE, S. M.; CORONA JUNIOR, N. Coletor de dados para medir desempenho de tratores e implementos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21.; SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DO CONE SUL, 1., 1992, Santa Maria. [S. l.: s. n], 1992. p. 1777-1789.

LINSLEY, C. M.; BAUER, F. C. **Test Your Soil for Acidity**. Illinois: College of Agriculture and Agricultural Experiment Station, 1929. 16 p. (Circular 346).

MANTOVANI, E. C.; LEPLATOIS, M.; INAMASU, R. Y. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p. 1241-1246, 1999.