

FISIOLOGIA DE SEMENTES

INTRODUÇÃO

Julio Marcos Filho
Tecnologia de Sementes
Depto. Produção Vegetal – USP/ESALQ

SEMENTE

- Estrutura biológica complexa, contendo uma planta em miniatura acompanhada por substâncias de reserva e protegida por uma cobertura (tegumento e/ou partes do fruto)
- Desempenha importante função biológica (sobrevivência da espécie) + usos diretos e indiretos + importância para a produtividade agrícola

IMPORTÂNCIA DAS SEMENTES

MEIO DE SOBREVIVÊNCIA PARA A ESPÉCIE

Resistem a condições de ambiente, fatais à planta-mãe e a materiais de propagação

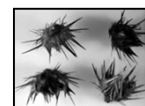
Vida embrionária pode ser quase que completamente suspensa e, posteriormente, reiniciada para novo desenvolvimento

MEIO DE SOBREVIVÊNCIA PARA A ESPÉCIE

- Tolerância à dessecação (variável com a espécie)

- Dormência { distribuição da germinação no tempo
- Dispersão { distribuição da germinação no espaço: vários mecanismos

GARANTIA DA
CONTINUIDADE DA
SUCESSÃO DE GERAÇÕES



IMPORTÂNCIA DAS SEMENTES

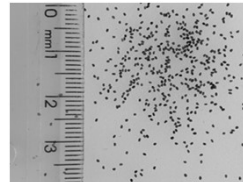
MEIO DE SOBREVIVÊNCIA PARA A ESPÉCIE

Semente: responsável pela sobrevivência da espécie e continuidade (sucessão) de gerações de plantas de multiplicação sexuada

Quanto maior é o grau de domesticação, menor é a eficiência na preservação da espécie

Exemplos típicos: sementes de plantas silvestres e de milho

Sementes apresentam grande diversidade de formas e de tamanhos



Sementes de tabaco
Tabaco: cerca de
16.000 sementes / g



Sementes de orquídea
milionésimos de g

Sementes apresentam grande diversidade de formas e de tamanhos



Semente de Coco-do-Mar (*double coconut palm*): pode atingir 25 kg

MEIO DE SOBREVIVÊNCIA PARA A ESPÉCIE

Tamanho de sementes

Menores	Maiores
Plantas produzem maior número de sementes	Plantas produzem número relativamente pequeno de sementes
Fácil dispersão pelo vento, disseminação ampla	Dispersão limitada, apenas com auxílio externo (homem, animais)
Germinam quando situadas próximo à superfície do solo	Podem ser enterradas no solo e germinar sob maiores profundidades
Podem ser consumidas por organismos no solo (insetos, pequenos animais)	Mais protegidas do ataque de organismos predadores

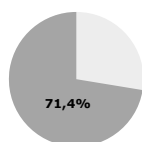
ALIMENTOS E PRODUTOS ESSENCIAIS

- Quinze dos vinte e cinco alimentos mais importantes de origem animal e vegetal correspondem a culturas produtoras de grãos (sementes)
- Três (milho, arroz e trigo) dos dez produtos alimentícios mais importantes são cereais e representam aproximadamente 75% do suprimento mundial de alimentos

PRODUTOS ESSENCIAIS

Matérias primas para a produção de vários artigos essenciais ou materiais de multiplicação de plantas importantes para a produção de óleos comestíveis e industriais, roupas, bebidas, substâncias medicinais, madeira, papel, bioplástico, sabões, detergentes, vernizes, combustíveis, bijuterias e outros ornamentos, além de vários outros produtos

MULTIPLICAÇÃO DE PLANTAS



Reino vegetal: $\pm$ 350.000 espécies descritas

$\pm$ 250.000 multiplicadas por sementes (reprodução)

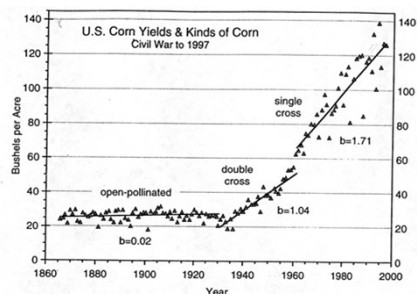
MELHORAMENTO DE PLANTAS

Semente $\rightarrow$ centro das alterações planejadas pelos melhoristas

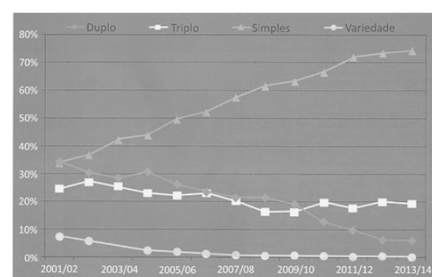
Semente $\rightarrow$ veículo dos avanços da genética

Semente $\rightarrow$ mecanismo mais rápido e eficiente para difusão de novos cultivares

Conservação de germoplasmas: manutenção de genes para intercâmbio



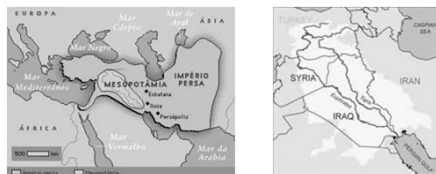
Produção de milho (bu/acre) nos EUA, destacando-se os períodos dominados por cultivares de polinização aberta, híbridos duplos e híbridos simples (Crow, 1998)



Evolução da utilização de sementes de milho no Brasil, em função do tipo de cultivar (Emygdio, 2015)

A SEMENTE COMO INSUMO AGRÍCOLA

Início da Agricultura na região dos rios Tigre e Eufrates, aproximadamente 12.000 A.C.



Na época, descoberta de progenitores selvagens de trigo, cevada, linho, grão de bico, ervilha, lentilha, ervilhaca

A SEMENTE COMO INSUMO AGRÍCOLA

Centros de origem de espécies cultivadas:

- **Arroz:** Extremo Oriente/China (8 a 12.000 A.C.)
- **Trigo:** Oriente Médio (Irã, Iraque, Turquia): 8 a 12.000 A.C.
- **Milho:** Américas Central e do Sul, 4 a 8.000 A.C.
- **Café:** África Ocidental/Etiópia, $\approx$ 4.000 A.C.
- **Algodão:** Extremo Oriente (Índia), África Central: 4 a 8.000 A.C.
- **Soja:** China (4 a 8.000 A.C.)

A SEMENTE COMO INSUMO AGRÍCOLA

ALGUMAS CONSEQUÊNCIAS DA DOMESTICAÇÃO:

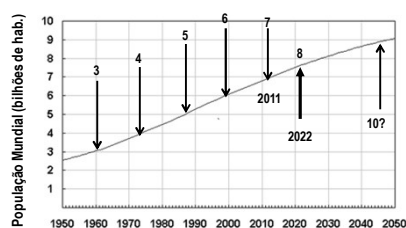
- Adaptação a regiões distantes do centro de origem
- Perda da eficiência de mecanismos de dispersão (degrana, deiscência)
- Redução do ciclo de várias espécies. Exemplo: arroz perene para anual
- Aumento no tamanho das inflorescências, das sementes, número de flores/planta

A SEMENTE COMO INSUMO AGRÍCOLA

ALGUMAS CONSEQUÊNCIAS DA DOMESTICAÇÃO:

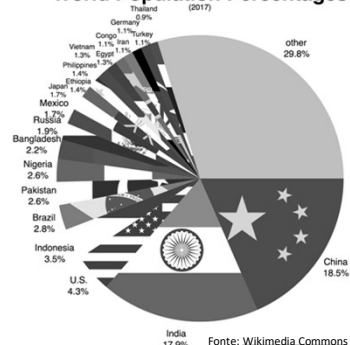
- Aprimoramento dos métodos de melhoramento
- Redução de exigências climáticas (Ex: fotoperíodo)
- Redução da rusticidade
- Redução ou perda completa da dormência
- Melhoria de inúmeras características de interesse agrônomo, da indústria e do consumidor

A SEMENTE COMO INSUMO AGRÍCOLA



Evolução da população mundial a partir de 1950
 Fonte: U.S. Census Bureau – www.census.gov (2021)

World Population Percentages



Fonte: Wikimedia Commons

A SEMENTE COMO INSUMO AGRÍCOLA**DESAFIO:**

AUMENTAR A PRODUÇÃO, PRESERVANDO, AO MÁXIMO, RECURSOS NATURAIS, SEM ACRÉSCIMOS SIGNIFICATIVOS DO CUSTO DE PRODUÇÃO.

PODE HAVER LIMITAÇÕES DE ESPAÇO E NECESSIDADE DE CRIAR OU APRIMORAR MECANISMOS DE TOLERÂNCIA A ESTRESSES AMBIENTAIS, CONSIDERADOS CRESCENTES.

Brasil como produtor mundial (em 2020)

ESPÉCIE	PRODUÇÃO (1.000 t)	
	MUNDIAL	BRASIL
ALGODÃO	82.590	4.371 (5,2%)
ARROZ	755.473	11.183 (1,5%)
CAFÉ VERDE	10.035	2.859 (28,5%)
FEIJÃO	28.902	3.222 (11,1%)
MILHO	1.148.107	102.586 (8,9%)
SOJA	362.947	135.861 (37,4%)
TRIGO	765.769	5.604 (0,7%)

Fontes: F.A.O. e CONAB (2021)

Brasil como produtor mundial (em 2020)

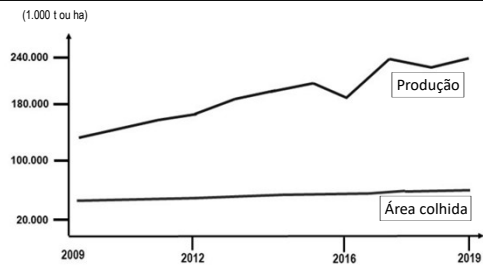
ESPÉCIE	PRODUTIVIDADE (kg/ha)	
	MUNDIAL	BRASIL
ALGODÃO	2.137	4.329
ARROZ	4.661	6.594
CAFÉ VERDE	902	1.905
FEIJÃO	874	1.530
MILHO	5.823	5.584
SOJA	2.840	3.517
TRIGO	3.546	2.592

Fontes: F.A.O. e CONAB (2021)

Cultura	Produtiv. Brasileira (kg/ha)	Produtiv. Estado (kg/ha)
Algodão	4.329	4.683 (BA)
Arroz	6.594	8.180 (RS)
Feijão	1.530	3.000 (DF)
Milho	5.584	10.017 (PR)
Soja	3.517	3.900 (DF)
Trigo	2.592	5.667 (BA)

Produtividade brasileira e no estado mais destacado, em seis culturas de expressão econômica, em 2020.

Fontes: CONAB; FAO



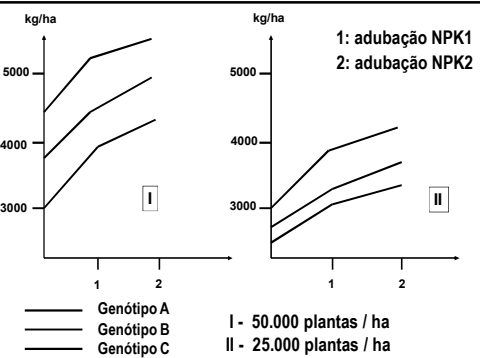
Evolução da produção (1.000 t) e área colhida (1.000 ha) de cereais, leguminosas e oleaginosas no Brasil, entre 2009 e 2019.
Fonte: IBGE (2021)

Cultura	Médias (kg/ha)			
	1991/1993	2008/2010	2016	2020
Algodão	988	3.709 (3,75)	4.067 (4,11)	4.329 (4,38)
Arroz	2.270	4.250 (1,87)	6.223 (2,74)	6.594 (2,90)
Feijão	524	882 (1,68)	1.225 (2,33)	1.530 (2,92)
Milho	2.111	3.960 (1,88)	4.481 (2,12)	5.773 (2,73)
Soja	1 919	2.790 (1,45)	3.364 (1,75)	3.390 (1,77)
Trigo	1.352	2.109 (1,56)	3.155 (2,33)	2.629 (1,94)

Variação da produtividade de algumas das principais culturas brasileiras entre 1991 e 2020

Fontes: CONAB; FAO

**Produção / área = cultivar + técnica cultural
+ insumos**



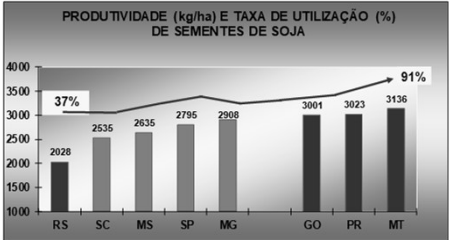
SEMENTE

- Melhoramento genético + organização da produção de sementes: requisitos básicos para a agricultura produtiva

Cultura	2005	2007	2009	2010	2012	2016	2018	2020
Algodão	49	44	44	44	55	57	57	65
Arroz	43	45	47	42	51	56	56	62
Feijão	13	13	11	11	18	20	20	18
Milho	85	83	84	84	91	92	92	91
Soja	50	54	64	64	67	71	71	67
Trigo	71	66	72	72	71	75	75	75

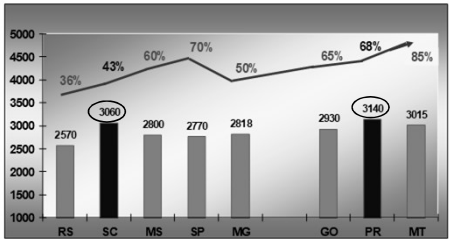
Taxas de utilização de sementes selecionadas (comerciais) de algumas culturas de expressão econômica, no Brasil (ABRASEM)

Produção/área e taxas de utilização de sementes de soja, safra 2007/08



Fonte: ABRASEM e CONAB (2008), adaptado por Pádúa (2008)
França Neto, 2009

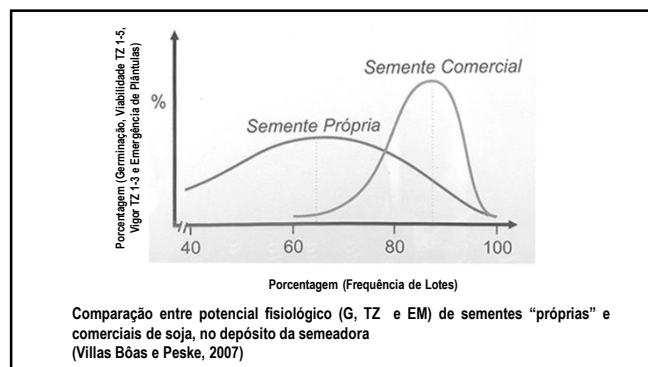
Produção/área e taxas de utilização de sementes de soja, safra 2009/10



Fonte: ABRASEM e CONAB. Baseado em Pádúa (2008)

ESTADO	PRODUTIVIDADE (kg/ha)	USO DE SEMENTES (%)
Santa Catarina	8.152	85
Rio Grande do Sul	7.500	93
Mato Grosso	6.223	93
Paraná	6.115	95
São Paulo	5.705	95
M. Grosso do Sul	5.521	92
Goiás	4.228	92
BRASIL	4.481	92

Dados de produção total, produtividade e taxa de uso de sementes selecionadas de milho nos principais estados produtores, em 2016
Fontes: CONAB, ABRASEM



Tratamentos	Germin. (%)		Envelh. acelerado (%)		TZ 1 - 3 (%)	
	Inic.	6 meses	Inic.	6 meses	Inic.	6 meses
Semente	89	90	92	90	95	87
Grão 1	84	75	75	57	74	58
Grão 2	86	71	71	58	76	61
Grão 3	89	75	71	58	73	66
Grão 4	88	76	70	60	77	62

Germinação e vigor de sementes de soja obtidas sob condições que simularam a produção sob certificação e de "grãos salvos" (Tozzo e Peske, 2007)

Semente: material colhido com 16,3% de água, secado (38°C a 40°C) até atingir 12,5% de água, beneficiado e armazenado em depósito; **Grão 1:** material colhido com 14,7% de água, submetido a pré-limpeza e armazenado em depósito; **Grão 2:** material colhido com 14,7% de água, não beneficiado e armazenado em depósito; **Grão 3:** material colhido com 12,3% de água, submetido a pré-limpeza e armazenado em depósito; **Grão 4:** material colhido com 12,3% de água, não beneficiado e armazenado em depósito

A agricultura bem sucedida jamais deixará de depender da utilização de sementes de alta qualidade, por maiores que sejam os avanços da Biotecnologia

O desenvolvimento de procedimentos eficientes para a produção, processamento e avaliação da qualidade das sementes somente pode ser concretizado quando estiver apoiado em conhecimento suficiente dos processos vitais das sementes, dos fatores que os afetam e de suas relações com o desempenho após a semeadura e durante o armazenamento

FISIOLOGIA DE SEMENTES

Estudo dos processos biológicos das sementes, com relação às suas funções vitais (maturação, germinação, dormência, deterioração, vigor) e desempenho sob ampla diversidade de condições de ambiente (planta-mãe, solo, processamento, armazém)

Atividades do Fisiologista de Sementes

Atividades do Fisiologista de Sementes

- Trabalho conjunto com o melhorista (seleção de materiais, diferenças no potencial fisiológico, características específicas como tolerância a injúrias, sanidade, potencial de armazenamento, características que favorecem a colheita mecanizada, ...)
- Assessoramento durante a produção de sementes (técnica cultural adequada – época de semeadura, população, região de produção, fitossanidade, momento e método de colheita, aplicação de defensivos e dessecantes...)

Atividades do Fisiologista de Sementes

- Assessoramento do beneficiamento (sequência de operações, separação de materiais com menor potencial fisiológico, linhas de fluxo, transportadores, orientação da classificação), considerando os princípios básicos de separação e os recursos disponíveis na UBS
- Assessoramento da secagem e armazenamento (escolha do método, temperatura de secagem, contínua ou intermitente, injúrias mecânicas e térmicas, escolha do ambiente, diferenças entre espécies e cultivares, ...)

Atividades do Fisiologista de Sementes

- Avaliação da conveniência, gerenciamento e verificação da eficiência de tratamento químico (fungicidas, inseticidas, biorreguladores, dessecantes, condicionamento), técnicas de cobertura, aplicação de micronutrientes (necessidade e efeitos), ...
- Planejamento e gerenciamento de programas de controle de qualidade (parâmetros e procedimentos), diagnose e proposta de soluções

A EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO

Primeiro contato homem / fisiologia de sementes:
estabelecimento da Agricultura

Euforia x consequências imediatas

Cultura egípcia: sementes → símbolo do recomeço,
do retorno à vida após a morte

Crenças dos antigos: consumo de romã,
sementes de salsa

Evenari (1980, 1981)

- **Teofrasto (IV A.C.):** pai da Fisiologia de Sementes (381-287 A.C.)
 - Estudos sobre transferência de matéria seca planta / semente
 - Fatores que afetam a germinação
 - Coordenação de estudos sobre dormência, armazenamento, pré-embebição para a germinação, relações maturação/germinação
- Pequena evolução pós-Teofrasto

Evenari (1980, 1981)

- Longo período sem avanço documentado do conhecimento
- Documentação sistemática apenas após o século XVII
 - Problemas de comunicação
 - Guerras
 - Perdas de documentos valiosos
 - Influência da Igreja
 - Influência da Política

PROCESSO OU CARACTERÍSTICA	TEOFRASTO	PLÍNIO
- Armazenamento de reservas na semente	---	---
- Efeitos benéficos da secagem	---	---
- Efeitos do ambiente durante a maturação	---	---
- Pericarpo e tegumento das sementes	---	---
- Impermeabilidade do tegumento em leguminosas	---	---
- Aspectos da dispersão	---	---
- Efeitos da água, temperatura, idade na germinação	---	---
- Comportamento de diferentes espécies quanto à germinação	---	---
- Diferenças na longevidade	---	---
- Velocidade de germinação	---	---
- Embebição (condicionamento?) de sementes	---	---
- Tamanho de sementes x produtividade	---	---
- Zoocoria (passagem de sementes pelo trato intestinal)	---	---
- Peletização	---	---
- Tratamento contra organismos nocivos	---	---

Evenari (1980, 1981)

- **Século XVII:**
 - 1654:** longevidade de sementes de floríferas (Laurenberg)
- **Final Século XVII:**
 - Desenvolvimento de lentes de aumento
 - Construção do primeiro microscópio simples
- **Século XVIII:**
 - 1754:** relações teor de água x temperatura x potencial de armazenamento (du Monceau)

- **Século XIX:** primeiras pesquisas sobre polinização, formação do tubo polínico, fertilização, embriogênese e formação do endosperma

- Sachs (1859/1862): Pai da Moderna Fisiologia de Sementes: pesquisas sobre as relações entre temperatura e germinação, temperaturas cardiais, acúmulo de matéria seca durante a maturação e mobilização durante a germinação, período de latência pós-maturidade, eventos bioquímicos característicos da germinação

- Nobbe (1860): início da Análise de Sementes e primeiro livro sobre o assunto

Evenari (1980, 1981)

- **Século XX:**

- Flint e Mc Allister (1935 / 1937): relações entre radiações luminosas e germinação

- Borthwick e equipe (1952): fotorreversibilidade do fitocromo e influência da luz na germinação de sementes de alface

- Revisões sobre deterioração de sementes: Crocker, em 1938 e 1948

PROCESSO OU CARACTERÍSTICA	AUTOR
Descrição do óvulo	Treviranus, 1815
Embriogênese	Amici, 1847; Hofmeister, 1849
Dupla fertilização	Nawashin, 1898
Efeitos da luz sobre a germinação	Ingenhousz, 1779; Caspary, 1860
Espectro: efeitos do tipo de radiação	Cieslar, 1883; Flint e McAllister, 1935
Impermeabilidade do tegumento	Nobbe, 1876
Tamanho da semente x vigor	Lehman, 1871
Temperatura x germinação	Sachs, 1860
Aleurona e fisiologia do escutelo	Brown, 1831.; Sachs, 1862; Ebeling, 1885; Haberlandt, 1890
Mobilização do endosperma	Brown e Morris, 1890
Bioquímica da mobilização de proteínas	Sachs, 1897
Bioquímica da mobilização de amido e lipídios	De Vries, 1877
Inibidores da germinação	Wiesner, 1894
Longevidade	Haberlandt, 1890
Proteínas da semente	Osborne, 1924

Marco histórico em 1950:

despertar da atenção para o vigor de sementes

Anos 1960 e 1970:

- Vigor
- Maturação
- Germinação
- Dormência

Anos 1980 e 1990:

- Condicionamento fisiológico
- Efeitos de estresses ambientais
- Tolerância à dessecação
- Bioquímica da germinação e deterioração
- Sementes recalcitrantes
- Vigor de sementes

Atualmente

- Desempenho de sementes: diferentes aspectos
- Análise de imagens de sementes e de plântulas
- Técnicas de Biologia Molecular
- Conservação de germoplasmas
- Expressão de genes: genômica, proteômica, transcriptômica, metabolômica, microarranjos

EXPRESSÃO (MANIFESTAÇÃO) DE GENES

Manifestação fenotípica de uma característica codificada por um ou mais genes

Importante: identificar genes reguladores de diferentes processos fisiológicos, sequenciar e conhecer a função de cada gene

EXPRESSÃO DE GENES - Exemplos:

- etapas e peculiaridades do desenvolvimento e germinação das sementes
- mecanismo genético do controle do tamanho da semente
- controle da apomixia
- controle da dormência: indução e superação
- tolerância a estresses e à dessecação
- manifestação do vigor
- termotolerância e longevidade
- otimização de tratamentos condicionadores
- codificação da atuação de enzimas

Análise de Imagens

Primeiras referências: Simak e Gustafson (1953) com análise de raios X

Continuidade: anos 1980, com inclusão desse teste nas R.A.S. da ISTA, para separar sementes bem formadas, “vazias” e danificadas por insetos

Recursos incluem raios X, tomografia computadorizada, análise digital de imagens, espectrofotometria, ressonância magnética nuclear, fotoacústica de infravermelho, microcalorimetria, tecnologia laser, etc

Análise de Imagens

Principais formas de utilização

Identificação de sementes
 Identificação de sintomas de distúrbios
 Determinação de características físicas de sementes
 Relações entre características físicas e desempenho
 Caracterização de processos, como maturação, germinação
 Estudos sobre estrutura e morfologia, incluindo identificação de anormalidades de sementes
 Sensibilidade das sementes à dessecação
 Detecção de injúrias mecânicas, durante a secagem, ...
 Avaliação do potencial fisiológico

Pesquisa no Brasil

- Oliveira e França Neto (1998):
Não há registros de publicações sobre sementes no Brasil, durante o século XIX

Pesquisa no Brasil

- Primeiro artigo:
Min. Agric. (1911) → “Plantas e sementes: informações práticas sobre a cultura do milho, cujo nome na sciencia é *Zea mays*”
- Primeira metade do século XX:
Esforços individuais de poucos pesquisadores
- Meados dos anos 1960:
Evolução com programas no exterior (Mississippi)

Relação dos Seminários e dos Congressos Brasileiros de Sementes ocorridos no Brasil entre 1967 e 2017

EVENTO	ANO	LOCAL	Nº TRABALHOS
Seminários Brasileiros de Sementes			
I SBS	1967	Viçosa, MG	21
II SBS	1968	Pelotas, RS	49
III SBS	1970	Recife, PE	47
IV SBS	1973	Fortaleza, CE	31
Subtotal	--	--	148
França Neto, 2009			

Congressos Brasileiros de Sementes (ABRATES)

I CBS	1979	Curitiba, PR	119
II CBS	1981	Recife, PE	120
III CBS	1983	Campinas, SP	154
IV CBS	1985	Brasília, DF	214
V CBS	1987	Gramado, RS	191
VI CBS	1989	Brasília, DF	142
VII CBS	1991	Campo Grande, MS	203
VIII CBS	1993	Foz do Iguaçu, PR	286
IX CBS	1995	Florianópolis, SC	368
X CBS	1997	Foz do Iguaçu, PR	454
XI CBS	1999	Foz do Iguaçu, PR	368
XII CBS	2001	Curitiba, PR	558
XIII CBS	2003	Gramado, RS	816
XIV CBS	2005	Foz do Iguaçu, PR	684
XV CBS	2007	Foz do Iguaçu, PR	316 ^(*)
XVI CBS	2009	Curitiba, PR	978
XVII CBS	2011	Natal, RN	1.657
XVIII CBS	2013	Florianópolis, SC	1.714
XIX CBS	2015	Foz do Iguaçu, PR	1.300
XX CBS	2017	Foz do Iguaçu, PR	833
TOTAL	--	--	11.623

(*) Inclui Simpósio da ISTA

Adaptado de França-Neto, 2009

Pesquisa no Brasil

- Participação brasileira em Congressos da ISTA, a partir de 1992:

Argentina (1992) → 12%
 Dinamarca (1995) → 12%
 África do Sul (1998) → 16%
 França (2001) → 25% (2º)
 Hungria (2004) → 22% (1º)
 Foz do Iguaçu (2007) → 42,8% (1º)
 Alemanha (2010) → 31% (1º)
 Turquia (2013) → 22,4% (1º)
 Estônia (2016) → 18,0 % (1º)

Pesquisa Internacional

- Temas predominantes, no momento:

Germinação, Maturação, Vigor, Condicionamento Fisiológico, Recalcitrantes, Tolerância à Dessecação, Aplicações da Biologia Molecular, Análise de Imagens, Conservação de Recursos Genéticos, Mecanismos de Expressão Gênica, Controle Biológico de Patógenos, Relações entre Proteínas e Processos Biológicos, Produção de Sementes Orgânicas

- Espécies: grandes culturas e, em menor escala, hortaliças, forrageiras e florestais
Carência: floríferas, frutíferas, nativas, medicinais

CONCLUSÃO

A pesquisa com sementes tem percorrido longo caminho e têm ocorrido acúmulo muito significativo do conhecimento com o decorrer do tempo

Embora a pesquisa acadêmica seja fundamental, os estudos devem focalizar as necessidades da indústria de sementes, dos tecnologistas de sementes e produtores rurais para assegurar que a pesquisa continue dinâmica e possa contribuir para a solução de problemas fundamentais