



Congresso Nacional de Milho e Sorgo

de 25 a 29/Set/2016
Bento Gonçalves - RS

Livro de PALESTRAS



XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO

“Milho e Sorgo: inovações,
mercados e segurança alimentar”

Livro de Palestras

Milho e Sorgo: Inovações, Mercado e Segurança Alimentar

Editora Técnica

Maria Cristina Dias Paes

Sete Lagoas, MG
Associação Brasileira de Milho e Sorgo
2016

Milho e sorgo: inovações, mercado e segurança alimentar /
editora técnica Maria Cristina Dias Paes. – Sete Lagoas: ABMS, 2016.

Modo de acesso: <<http://www.abms.org.br/cnms2016/palestras>>.

ISBN: 978-85-63892-04-1

1. Milho. 2. *Zea mays*. 3. Sorgo. 4. *Sorghum bicolor*. I. Paes, Maria Cristina Dias. II. Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 31., 2016, Bento Gonçalves, RS.

CDD 633.15 (21. ed.)

Autores

Amanda Posselt Martins

Engenheira agrônoma, doutora em Ciência do Solo,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto
Alegre, RS

Ana Paula Schneid Afonso da Rosa

Engenheira agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora
da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

Celso Omoto

Engenheiro agrônomo, Ph.D. em Entomologia, professor no
Departamento de Entomologia e Acarologia, Universidade
Federal de São Paulo (ESALQ/USP), Piracicaba, SP

Daniel Bernardi

Engenheiro agrônomo, doutor em Entomologia, pós-
doutorando em Entomologia na Embrapa Clima Temperado,
Pelotas, RS

Dirceu Luis Zanotto

Biólogo, mestre em Produção Animal, pesquisador na Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

Everardo Chartuni Mantovani

Engenheiro agrícola, doutor em Agronomia, professor titular no departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG

Édila Vilela de Resende Von Pinho

Engenheira agrônoma, doutora em Agronomia/Fitotecnia, professora titular na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG

Enoque Pereira da Silva

Engenheiro agrícola e ambiental, doutor em Engenharia Hidráulica, professor na Faculdade do Noroeste de Minas, Paracatu, MG

Fabiano Alvim Barbosa

Médico veterinário, doutor em Produção Animal, professor adjunto na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG

Fabício Peres

Administrador de empresas, mestre em Business Economics e Governança Ambiental Internacional, líder em Produtividade Sustentável para América Latina na Syngenta; São Paulo; SP

Fernando Panison

Engenheiro agrônomo, mestre em Produção Vegetal, estudante

do curso de doutorado em Produção Vegetal da UDESC, Lages, SC

Geraldo Helber Batista Maia Filho

Médico veterinário, doutor em Produção Animal, assistente técnico comercial na DSM Produtos Nutricionais Brasil SA, Montes Claros, MG

Gérson Neudi Scheuermann

Engenheiro agrônomo, Ph.D. em Poultry Science, pesquisador na Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

Glauco Luciano Araújo

Engenheiro agrônomo, mestre em Engenharia Agrícola, pós-graduando na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG

Homero Bergamaschi

Engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia/Agrometeorologia, professor titular na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS

Ibanor Anghinoni

Engenheiro agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor titular no Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS

Isabella Cristina de Faria Maciel

Médica veterinária, mestre em Zootecnia, doutoranda em Produção Animal, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG

Jorge Vitor Ludke

Engenheiro agrônomo, doutor em Produção Animal, pesquisador na Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

José Boaventura da Rosa Franco

Engenheiro agrônomo, consultor técnico em Pós-Colheita de Grãos, Estrela, RS

José Evandro Muller

Engenheiro agrônomo, coordenador de Milho-pipoca na General Mills Brasil Alimentos Ltda., Nova Prata, RS

Juliana Moreira Andrade

Zootecnista, doutoranda em Produção Animal, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG

Lucieli Santini Leolato

Engenheira agrônoma, mestre em Produção Vegetal, estudante do curso de doutorado em Produção Vegetal na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages, SC

Luis Sangoi

Engenheiro agrônomo, Ph.D. em Fisiologia e Manejo de Plantas de Lavoura, professor titular no Departamento de Agronomia da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages, SC

Luiz Antonio Yanes Bernardo Júnior

Engenheiro agrônomo, mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, doutorando em Genética e Melhoramento de Plantas da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG

Luiz Paulo Miranda Pires

Engenheiro agrônomo, mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, doutorando em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG

Marcos Antonio Machado

Engenheiro agrônomo, mestre em Fisiologia Vegetal e Doutor em Agronomia, pesquisador no Centro de Citricultura Sylvio Moreira do Instituto Agrônômico, Cordeirópolis, SP

Mauricio Pires Machado Barbosa

Engenheiro agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Diretor de Pesquisa e Melhoramento América do Sul e Ásia, Nexsteppe Sementes do Brasil Ltda, Rio Verde, GO

Oderlei Bernardi

Entomologista, doutor em Entomologia, professor no Departamento de Defesa Fitossanitária, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS

Patrícia Monteiro Costa

Médica veterinária, mestranda em Produção Animal, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG

Paulo Cesar de Faccio Carvalho

Zootecnista, doutor em Zootecnia, professor titular no Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS

Paulo Regis Ferreira da Silva

Engenheiro agrônomo, Ph.D. em Agronomia, professor no Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS

Renato Barbosa Camargos

Engenheiro agrônomo, mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, Doutorando em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG

Renato Jun Horikoshi

Entomologista, mestre em Entomologia Agrícola, pesquisador associado sênior na DuPont Pioneer, Piracicaba, SP

Renzo Garcia Von Pinho

Engenheiro agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, professor titular na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG

Ricardo Ramos Martins

Engenheiro agrônomo, mestre em Engenharia Agrícola, extensionista rural na Emater/RS – Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural, Porto Alegre, RS

Ricardo Trezzi Casa

Engenheiro agrônomo, doutor em Fitopatologia, professor titular do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages, SC

Teresinha Marisa Bertol

Zootecnista, PhD. em Animal Science, pesquisadora na
Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

Apresentação

Apesar da recessão econômica mundial, iniciada em 2008, o agronegócio brasileiro segue em crescimento, garantido pelo avanço na produção das culturas agrícolas, com destaque para o milho. O resultado positivo está associado ao aumento de produtividade e à melhora na qualidade dos produtos, resultado da adoção no campo das tecnologias de produção inovadoras, a exemplo das novas estratégias aplicadas ao manejo das culturas, a introdução da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, a informatização, a automatização e a instrumentação agrícolas, as biotecnologias e a inteligência no uso de informações com foco nos mercados consumidores.

Na safra 2015/2016, foram produzidas 67 milhões de toneladas de milho e um milhão de toneladas de sorgo, contribuindo para continuar promovendo o Brasil à condição de fornecedor no mercado mundial de alimentos, com grande responsabilidade para a segurança alimentar global. Somando-se a isso, as cadeias produtivas brasileiras do milho e o sorgo foram acrescidas nos últimos anos da geração de bioenergia e biocombustíveis a partir de biomassa e de grãos, impactando

a diversificação das matrizes energéticas com ênfase da participação de fontes renováveis. Essa tendência de agregação de valor às commodities é irreversível e, certamente, continuará crescendo em importância.

Grandes desafios existirão nos anos a seguir e o crescimento do agronegócio brasileiro só será garantido se os sistemas de produção de milho e sorgo incorporarem as inovações tecnológicas geradas pela pesquisa científica, considerando que fatores adversos, como as alterações do clima e o comércio globalizado, continuarão afetando a produção e a segurança dos alimentos, a qualidade do ambiente e a vida das populações.

Nessa publicação estão reunidos os conteúdos de palestras apresentadas durante o XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo, visando tornar disponíveis os avanços científicos e tecnológicos apresentados no evento.

A editora

Sumário

Capítulo 1

Influência das Mudanças Climáticas no Rendimento das Culturas 14

Capítulo 2

Características Fisiológicas das Plantas de Milho e Sorgo e suas Interações com o Ambiente 48

Capítulo 3

Construção da Fertilidade do Solo no Sistema de Integração Lavoura Pecuária 87

Capítulo 4

Mercado do Milho-pipoca..... 108

Capítulo 5

Milho e Sorgo na Alimentação de Suínos e Aves..... 126

Capítulo 6

Utilização de Milho e Sorgo na Alimentação de Bovinos em Confinamento 146

Capítulo 7

Avanços na Pesquisa e Tendências de Mercado de Sorgo
Biomassa 176

Capítulo 8

Contribuições da Genética e da Ciência e Tecnologia de
Sementes para Aumento na Produtividade de Grãos de Milho
e Sorgo 194

Capítulo 9

Novas Tecnologias no Melhoramento de Plantas 238

Capítulo 10

Irrigação como Estratégia de Estabilidade do Rendimento de
Milho 259

Capítulo 11

Armazenamento e Qualidade de Grãos de Milho e Sorgo 299

Capítulo 12

Incidência de Doenças Vinculadas aos Sistemas de
Produção 337

Capítulo 13

Manejo Integrado de Pragas no Sistema de Produção de Grãos
de Terras Baixas 351

Capítulo 14

Estratégias de Manejo da Resistência de Insetos para
Eventos de Milho Bt 378

Capítulo 15

Tecnologia e Boas Práticas Formam Base para Agricultura
Sustentável e Desenvolvimento de Comunidades do
Campo 407

Capítulo 1

Influência das Mudanças Climáticas no Rendimento das Culturas

Homero Bergamaschi

Introdução

O tema mudanças climáticas se reveste de grande importância no cenário atual, pelas preocupações que desperta, relacionadas aos possíveis impactos que as alterações do clima poderão ter na produção de alimentos, na qualidade do ambiente e na vida das populações. Estima-se que, em 2050, o mundo terá cerca de 9 bilhões de habitantes, com aumento na demanda de alimentos de 100% a 110% em relação aos dias atuais. Acordos no âmbito das Nações Unidas projetam a erradicação da fome até a metade deste século. Além disso, a produção de alimentos deverá seguir padrões de sustentabilidade, apesar das mudanças nas condições climáticas. Este trabalho contém uma breve explanação dos principais impactos que as mudanças climáticas deverão ter sobre os cultivos agrícolas, tendo por base estudos e relatos que tratam dos processos envolvidos nas alterações do ambiente físico, seus possíveis efeitos sobre os sistemas produtivos e alternativos que visam minimizar esses impactos.

O Efeito Estufa e as Mudanças Climáticas

As condições térmicas da atmosfera, junto à superfície terrestre, dependem do balanço de radiação solar e da movimentação das massas de ar. Por sua vez, o balanço de radiação resulta das múltiplas interações da energia solar com a atmosfera e com a própria superfície terrestre, conforme a **Figura 1**. Ao atravessar a atmosfera, uma parte da radiação é absorvida ou refletida pela atmosfera, mas cerca da metade dela chega à superfície terrestre. O fluxo de energia que chega à superfície se chama *radiação solar global* e tem um espectro de 0,3 a 4 μm de comprimento de onda. Desta, uma parte (em geral, pequena) é refletida e o restante é absorvido pelos sistemas terrestres. Este é o chamado *balanço de ondas curtas*, que acontece somente durante o período diurno. Então, o balanço de ondas curtas (diurno) é positivo, pois o fluxo incidente é muito maior que o fluxo refletido. Mudanças de posição da Terra, em relação ao Sol, determinam a oscilação anual da declinação solar, que promove as variações sazonais da quantidade de radiação incidente, da duração dos dias e do regime térmico.

O balanço de ondas curtas (diurno) promove aquecimento dos sistemas, que passam a emitir energia na forma de ondas longas, denominada *radiação terrestre*, com pico de emissão em torno de 10 μm (**Figura 1**). Uma parte da radiação emitida pela superfície se perde no espaço e outra parte volta à superfície (também em ondas longas) pelos *gases de efeito estufa* (GEE), nuvens e partículas em suspensão. A radiação de ondas longas que retorna à superfície também é chamada contra-radiação. O balanço de ondas longas ocorre nas 24h do dia e é sempre negativo, pois a radiação terrestre é maior que

a contra-radiação. Durante o dia o balanço de ondas longas (negativo) é menor que o balanço de ondas curtas (positivo) e os sistemas acumulam energia. À noite, só ocorre o balanço de ondas longas, que se mantém negativo. Disso tudo, resulta o *saldo de radiação*, que é positivo de dia e negativo à noite, o que implica aquecimento diurno e resfriamento noturno dos ecossistemas, em geral.

O *efeito estufa* é exercido por diversos gases presentes na atmosfera, que absorvem e emitem grande quantidade de energia de ondas longas. Dentre eles, destacam-se o vapor d'água, o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e gases fluorados. Este efeito sempre foi indispensável para a vida na Terra, pois mantém a temperatura dentro de limites adequados, reduzindo o resfriamento noturno, que seria muito maior se não existissem os GEE. Por outro lado, aumentos na concentração de alguns gases de efeito estufa, sobretudo a partir da “revolução industrial” (em particular, do CO_2), vêm causando alterações no regime térmico da atmosfera terrestre, que tendem a se pronunciar na medida em que as emissões de GEE se mantêm elevadas. Dentre essas alterações, o aquecimento global é o mais provável e preocupante, embora outras importantes mudanças climáticas também estejam previstas, segundo os principais centros mundiais pesquisas atmosféricas e a comunidade científica, em geral. Portanto, é importante destacar que o fenômeno das mudanças climáticas está sendo atribuído ao *aumento do efeito estufa*, causado pela elevação dos teores de GEE na atmosfera, considerando que ele sempre existiu, em tempos passados.

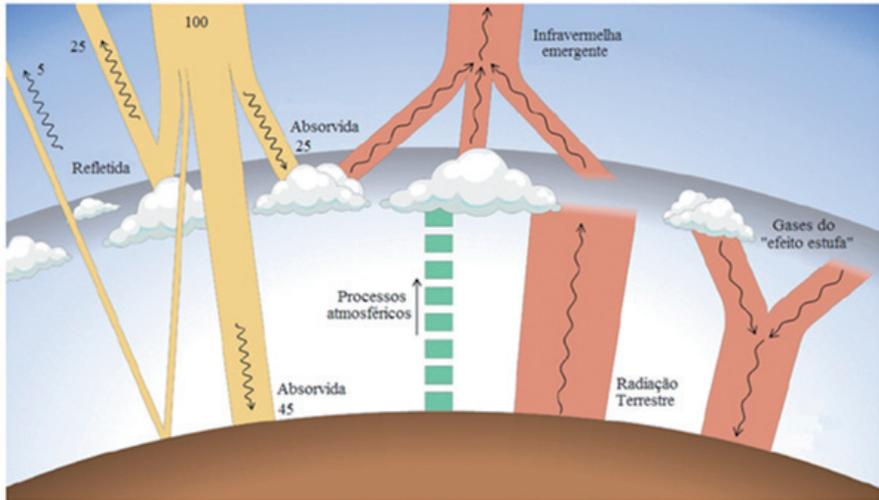


Figura 1. Interação da radiação solar com a atmosfera e superfície terrestre, com valores aproximados das frações de ondas curtas (amarelo) e ondas longas (vermelho). Fonte: Pereira et al. (2006), modificado por Weber (2011).

Os níveis de CO_2 na atmosfera estão sendo monitorados desde 1958, através de medições em Mauna Loa, no Havaí, em experimento implantado por Charles Keeling, falecido em 2005. Segundo essas medições, no final da década de 1950 a concentração de CO_2 era próxima de 310 ppm, mas ultrapassou 400 ppm no início da segunda década do Século XXI.

Segundo o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), é muito provável que o aumento da temperatura média global, nos últimos 50 anos, tenha como principal causa a elevação das concentrações de GEE, a partir da ação antrópica. Essas mudanças vêm afetando o clima, o ciclo hidrológico e eventos climáticos extremos, em âmbito global e de menor escala.

No Brasil, é grande a preocupação com o desmatamento e a expansão da agropecuária, sobretudo na Amazônia, por mudanças no balanço energético, no uso do solo e no emprego das queimadas, que liberam grandes volumes de GEE e aerossóis na atmosfera (BEETS et al., 2011).

Entretanto, persistem divergências quanto ao tamanho dos impactos do aumento no efeito estufa sobre o aquecimento global. Já no Relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) diferentes modelos estimaram cenários diferenciados de temperatura para o futuro, sendo alguns deles mais “otimistas” e outros mais “pessimistas”. Por outro lado, é importante considerar que todos eles convergiram no sentido de que haverá aumentos significativos na temperatura do ar, nas próximas décadas, decorrentes das emissões de GEE.

As divergências persistiram em estudos posteriores, incluindo estimativas específicas para o Brasil, feitas por diferentes modelos globais do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5), como mostra a **Figura 2**. O estudo indicou que é elevada a chance do Brasil atingir um aquecimento de 4 °C, ainda neste século. Há probabilidade de aquecimentos entre 4,5 °C e 6,0 °C até o fim do século, mesmo em cenários mais otimistas. Aquecimentos maiores, de 6 °C ou 7 °C, podem ocorrer após 2100. A continuarem os padrões atuais de emissões, a possibilidade de evitar aquecimento acima de 2 °C se encerraria em menos de 35 anos (NOBRE et al., 2016).

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2012), mudanças na frequência e na gravidade de eventos climáticos extremos, assim como na variabilidade climática, terão consequências significativas para os sistemas naturais e

humanos. Aumentos na frequência de estresses por eventos de calor, secas e inundações são projetadas para o restante deste século. O IPCC (2007) considerou que aumentos na precipitação pluvial são muito prováveis em grandes latitudes, enquanto que reduções são mais prováveis na maioria das regiões tropicais e subtropicais.

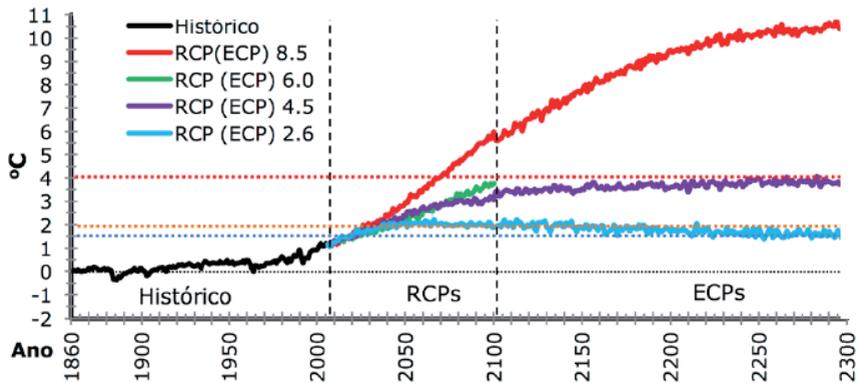


Figura 2. Mudanças na temperatura média anual junto à superfície, para o Brasil, segundo vários modelos. Linhas pontilhadas em azul e laranja indicam a estabilização em 1,5 °C e 2 °C definidos no Acordo de Paris. Linha vermelha é o limite de 4 °C. Fonte: Nobre et al. (2016).

Há muita incerteza quanto às mudanças em extremos climáticos para o final deste século, sendo baixa a confiabilidade nas projeções quanto à direção e à magnitude de eventos extremos (THORNTON et al., 2014), muito embora o IPCC (2012) assinala que esta baixa confiabilidade não significa que tais mudanças sejam improváveis. Da mesma forma, nos limites atuais de entendimento dos processos relativos ao clima de muitas regiões, pode ser que alterações de alto impacto ocorram por

eventos extremos, embora tenham baixa probabilidade de ocorrência. Uma forte tendência de crescimento das perdas globais por extremos climáticos é indicada desde 1980, embora a forma como estes irão ocorrer, no século atual, seja de grande incerteza. Eventos climáticos extremos podem ter impactos consideráveis em setores que têm estreita ligação com o clima, como água, agricultura e segurança alimentar, silvicultura, saúde e turismo, em particular nos países cujas economias dependem mais pesadamente destes setores (IPCC, 2012; THORNTON et al., 2014).

Por coerência com o aumento do efeito estufa sobre o regime térmico, Thornton et al. (2014) concluíram que é muito provável a diminuição no número de dias e noites excepcionalmente frios; é muito provável o aumento do número de dias e noites excepcionalmente quentes; é praticamente certa a diminuição na frequência e magnitude de dias e noites excepcionalmente frios.

Quanto à precipitação pluvial, Thornton et al. (2014) consideraram que aumentos significativos no número de eventos de precipitação intensa são mais prováveis que reduções, em termos de regiões de ocorrência, embora com forte variação regional e sub-regional. Aumentos na frequência de eventos de El Niño e outras causas de variabilidade climáticas possuem média confiabilidade, sendo baixo o nível de confiança nas projeções de mudanças no comportamento do fenômeno ENOS (El Niño - Oscilação Sul) e outras causas de variação das chuvas. A ocorrência de secas tem média confiabilidade, sendo que, em algumas regiões, há tendência de aumento, ao contrário de outras regiões. Há limitadas

evidências para se avaliar mudanças na magnitude e frequência de inundações, em escala regional.

Baethgen (2015) deu grande ênfase à variabilidade climática, em comparação às mudanças de longo prazo. Ele considerou que os sistemas terrestres incluem processos que causam variações climáticas em diferentes escalas diária, mensal ou sazonal, de décadas ou mais, sendo que a magnitude de variação (nessas escalas de tempo) diferem entre regiões do mundo. Ele considerou que, em muitos locais, a variabilidade da precipitação em escalas sazonal ou interanual (de ano para ano) é muito maior que as mudanças em décadas ou de longo prazo. Mesmo assim, a maioria das estratégias de adaptação às mudanças climáticas são direcionadas, muito mais, à variabilidade de longo prazo que, em geral, explicam apenas 10 a 20% do total da variabilidade climática. A grande maioria dos relatórios e artigos sobre mudanças climáticas têm abrangência de escala global, pelas dificuldades descritas anteriormente, embora já existam importantes estudos e projeções em menor escala. Esta é a grande dificuldade atual pois, para fins de aplicações, em tomadas de decisão ou orientações mais específicas, a regionalização (*downscaling*) das projeções de escala global não melhora sua qualidade e pode introduzir erros (BAETHGEN, 2015).

A **Figura 3** demonstra algumas projeções relativas à precipitação pluvial e à temperatura do ar, para a América do Sul, em diferentes escalas de tempo, para o trimestre dezembro-janeiro-fevereiro. Observa-se que, para o Brasil, projeta-se uma redução nas chuvas de verão na área tropical (Norte, Nordeste e Centro-Oeste) e aumento de precipitações nas regiões subtropicais e temperadas (Sul e Sudeste). No

entanto, os modelos projetam aumento da temperatura do ar em todo o território nacional, com maior magnitude nas regiões tropicais do País, e menor aumento nas regiões subtropicais e temperadas (MARENGO et al., 2011). Quanto à precipitação pluvial, essas projeções são coerentes com relatos do IPCC (2007), que consideraram, como mais prováveis, aumentos em maiores latitudes e reduções na maioria das regiões tropicais e subtropicais.

Análises de séries de observação de longo prazo têm sido feitas, no Brasil, no sentido de identificar e quantificar a ocorrência de mudanças nos padrões climáticos, em escala regional. Portanto, ao invés de projeções futuras, esses trabalhos buscaram avaliar e mensurar possíveis mudanças que já estariam ocorrendo no nosso clima regional. Esses estudos têm encontrado limitações, em particular devido à curta duração da maioria das séries históricas e, em muitos casos, por problemas na qualidade dos dados para fins de avaliações de longo prazo. Em geral, tem havido coerência entre os resultados obtidos em escala regional e os pressupostos das tendências globais de mudanças climáticas, em particular demonstrando um consistente aumento nas temperaturas mínimas, ou seja, no regime térmico noturno. Isto demonstra que os fenômenos de grande escala (em nível global) têm grande influências nas variações climáticas que se verificam na escala regional. Alguns desses importantes estudos são relatados a seguir.

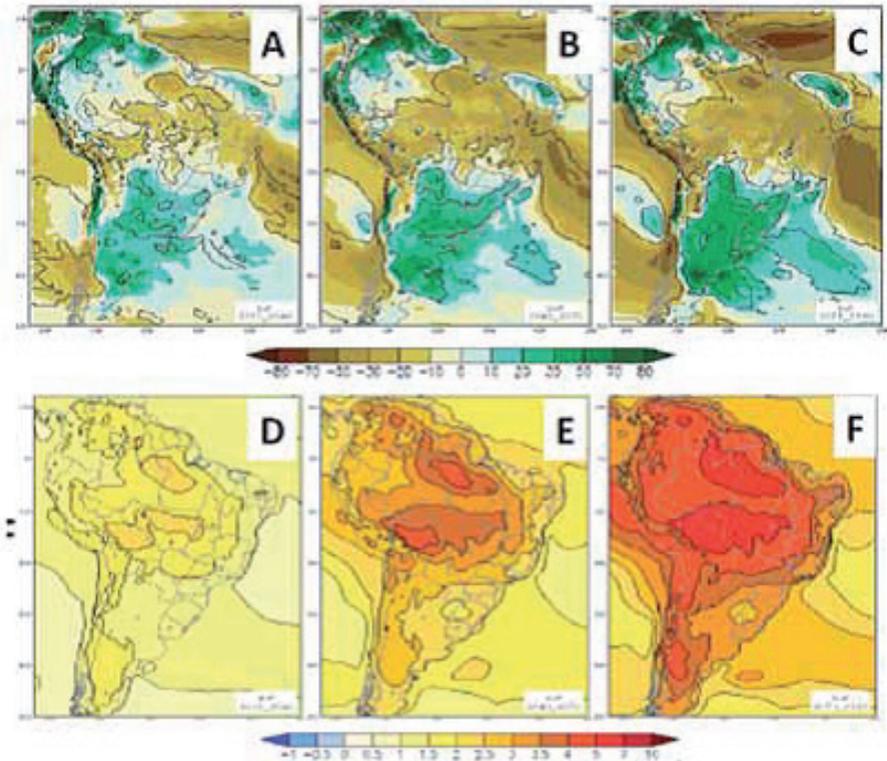


Figura 3. Mudanças de precipitação pluvial (a-c, %) e temperatura do ar (d-f, °C) na América do Sul, para dezembro-janeiro-fevereiro de 2010-2040 (coluna 1), 2041-2070 (coluna 2) e 2071-2100 (coluna 3), comparando a 1961-1990, pela regionalização (*downscaling*) do modelo HadCM3, com o modelo regional Eta-CPTEC na resolução de 40 km (MARENGO et al., 2011).

Utilizando uma série de dados de 1948 a 2004, do Rio Grande do Sul, Marques et al. (2005) verificaram aumentos da temperatura mínima que variam de 0,8 °C a valores máximos de 1,9 °C, 1,9 °C, 1,7 °C, e 1,9 °C para dezembro, janeiro, fevereiro e março, respectivamente. Steinmetz et al. (2005)

avaliaram a série histórica de 1893 a 2004, de Pelotas, RS, que é uma das mais antigas do País. Este estudo concluiu que a temperatura mínima média anual aumentou no período, sendo que o maior incremento ocorreu entre 1955 e 2004, com 1,44 °C. Para os meses de verão, houve aumentos ainda maiores: 2,68 °C, 1,87 °C, 1,82 °C e 1,63 °C para dezembro, janeiro, fevereiro e março, respectivamente.

Com dados mensais de temperatura mínima do ar de 18 estações meteorológicas, de 1936 a 2000, e dados diários de 10 estações, de 1945 a 2005, Berlato e Althaus (2010) verificaram aumentos na temperatura mínima para todo o Rio Grande do Sul, tanto no ano como nas quatro estações (**Figura 4**). Em 65 anos, o aumento linear foi de 1,3 °C. O verão foi a estação com maior aumento (1,8 °C) e o inverno foi a que teve o menor incremento (0,5 °C).

Os autores verificaram, também, que o maior aquecimento se deu nas últimas três décadas do Século XX. Analisando dados de 90 anos (1918 a 2007) de 10 locais do Rio Grande do Sul, João (2009) verificou tendências positivas de aumento nas temperaturas mínimas do ar, enquanto que as temperaturas máximas apresentaram tendências negativas, exceto no mês de agosto.

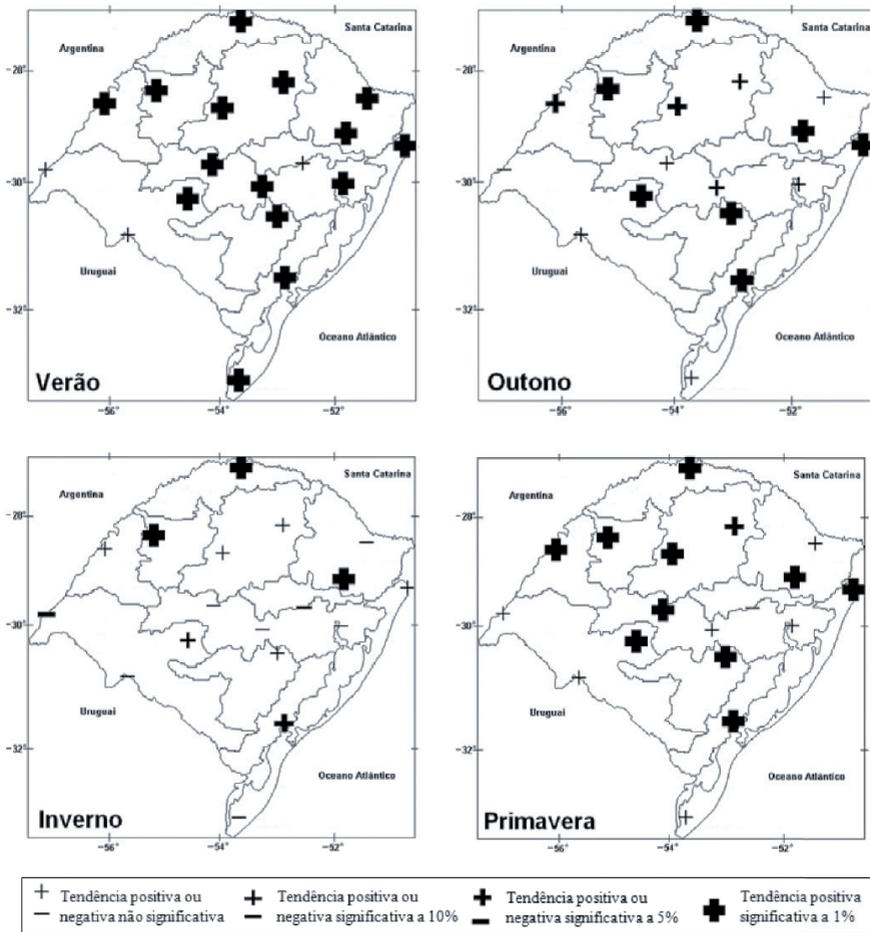


Figura 4. Tendência linear para desvios da temperatura mínima do (°C) no Rio Grande do Sul, de 1936 a 2000, em relação às normais climatológicas 1961-1990 (BERLATO; ALTHAUS, 2010).

Numa ampla análise do período 1950-2009, para 14 locais do Rio Grande do Sul, Cordeiro (2010) observou coerência entre as tendências climáticas globais e regionais. A temperatura mínima do ar foi, destacadamente, o elemento que mais variou.

Ela aumentou em quase todo o Estado, sobretudo no período de primavera-verão-outono, tendo menor aumento no inverno. Estas constatações concordam com os resultados obtidos por Marques et al. (2005), Steinmetz et al. (2005) e Berlatto e Althaus (2010). A temperatura máxima do ar aumentou em algumas regiões, mas quase não teve tendência de variação na maioria delas. A temperatura média do ar manteve tendências semelhantes às variações das temperaturas mínimas, com aumentos no período de primavera-verão-outono, à exceção do nordeste e sudoeste do Estado. No inverno, ela teve tendência de aumentos menores e mais irregulares entre regiões. A precipitação pluvial teve aumento no outono e na primavera, em quase todo o Estado. No verão, ela aumentou no sul do Estado, mas no inverno quase não teve tendência de variação. Houve um leve declínio na radiação solar global, no centro do Estado. Assim, com aumentos de precipitação pluvial e alguma redução da radiação solar (portanto, da demanda evaporativa atmosférica), verificou-se tendência de redução na ocorrência de déficit hídrico, na maioria das regiões do Estado.

Embora a grande importância dessas evidências, no sentido de projetar futuros cenários em nível regional, as análises das séries históricas demonstraram que a variabilidade de curto prazo (entre anos) tem sido muito maior que as mudanças de longo prazo, o que deverá se manter nas décadas futuras. Este é um aspecto fundamental que transparece nas análises de Berlatto e Althaus (2010) e Cordeiro (2010). No mesmo sentido, Thornton et al. (2014) e Baethgen (2015) deram grande destaque à variabilidade climática, como principal fator de risco para diversos setores, salientando a tendência de aumento, que deverá ter em cenários futuros.

Impactos sobre a Agricultura e a Produção de Alimentos

Os textos que se dedicam ao estudo das mudanças climáticas são limitados, em termos de conhecimentos e informações sobre impactos nas culturas. Segundo Thornton et al. (2014), os próprios modelos utilizados se mostram limitados neste tipo de avaliação. Há carência de conhecimentos-chaves e dados de qualidade em muitas regiões, sobretudo para reduzir a escala espacial, no sentido de orientar tomadores de decisão, alimentar sistemas de alerta e adaptar os sistemas biológicos e a produção de alimento ao clima do futuro. Os mesmos autores afirmam que os maiores impactos se darão em escala local e em curto prazo. Baethgen (2015) vai no mesmo sentido, quando afirma que há um duplo conflito de escalas, pois cenários climáticos de longo prazo e em nível global estão fora das escalas de tempo e espaço utilizadas por tomadores de decisão.

A grande maioria dos estudos de impactos das mudanças climáticas tem-se ocupado com variações do clima médio, sendo que as evidências mais claras se referem à elevação da temperatura do ar (em particular, das temperaturas noturnas) e ao aumento da variabilidade climática e ocorrência de fenômenos extremos. Evidências de mudanças no regime hídrico não são claras, até porque há tendências divergentes entre regiões tropicais e temperadas. Estudos feitos no Brasil confirmam as dificuldades e imprecisões nas projeções de cenários futuros para condições hídricas, em níveis regional e sub-regional.

O aquecimento global e o aumento dos extremos climáticos deverão ter efeitos importantes na fenologia das plantas. O

aumento das temperaturas deverá incrementar o acúmulo de graus-dia e, com isto, acelerar o crescimento e o desenvolvimento das plantas, encurtar o ciclo e antecipar estádios fenológicos importantes. O excesso de calor também poderá causar estresses mais frequentes, quando combinado ao déficit hídrico, e afetar a produtividade e a qualidade dos alimentos. Florescimento e maturidade mais precoces têm sido documentados, nas últimas décadas, muitas vezes atribuídas ao aumento da temperatura do ar (CRAUFURD; WHEELER, 2009). Para espécies cuja fenologia tem estreita relação com o acúmulo térmico (graus-dia), como é o caso de milho, feijão, tomate e muitas outras, a maior precocidade parece ser uma consequência imediata do aumento das temperaturas. A maior precocidade tende a modificar o calendário de cultivo, em espécies anuais, e deslocar todo o ciclo anual de plantas perenes. Além disso, deverá ocorrer deslocamento de espécies e genótipos para maiores altitudes e latitudes, seguindo mudanças na posição das isotermas e, portanto, das áreas mais propícias a cada vegetal.

Por outro lado, muitas espécies têm sua fenologia associada à interação entre a temperatura e o fotoperíodo. Algumas têm resposta fotoperiódica facultativa, nas quais o fotoperíodo apenas contribui, mas não tem função essencial na fenologia. Em outras espécies a resposta ao fotoperíodo é absoluta, significando que um deslocamento em latitude implica grandes alterações na evolução fenológica ou, em alguns casos, na supressão de fases importantes, como o florescimento. Isto significa que, se o aquecimento causar o deslocamento de espécies sensíveis ao fotoperíodo, os efeitos das mudanças climáticas sobre a fenologia e a adaptação dessas espécies poderão ter consequências complexas e de grande impacto. Por

exemplo, admitindo que o deslocamento mais provável seja no sentido de latitudes maiores, o efeito do fotoperíodo em plantas de resposta a dias curtos (PDC) será no sentido de retardar o florescimento e a maturação, compensando o efeito do maior acúmulo de graus-dia. Por outro lado, em plantas de resposta a dias longos (PDL) o fotoperíodo agirá no mesmo sentido do aquecimento, tornando o florescimento e o final do ciclo ainda mais antecipado. Bergamaschi (2007) fez um apanhado, neste sentido, descrevendo os efeitos interativos dos elementos do clima que atuam na fenologia das plantas, com destaque para a temperatura do ar e o fotoperíodo, incluindo possíveis efeitos das mudanças climáticas de longo prazo.

Tem sido lembrado por alguns autores que as medidas de adaptação às mudanças climáticas deverão ser compatíveis com o ritmo das mudanças de ambiente. Em plantas cultivadas isto poderá ser possível, se houver programas continuados de melhoramento genético e melhorias nas práticas de manejo e condução. Porém, em espécies nativas isto deverá ser bem mais difícil, pois as mudanças climáticas terão demasiada rapidez, em comparação à capacidade de adaptação das plantas. Em eras passadas, isto foi possível para a grande maioria das atuais espécies, quando o ritmo das alterações climáticas foi lento, o suficiente para que as espécies pudessem evoluir e se adaptar às mudanças do ambiente.

Em plantas perenes a transferência para regiões mais elevadas ou de maior latitude parece inevitável, em decorrência do aquecimento global (PANDOLFO et al., 2007; WREGG et al., 2007). Na **Figura 5** são confrontados mapas com o zoneamento atual da cultura da bananeira, em Santa Catarina, e um cenário de zoneamento futuro, com os mesmos critérios e índices

adotados à espécie, porém considerando um aumento de 2 °C nas temperaturas médias do ar. Por ser uma cultura tropical, cuja principal limitação é o risco por geadas, é esperada uma ampliação significativa nas áreas de cultivo recomendado, em regiões com maior altitude, seguindo o deslocamento das isoterms correspondentes. Ou seja, para espécies de clima quente, como perenes tropicais e anuais de primavera-verão, é razoável considerar a tendência de avanço para regiões que, atualmente, oferecem restrições por insuficiência térmica ou riscos de geadas. É o caso de milho, soja, sorgo, feijão e outras tantas, cujos primeiros zoneamentos (dos anos 1970) restringiam seu cultivo nos planaltos das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Os zoneamentos mais recentes flexibilizaram esta restrição, até porque o calendário de cultivo também se tornou mais flexível, houve o ingresso de genótipos mais precoces e, portanto, mais adaptados a temperaturas amenas. No caso do milho, o surgimento de híbrido superprecoces (e hiperprecoces) contribuiu neste sentido, pois suas temperaturas cardeais são mais baixas que nos híbridos normais, permitindo melhor desempenho em regiões amenas, conforme Bergamaschi e Matzenauer (2014). A redução de riscos por baixas temperaturas, em arroz, também foi evidenciada em trabalhos de simulação de cenários de mudanças climáticas, para o Litoral Sul e a Campanha do Rio Grande do Sul (MARQUES et al., 2005; STEINMETZ et al., 2005). Na medida em que se reduzem os riscos por baixas temperaturas, o impacto do frio no período reprodutivo (a principal limitação em arroz irrigado, nessas regiões) também se reduz, além de possibilitar um calendário de semeadura mais flexível, diante das irregularidades nas chuvas de primavera.

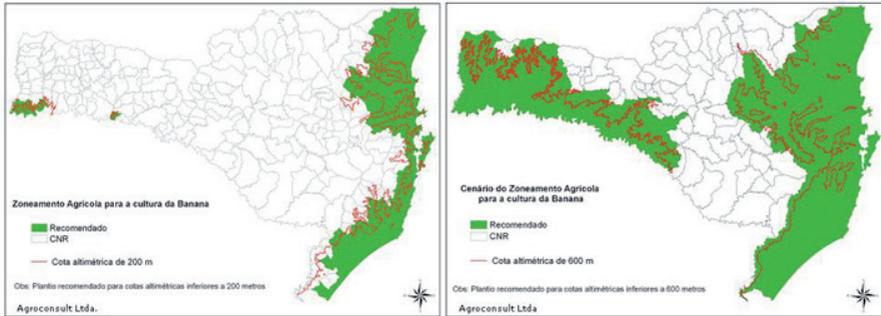


Figura 5. Zoneamento atual da bananeira (esquerda) e cenário futuro (direita) com aumento de 2 °C nas temperaturas médias, para Santa Catarina. Fonte: Pandolfo et al. (2007).

Espécies temperadas, que necessitam tratamento de frio hibernal, como macieira e outras fruteiras rosáceas, terão maiores restrições com tendência de redução nas áreas aptas ao cultivo. A **Figura 6** dá um exemplo, para cultivares de macieira de baixa necessidade de frio, entre 300 e 500 horas de frio abaixo de 7,2 °C. Segundo Pandolfo et al. (2007), um acréscimo de 2 °C nas temperaturas médias implicará forte redução das áreas recomendadas para esses genótipos, ficando confinados às regiões onde, no zoneamento atual, são recomendadas cultivares de alta necessidade de frio (acima de 700 HF).

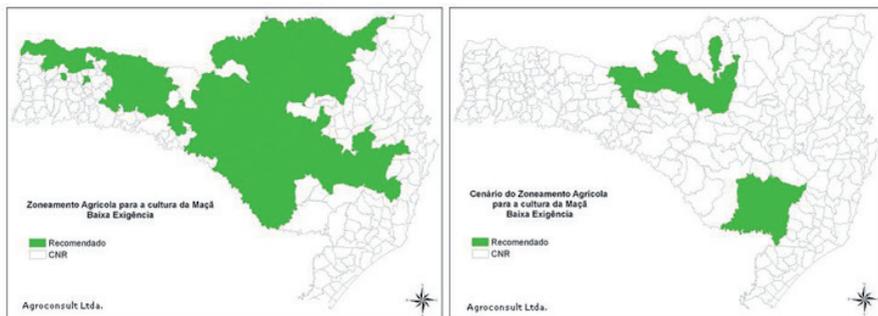


Figura 6. Zoneamento atual de macieira com baixa necessidade de frio (300 a 500 HF, esquerda) e cenário futuro (direita) com aumento de 2 °C nas temperaturas médias, para Santa Catarina. Fonte: Pandolfo et al. (2007).

No mesmo cenário futuro, e adotando os critérios do zoneamento atual, cultivares de alta (>700 HF) e média (500 a 700 HF) necessidade de frio não seriam mais recomendadas para cultivo, mesmo em Santa Catarina, nas áreas mais frias do País. Isto demonstra o grande trabalho que deverá ocorrer nas próximas décadas em melhoramento genético, melhorias nas técnicas de superação da dormência e mudanças nos zoneamentos de espécies de clima temperadas.

Também com macieiras, Cardoso et al. (2012) avaliaram o regime de frio da região de Vacaria, RS, numa série homogênea de quase 30 anos de observações feitas na estação experimental da Embrapa Uva e Vinho. Coerentemente com diversas análises em séries históricas no Estado, verificou-se tendência temporal de aumento das temperaturas mínimas do ar, em 1,2 °C no período, sendo que as temperaturas médias e máximas não apresentaram tendências significativas. As temperaturas mínimas tiveram aumento de 1,3 °C no inverno e de 1,5 °C na primavera (**Figura 7**).

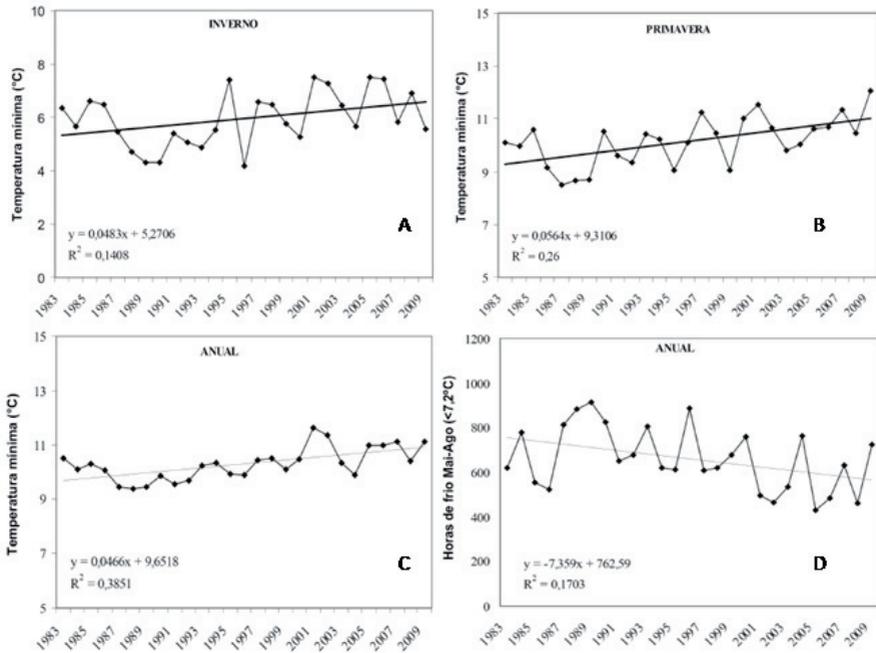


Figura 7. Tendência para temperatura mínima do ar no inverno (A), primavera (B) e anual (C), e horas de frio de maio a agosto (D) de 1983 a 2009. Vacaria, RS. Fonte: Cardoso et al. (2012).

Mas o dado mais interessante, para a fruticultura de clima temperado, foi a redução do número de horas de frio (HF) abaixo de $7,2^{\circ}\text{C}$, que foi de 198 HF e 201 HF nos períodos de maio-agosto e maio-setembro, respectivamente. Ao lado da redução no total de HF, chama a atenção a grande variabilidade pois, além das flutuações inter-anuais, há grande variação intrassazonal, que afeta a eficácia do tratamento de frio hibernal, já que o processo de quebra de dormência de gemas é reversível, sendo que picos de calor reduzem ou anulam o efeito do frio acumulado anteriormente. E, como foi descrito, é esperado aumento na variabilidade inter e intra-anual das temperaturas, em cenários futuros, o que também deverá

agravar o problema de redução na disponibilidade de frio hibernar.

Para regiões tropicais, os cenários climáticos futuros projetam impactos negativos devido, sobretudo, ao aumento do déficit hídrico, que poderá interagir com temperaturas supra-ótimas em muitas espécies. Mesmo que as projeções sobre o regime pluviométrico sejam incertas (como foi descrito), as condições hídricas das culturas deverão alterar-se, tão somente pelo aumento da temperatura do ar. A partir de simulações geradas pela metodologia de zoneamentos de riscos climáticos, utilizando diferentes cenários de acréscimos na temperatura do ar, Martins e Assad (2007a, 2007b) verificaram que as áreas de baixo risco climático para cultivo de arroz e feijão deverão ser reduzidas drasticamente nos estados de Goiás e Minas Gerais. Em outras palavras, a se manter o atual ritmo de incremento no efeito estufa, haverá aumento na demanda evaporativa atmosférica e, portanto, nos riscos por déficit hídrico no solo. Para ambas as culturas, a redução de áreas de baixo risco climático deverá ser maior em Minas Gerais que em Goiás.

Estudo com objetivo e metodologia semelhantes foi feito por Marin et al. (2007) para cana-de-açúcar, em São Paulo. As evidências foram semelhantes, projetando limitações por déficit hídrico no norte e noroeste do Estado e tendência da cultura se expandir no sul de São Paulo onde, atualmente, ela tem limitações por riscos de geadas. A combinação de temperaturas supraótimas com déficit hídrico foi considerada importante nestes estudos, o que está de acordo com observações de Lobell et al. (2011) em milho. Esses autores observaram que, a cada grau de aumento das temperaturas acima de 30 °C, houve decréscimo de 1,7% no rendimento do milho, sob condições de

seca. Por outro lado, experimentos de campo têm demonstrado que, sob déficit hídrico, um ecossistema (cultivado ou não) modifica seu microclima, pelas alterações no balanço energético junto à superfície. Isto é mais evidente nas horas mais quentes do dia, quando grande parte da energia solar se converte em aquecimento do ar e do solo, com a redução da transpiração e da evaporação. O ar junto às plantas se torna mais quente e seco que a atmosfera externa, aumentando o déficit hídrico nos tecidos e o estresse térmico das plantas, como demonstraram Fontana et al. (1991) em soja.

Nos estudos acima referidos, é possível observar que os aumentos de temperatura do ar se basearam apenas nas médias, não considerando que as temperaturas noturnas são as que aumentarão mais, devido ao incremento do efeito estufa. Toda a lógica do aumento dos gases de efeito estufa na atmosfera e os próprios resultados de análises em séries históricas demonstram que as temperaturas noturnas terão acréscimos mais evidentes, ao invés das temperaturas diurnas. Assim, não é possível considerar como linear o efeito da elevação das temperaturas médias sobre a demanda evaporativa atmosférica e o déficit hídrico em plantas, pois elas transpiram somente de dia, fechando estômatos à noite. Por outro lado, os impactos da redução do regime de frio hibernal, em plantas que necessitam tratamento de frio, e do aumento no acúmulo de graus-dia têm base fisiológica robusta, embora também não devam ser considerados de forma linear, pela complexidade de interações.

A **Figura 8** representa variações do metabolismo básico das plantas em função da temperatura do ar. Nela são representadas as temperaturas cardeais de cada espécie, que

variam entre genótipos com diferentes níveis de precocidade. As temperaturas bases inferior e superior são os limites de adaptação térmica, enquanto que a temperatura ótima é a que proporciona a máxima assimilação líquida. A assimilação líquida (ou fotossíntese líquida) é zero nos extremos de adaptação das plantas (T_b e T_B) e se torna negativa fora desses limites, causando estresses às plantas, por frio (abaixo de T_b) ou calor (acima de T_B).

O metabolismo básico das plantas pressupõe que a fotossíntese líquida é a diferença entre a fotossíntese bruta e a respiração, conforme a **Figura 8**. Nisto, há um detalhe importante a considerar: a fotossíntese bruta ocorre somente nas partes verdes das plantas e durante o dia, pois necessita radiação solar, ao passo que a respiração ocorre em todos os tecidos vivos das plantas e durante as 24h do dia. Ou seja, aumentos nas temperaturas noturnas devem aumentar mais a respiração e, portanto, causar decréscimo na assimilação líquida das plantas. Isto significa que o aquecimento global deverá aumentar as perdas por respiração, pela elevação das temperaturas noturnas, mas com menor impacto sobre o metabolismo diurno e, portanto, sobre a fotossíntese. Este é um aspecto muito significativo, mas que raramente é considerado em trabalhos ou relatos que buscam associar o aquecimento global com seus possíveis efeitos no crescimento e produção das plantas ou na composição de ecossistemas.

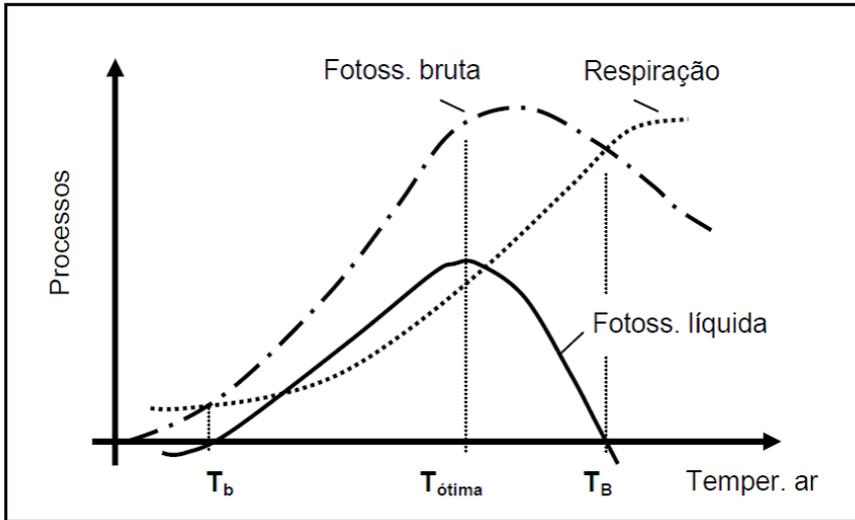


Figura 8. Metabolismo das plantas e temperaturas cardeais: mínima basal ou base inferior (T_b), ótima ($T_{ótima}$) e máxima basal ou base superior (T_B) (BERGONCI; BERGAMASCHI, 2002).

Por sua vez, temperaturas diurnas supraótimas associadas a déficit hídrico (em geral, nas horas mais quentes do dia) também tendem a reduzir a fotossíntese, se houver fechamento estomático, murcha e senescência foliar. É importante considerar que a temperatura foliar se eleva em folhas sob déficit hídrico, mas se mantém abaixo da temperatura do ar em folhas túrgidas e transpirando livremente. Por outro lado, a diminuição do ciclo das plantas, pelo acúmulo mais rápido de graus-dia, age no mesmo sentido de reduzir a assimilação líquida total das plantas, ao longo do ciclo, em contraposição ao aumento no teor de CO_2 na atmosfera (STRECK, 2005).

Modelos mais complexos e robustos têm sido utilizados, recentemente, para simular a fenologia e a produção de diversas culturas. Em arroz, Walter et al. (2014) relataram

resultados que variam, de acordo com as condições de cultivo e o tipo de modelo empregado. Com o modelo SimulArroz, ajustado com dados experimentais da região produtora do Rio Grande do Sul, estes autores verificaram que as mudanças climáticas, projetadas pelo Quarto Relatório do IPCC, deverão ter efeito positivo no rendimento de arroz irrigado no Estado, principalmente no final do Século XXI, em função da antecipação do período de semeadura. Isto demonstra que outros fatores também atuam sobre o rendimento da cultura, como é o caso de melhorias no calendário de cultivo, e podem aumentar a eficiência de uso da radiação solar e, portanto, o rendimento de grãos. Esta percepção foi possível através do uso de um modelo mais complexo e ajustado ao sistema de cultivo e aos genótipos para os quais foram feitas as projeções.

Segundo Walter et al. (2014), deve-se considerar que novas cultivares e técnicas serão desenvolvidas no futuro, permitindo aumentar o potencial produtivo das culturas. Os modelos de simulação possuem limitações quanto ao uso de parâmetros genéticos, que podem mudar na medida em que novos genótipos são lançados. Além disso, há dificuldades em introduzir mudanças de manejo, que possam ocorrer no futuro. Mesmo assim, eles se constituem em ferramentas importantes para entender a dinâmica e a complexidade dos agroecossistemas frente a possíveis mudanças no clima regional.

Considerações Finais

Alterações na fenologia das plantas, que apontam para o encurtamento do ciclo, modificações nos calendários de cultivo e na distribuição espacial das espécies vegetais, deverão ser

consequências das mudanças climáticas. Portanto, alterações nos zoneamentos agroclimáticos deverão ser feitas, para ajustar os novos genótipos às condições do ambiente. Maior tolerância à seca deverá ser prioridade no melhoramento genético, assim como o aumento no emprego da irrigação, deverá ser incentivado, no sentido de reduzir o impacto dos extremos climáticos. Junto a isto, melhorias substanciais no manejo do solo e do carbono no solo, para reduzir o impacto do déficit hídrico, pela redução da erosão e da compactação, e para fixar mais carbono no solo. O uso mais intensivo de cultivos protegidos e outras práticas de proteção das plantas e do solo deve ser incentivado, para melhor adequar o microclima das culturas às suas necessidades e promover o uso mais eficiente da água e da radiação solar. Do mesmo modo, práticas de manejo mais flexíveis, como o escalonamento de semeaduras, a diversificação e a rotação de espécies serão cada vez mais necessárias, para tornar os sistemas produtivos menos suscetíveis aos riscos de eventos climáticos extremos. Programas de manejo que possam reduzir modificações na composição de pastagens e outros sistemas consorciados deverão ser implantados, para evitar impactos sobre a dinâmica de espécies, sua produtividade e a qualidade da produção. Alterações na infestação com pragas, doenças e plantas daninhas também deverão ocorrer, e isto também exigirá novos conhecimentos e procedimentos. Menor frequência de chuvas e, portanto, mais chuva em menos tempo é esperada, aumentando os riscos e danos por erosão, inundações e estiagens, o que deverá ser uma preocupação constante no sentido da sustentabilidade dos sistemas produtivos. Ou seja, apesar do grande nível de incertezas e imprecisões no dimensionamento dos impactos, toda esta problemática conduz à necessidade de maior resiliência na produção

agrícola, exigindo uma agricultura “climaticamente inteligente”, conforme as ponderações feitas por Thornton et al. (2014).

Há duas estratégias principais envolvidas na problemática das mudanças climáticas. Uma delas é a *mitigação*, que visa reduzir o aumento do efeito estufa, sobretudo pela redução das emissões de gases de efeito estufa. São medidas de grande escala e de longo prazo, que visam benefícios em escala global e envolvem decisões em nível governamental e grandes acordos internacionais. Concomitantemente, as medidas de *adaptação* visam benefícios em pequena escala e em curto prazo, para dar suporte a tomadas de decisão em nível de propriedade, empresas e agências de planejamento. As alternativas de adaptação são as que estão ao alcance dos programas de treinamento e desenvolvimento tecnológico. Dentre elas, pode-se considerar dois campos de atuação: 1) Nas interações ao nível de genótipo-ambiente, através da criação de genótipos mais tolerantes frente aos novos cenários, ajustes nos zoneamentos de espécies (e seus novos genótipos) e ajustes de calendários de cultivo e práticas de manejo. 2) Em sistemas de manejo conservacionistas, através do manejo de solo, água e carbono (na dinâmica de água, calor e nutrientes nos sistemas produtivos), manutenção da biodiversidade, da rotação e escalonamento de cultivos, e de uma melhor adequação do microclima de cultivo, com irrigação, quebra-ventos, sombreamento e cultivos protegidos.

Numa avaliação rápida da temática das mudanças climáticas, pode-se deduzir que ainda estamos distante de vislumbrar, com clareza razoável, as condições futuras do meio físico e, principalmente, seus impactos sobre os sistemas biológicos, produtivos e ambientais. Ou seja, se existem dificuldades

na projeção de cenários climáticos futuros, imprecisões ainda maiores são encontradas nas tentativas de quantificar impactos sobre sistemas biológicos e de produção, devido à interação de fatores e à limitação dos modelos e parâmetros atualmente disponíveis. Além disso, como já foi visto, os impactos do aumento dos gases de efeito estufa não serão lineares e homogêneos, nem sobre as mudanças climáticas e muito menos sobre os processos biofísicos, que deverão resultar dessas mudanças sobre a fenologia, a produção e qualidade dos alimentos, além dos reflexos que deverão recair sobre o ambiente e as populações futuras. Processos biológicos são complexos por natureza, ainda mais quando envolvem interações de fatores e relações de causa-efeito que se modificam ao longo do tempo, inclusive por alterações resultantes de avanços tecnológicos. Isto implica grandes necessidades de pesquisa e conhecimentos, mais aprofundados e devidamente adaptados às diversidades de ambientes e sistemas.

Por outro lado, como bem enfatizou Baethgen (2015), a variabilidade climática de curto prazo e de escala regional, que sempre foi o grande fator de risco para os sistemas produtivos e ambientais, continuará sendo mais expressiva que as mudanças climáticas globais e de longo prazo, até porque os eventos extremos tendem a ser mais frequentes e os níveis de tecnologia se tornam cada vez mais elevados.

Este é um desafio para a classe agrônômica e comunidades correlatas, que exige ações contínuas de pesquisa, formação de recursos humanos e transferência tecnológica de qualidade, em ações interdisciplinares que visem manter sistemas sustentáveis de produção, em concordância com a diversidade de biomas.

Sempre lembrando que *desenvolvimento sustentável é o melhor meio para promover a mitigação e a adaptação.*

Referências

BAETHGEN, W. E. New paradigm for improving adaptation to climate change in the agricultural sector. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA 19., 2015, Lavras. **Agrometeorologia no século 21: o desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros: anais.** Lavras: UFLA, 2015. Disponível em: <<http://www.muz.ifsuldeminas.edu.br/cbagro2015/>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

BEETS, R.; NOBRE, C.; KAY, G.; SAMPAIO, G.; CHOU, S. Como modelamos o clima. In: MARENGO, J. (Coord.). **Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia.** São José dos Campos: INPE; [S.l.]: Met Office Hadley Centre, 2011. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/relatorio_port.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2016.

BERGAMASCHI, H. O clima como fator determinante da fenologia das plantas. In: REGO, G. M.; NEGRELLE, R. R. B.; MORELATTO, L. P. C. (Org.). **Fenologia ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos.** Colombo: Embrapa Florestas, 2007. v. 1, p. 291-310.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima.** Porto Alegre: Emater-RS: Ascar, 2014. v. 1, 84 p.

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H. Ecofisiologia do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. [**Resumos expandidos**]. Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo; Florianópolis: Epagri, 2002. 1 CD-ROM.

BERLATO, M. A.; ALTHAUS, D. Tendência observada da temperatura mínima e do número de dias de geada do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 16, n.1/2, p. 7-16, 2010.

CARDOSO, L. S.; BERGAMASCHI, H.; BOSCO, L. C.; PAULA, V. A. de; MARODIN, G. A. B.; CASAMALI, B.; NACHTINGALL, G. R. Disponibilidades climáticas para macieira na região de Vacaria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1960-1967, 2012.

CORDEIRO, A. P. A. **Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais, estimadas e das derivadas do balanço hídrico seriado do Rio Grande do Sul**. 2010. 273 f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CRAUFURD, P. Q.; WHEELER, T. R. Climate change and the flowering time of annual crops. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, p. 2529-2539, 2009.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 3, p. 403-410, 1991.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability**. Oslo, 2007.

Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2016.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. In: FIELD, C. B.; BARROS, V.; STOCKER, T. F.; QIN, D.; DOKKEN, D. J.; EBI, K. L.; MASTRANDREA, M. D.; MACH, K. J.; PLATTNER, G. K.; ALLNE, S. K.; TIGNOR, M.; MIDGLEY, P. M. (Ed.). **A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2016.

JOÃO, M. M. **Análise do comportamento das temperaturas máximas e mínimas médias para o Estado do Rio Grande do Sul**. 2009. 137 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

LOBELL, D. B.; BÄNZINGER, M.; MAGOROKISHO, C.; VIVEK, B. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. **Nature Climate Change**, v. 1, p. 42-45, 2011.

MARENGO, J.; CHOU, S.; KAY, G.; BETTS, L.; ALVES, L. Clima futuro e avaliação das incertezas sobre as mudanças climáticas na Amazônia. In: MARENGO, J. (Coord.). **Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. São José dos Campos: INPE; [S.l.]: Met Office Hadley Centre, 2011. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmlclima/pdfs/destaques/relatorio_port.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2016.

MARIN, F. R.; ASSAD, E. D.; BARBARISI, B. F.; PILAU, F. G.; PACHECO, L. R. F.; ZULLO JR., J.; PINTO, H. S. Efeito das mudanças climáticas sobre a aptidão climática para cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Efeito das mudanças climáticas na agricultura**: anais. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007. 1 CD-ROM.

MARQUES, J. R. Q.; STEINMETZ, S.; DINIZ, G.; SIQUEIRA, O. J. W. de; WREGE, M. S.; HERTER, F. G.; REISSER JR., C. Aumento da temperatura mínima do ar no Rio Grande do Sul, sua relação com o aquecimento global e possíveis impactos no arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., 2005, Santa Maria, RS. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Santa Maria, RS: SOSBAI, 2005. p. 224-226.

MARTINS, P. M.; ASSAD, E. D. Impactos econômicos das possíveis alterações climáticas na cultura do arroz nos Estados de Goiás e Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Efeito das mudanças climáticas na agricultura**: anais. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007a. 1 CD-ROM.

MARTINS, P. M.; ASSAD, E. D. Impactos econômicos das possíveis alterações climáticas na cultura do feijão nos Estados de Goiás e Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Efeito das mudanças climáticas na agricultura**: anais. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007b. 1 CD-ROM.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; ASSAD, E.; SCHAEFFER, R.; SCARANO, F. R.; HACON, S. S. **Riscos de mudanças climáticas no Brasil e limites de adaptação**. Brasília, DF: Embaixada do Reino Unido, 2016. 20 p. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/504489/Clima-Sumario-v3.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2016.

PANDOLFO, C.; HAMMES, L. A.; CAMARGO, C.; MASSIGNAN, A. M.; PINTO, E. S. P.; LIMA, M. de. Possíveis impactos das mudanças climáticas na distribuição de áreas potenciais de cultivo da cultura da banana e da maçã no Estado de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Efeito das mudanças climáticas na agricultura**: anais. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007. 1 CD-ROM.

STEINMETZ, S.; SIQUEIRA, O. J. W. de; WREGE, M. S.; HERTER, F. G.; REISSER JR., C. Aumento da temperatura mínima do ar na região de Pelotas, sua relação com o aquecimento global e possíveis impactos no arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas. **Agrometeorologia, agroclimatologia e agronegócio**: anais. Campinas: Unicamp, 2005. 1 CD-ROM.

STRECK, N. A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 730-740, 2005.

THORNTON, P. K.; ERICKSEN, P. J.; HERRERO, M.; CHALLINOR, A. J. Climate variability and vulnerability to climate change: a

review. **Global Change Biology**, Oxford, v. 20, p. 3313-3328, 2014. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.12581/pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2016.

WALTER, L. D.; STRECK, N. A.; ROSA, H. T.; FERRAZ, S. E. T.; CERA, J. C. Mudanças climáticas e seus efeitos no rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 12, p. 915-924, 2014.

WEBER, E. J. **Estimativa e mapeamento da radiação solar incidente em superfícies com topografia heterogênea na zona de produção vitivinícola Serra Gaúcha**. 2011. 145 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WREGGE, M. S.; HERTER, F. G.; STEINMETZ S.; REISSER JR., C.; GARRASTAZU, M. C.; CARAMORI, P. H.; MATZENAUER, R.; BRAGA, H. J. Influência do aquecimento global sobre a fruticultura de clima temperado na Região Sul do Brasil diante de alguns cenários de mudanças climáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Efeito das mudanças climáticas na agricultura**: anais. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007. 1 CD-ROM.

Capítulo 2

Características Fisiológicas de Milho e Sorgo e suas Interações com o Ambiente

Luís Sangoi

Fernando Panison

Paulo Regis Ferreira da Silva

Lucieli Santini Leolato

Introdução

O milho e o sorgo são duas culturas de grande importância mundial, em função da riqueza energética dos grãos e da multiplicidade do seu uso. O milho é o cereal mais produzido no mundo. A produção mundial de milho deverá superar 972 milhões de toneladas, tendo como destaque os Estados Unidos, maiores produtores mundiais, que colheram no ano agrícola 2014/2015 cerca de 347 milhões de toneladas. O sorgo é o quinto cereal mais produzido mundialmente, atrás de milho, arroz, trigo e cevada. Em 2014/2015, foram colhidas 63,6 milhões de toneladas de grãos de sorgo. Os Estados Unidos também se destacam como os maiores produtores mundiais, tendo colhido em 2014/2015 11,1 milhões de toneladas (USDA, 2015).

Milho e sorgo também são culturas de destaque no Brasil. O país colheu na safra 2014/15 84,6 milhões de toneladas de milho e 2,1 milhões de toneladas de sorgo granífero (CONAB, 2015). Os estados de Mato Grosso e Goiás se destacam

como os maiores produtores nacionais de milho e sorgo, respectivamente.

O milho e o sorgo são culturas taxonomicamente próximas. Ambos fazem parte da família *Poaceae* e da tribo *Andropogonae*. O milho pertence à espécie *Zea mays* e o sorgo à espécie *Sorghum bicolor*. O milho é uma planta de origem americana. Ele evoluiu do teosinto há mais de 5.000 anos, provavelmente do Vale de Tehuacán, localizado no centro-sul do México (SANGOI; BORTOLUZZI, 2016). O sorgo é uma planta de origem africana. Ele foi domesticado na Etiópia e posteriormente cultivado na África Ocidental, desde o Sudão até o rio Níger (SILVA, 2011).

A proximidade taxonômica entre milho e sorgo é responsável por várias semelhanças morfológicas e fisiológicas apresentadas pelas duas culturas. Elas produzem grãos que são botanicamente frutos, classificados como cariopses, ricos em energia na forma de amido. Ambas possuem mecanismo C4 de fixação de CO₂, apresentam baixas taxas de fotorrespiração e alta eficiência fotossintética.

Por outro lado, as duas espécies também denotam diferenças importantes que interferem na adaptação a diferentes condições edafoclimáticas. O objetivo deste capítulo é comparar o comportamento de milho e sorgo sob diferentes situações ambientais, detalhar as características das duas culturas responsáveis pelas diferenças existentes no seu desempenho agrônomo em cada ambiente e relacioná-las com práticas de manejo recomendadas na implantação da lavoura.

Características Fisiológicas e Estresses Ambientais

Deficiência Hídrica

Importância da Água

A água é a substância mais importante para o desenvolvimento vegetal, representando de 80 a 90% do peso fresco das plantas herbáceas. Ela desempenha diversas funções fisiológicas vitais para o crescimento e desenvolvimento. Atua como solvente, constituindo o meio para o movimento das moléculas no simplasto e apoplasto. Além disto, influencia a estrutura molecular de proteínas e lipídeos que são indispensáveis para a manutenção da integridade da membrana plasmática e de outros constituintes celulares. A água constitui o ambiente em que ocorrem importantes reações químicas intracelulares, participando também como reagente em algumas delas. Em razão do seu alto calor específico, evita que ocorram flutuações bruscas no tecido vegetal e que as folhas se aqueçam demasiadamente quando submetidas à radiação solar (TAIZ; ZEIGER, 2006).

Efeitos da Deficiência Hídrica

A água é uma substância paradoxal na agricultura. De todos os recursos que as plantas necessitam para o seu desenvolvimento, é o mais abundante e, ao mesmo tempo, o mais limitante por escassez à obtenção de altas produtividades (VIEIRA JÚNIOR et al., 2007).

À medida em que a deficiência hídrica evolui, há uma redução gradativa no potencial hídrico dos tecidos que afeta diversas

características fisiológicas importantes para o desenvolvimento das plantas. O primeiro processo prejudicado é a capacidade de alongação celular, que depende diretamente da pressão de turgor da célula (BOYER, 1971). A perda de turgescência limita a expansão das folhas e do colmo, reduzindo a área foliar, a estatura e a capacidade da planta de interceptar radiação solar. Uma segunda consequência da redução do potencial hídrico é diminuição da condutância estomática por causa da perda de turgor das células guarda. A menor condutância estomática limita o influxo de CO₂ até os cloroplastos, diminuindo a fotossíntese. Além disto, num estado mais avançado de desidratação, há também o comprometimento na atuação de enzimas importantes para a fixação do carbono em compostos orgânicos. A redução da atividade fotossintética limitará a disponibilidade de fotoassimilados para a manutenção e desenvolvimento das plantas.

Mecanismos de Tolerância à Deficiência Hídrica

As plantas apresentam três tipos de estratégia para se adaptar à deficiência hídrica: escape, retardamento da desidratação e tolerância à desidratação.

Escape

O mecanismo de escape envolve duas alternativas: alteração na duração no ciclo e plasticidade fenológica. O desenvolvimento de cultivares mais precoces é uma estratégia efetiva para evitar que os períodos mais críticos à deficiência hídrica coincidam com as épocas do ano onde há maior possibilidade de ocorrência de estiagens em regiões com padrão climático e regime pluviométrico relativamente constantes e definidos.

A plasticidade fenológica é um mecanismo que envolve a ampliação na duração do período de florescimento, normalmente o mais crítico para a deficiência hídrica, como forma de diluição dos seus efeitos negativos. Existem duas formas para ampliar a plasticidade fenológica das culturas. Em espécies dicotiledôneas, como a soja e o feijão, isto pode ser feito modificando o hábito de crescimento. Há dois tipos de hábito de crescimento: determinado e indeterminado. As cultivares de hábito determinado cessam o crescimento vegetativo com o início da floração, emitindo uma inflorescência no ápice do caule principal. As cultivares de hábito indeterminado florescem da base para o ápice da planta, continuam se desenvolvendo vegetativamente após o início da floração e possuem um período de florescimento mais longo. Em função disto, o hábito de crescimento indeterminado é um mecanismo de plasticidade fenológica efetivo para mitigar os efeitos da estiagem na floração.

No caso das plantas da família *Poaceae*, como o milho e o sorgo, a estratégia de plasticidade fenológica plausível é o perfilhamento. Os perfilhos são ramos laterais localizados nos primeiros nós na base do colmo principal. Como eles apresentam um desenvolvimento fenológico retardado, florescem mais tarde do colmo principal, o que amplia a duração do período de florescimento (SANGOI et al., 2012).

Retardamento da Desidratação

O mecanismo de retardamento da desidratação envolve estratégias utilizadas para postergar a redução do potencial hídrico no tecido e, com isto, preservar as principais funções fisiológicas das células. Este objetivo pode ser alcançado de

duas formas: aumentando a eficiência da planta na absorção de água e minimizando as perdas hídricas através da transpiração.

A melhor forma de aumentar a eficiência na absorção de água é fomentando o desenvolvimento radicular. Isto faz com que as raízes explorem camadas mais profundas do perfil de solo. Embora seja eficiente, esta estratégia apresenta algumas limitações. Parâmetros radiculares (densidade, massa, volume) são difíceis de avaliar em campo, apresentam baixa herdabilidade e alta influência do ambiente. Estas três características dificultam a sua utilização em programas de melhoramento.

A limitação das perdas hídricas pela transpiração pode ser alcançada através de diferentes estratégias morfológicas e anatômicas. Entre elas podem ser citadas: aumento da cerosidade epicuticular, incremento na pilosidade e enrolamento foliar. Cerca de 95% da radiação incidente sobre o dossel é utilizada para aquecer as folhas. O objetivo destas três alterações é aumentar a radiação refletida, diminuindo a quantidade de energia disponível para vaporizar a água das paredes das células do mesófilo foliar. Além disto, pode haver alterações no número e tamanho dos estômatos, bem como na sensibilidade das células guarda à redução de potencial hídrico.

Tolerância à Desidratação

O mecanismo de tolerância à desidratação envolve a capacidade da planta de manter os seus processos fisiológicos vitais, mesmo com a redução de potencial hídrico do tecido. O acúmulo intracelular de solutos osmoticamente ativos em resposta a condições de estiagem é o mecanismo mais importante para tolerar a seca com baixo potencial hídrico

no tecido. Entre os solutos bioquimicamente ativos no ajuste osmótico destacam-se a glicina e a prolina (BRAY et al., 2000). O acúmulo destas substâncias reduz o potencial osmótico e, conseqüentemente, o potencial hídrico. A redução do potencial hídrico mantém o fluxo de água, preservando a pressão de turgor das células. Isto permite a manutenção de processos fisiológicos vitais, mesmo sob condições de baixo potencial hídrico no solo.

Milho e Sorgo em Ambientes com Deficiência Hídrica

O sorgo é uma planta mais eficiente no uso da água (EUA) e mais tolerante à deficiência hídrica do que o milho (MAGALHÃES et al., 2003). A EUA estima a quantidade de água perdida na transpiração, em relação a quantidade de CO₂ transformada em biomassa. A tolerância à seca caracteriza a habilidade da planta de preservar os seus processos fisiológicos vitais e de apresentar um desempenho agrônômico satisfatório sob acentuada restrição hídrica.

As **Figuras 1 e 2** sintetizam os resultados de um trabalho conduzido por Bonfim-Silva et al. (2011), comparando o desenvolvimento inicial de milho e sorgo sob três disponibilidades hídricas no solo: 30% da capacidade de campo (deficiência hídrica), 60% da capacidade de campo (umidade adequada) e solo alagado. Houve redução significativa no número de folhas, na massa seca de parte aérea e na altura de planta do milho quando ele foi mantido a 30% da capacidade de campo (**Figura 1**). Já o sorgo não sofreu alterações significativas nestas variáveis sob deficiência hídrica, na comparação com o tratamento em que a umidade do solo foi mantida em 60% da sua capacidade de campo. A maior capacidade do sorgo de

tolerar a deficiência hídrica envolve mecanismos de escape, retardamento e tolerância a desidratação.

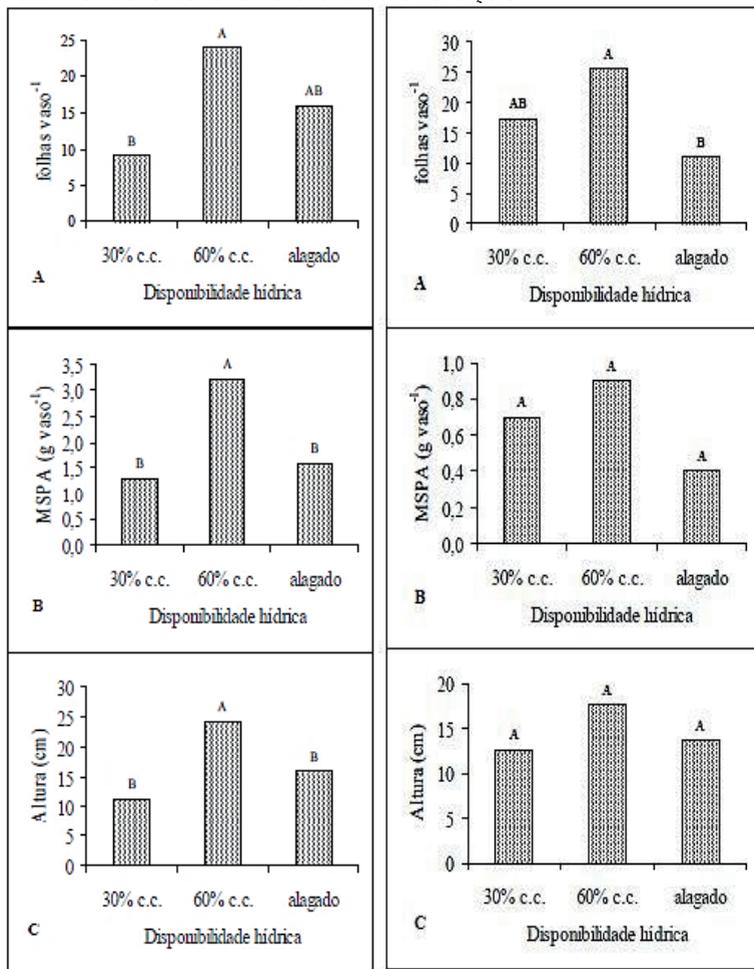


Figura 1. Número de folhas (A), massa seca da parte aérea (B) e altura das plantas de milho (C) sob as disponibilidades hídricas (c.c. = capacidade de campo).

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Bonfim-Silva et al. (2011).

Figura 2. Número de folhas (A), massa seca da parte aérea (B) e altura das plantas de milho (C) sob as disponibilidades hídricas (c.c. = capacidade de campo).

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Bonfim-Silva et al. (2011).

Escape

O sorgo possui maior capacidade de perfilhamento do que o milho. Esta característica lhe confere maior plasticidade fenológica, ampliando a duração do período de florescimento. Além disto, o sorgo produz flores hermafroditas, nas quais não há competição significativa entre a parte masculina e a feminina.

O milho apresenta duas inflorescências unissexuais localizadas em partes distintas da mesma planta. A inflorescência masculina origina-se do ponto de crescimento e está localizada no ápice do colmo principal. A inflorescência feminina origina-se de uma gema axilar, localizada seis a sete nós abaixo do meristema apical (SANGOI et al., 2007). O milho é uma planta protândrica. Ele diferencia a inflorescência masculina entre V5 e V7 e a inflorescência feminina entre V9 e V10 da escala de Ritchie et al. (1993). A protandria é acentuada quando ele é submetido à deficiência hídrica. Nestes casos, o milho prioriza o desenvolvimento do pendão e retarda o desenvolvimento da espiga (SANGOI et al., 2010a). Como consequência, a planta produz e dispersa os grãos de pólen, mas não exterioriza os estilo-estigmas. A falta de sincronia entre o florescimento masculino e o feminino compromete a polinização e a fertilização. Esta situação é agravada porque o período de dispersão de pólen é curto (cinco a sete dias) e a viabilidade do grão de pólen é de apenas 12 a 18 horas (SANGOI; SILVA, 2016a). Portanto, este conjunto de características fazem com que o milho seja uma cultura de baixa plasticidade fenológica como característica de escape a deficiência hídrica na floração.

Retardamento da Desidratação

Absorção de Água

O milho e o sorgo apresentam dois tipos de sistema radicular. O primeiro é denominado de seminal ou primário. Ele é oriundo da radícula, que é uma estrutura que já está diferenciada no embrião. O segundo sistema radicular é o adventício subterrâneo e se origina de gemas localizadas dos cinco primeiros nós na base do colmo.

Embora a estrutura morfológica radicular das duas espécies seja semelhante, o sorgo é mais eficiente do que o milho na absorção de água do solo. Suas raízes são mais finas e ramificadas, com grande quantidade de pelos epidérmicos, o que lhe permite absorver maior quantidade de água num mesmo volume de solo (MAGALHÃES et al., 2003). Além disto, as raízes do sorgo apresentam um maior desenvolvimento subsuperficial, possibilitando a exploração de um maior volume de solo. Milho e sorgo apresentam massa radicular semelhante. No entanto, o número de raízes secundárias do sorgo é no mínimo o dobro das apresentadas pelo milho. A profundidade do sistema radicular do sorgo chega até 1,5 m, enquanto que o milho dificilmente ultrapassa 0,5 m (MAGALHÃES; DURÃES, 2010).

Outra característica que otimiza a água absorvida pelo sorgo é a relação parte aérea/raiz. O milho apresenta área foliar exuberante. Durante o florescimento ele possui de 6.000 a 9.000 cm² de folhas fotossinteticamente ativas. Por outro lado, aproximadamente 80% do seu sistema radicular está concentrado nos primeiros 20-30 cm de solo (SANGOI et al., 2010a). O sorgo possui 50 a 55% da área foliar do milho

(MAGALHÃES; DURÃES, 2003). Portanto, a menor relação parte aérea/raiz do sorgo contribui para sua maior eficiência no uso da água.

Redução da Transpiração

O sorgo possui várias características anatômicas e morfológicas que ajudam a reduzir a transpiração, retardando a redução do potencial hídrico das folhas.

Espessura da Cutícula

A cutícula é uma camada cerosa hidrofóbica que reveste a epiderme foliar. As folhas podem perder água por transpiração através da cutícula, provocando um aumento da transpiração sem benefício à fixação de CO₂ (LINO, 2011). Existem diferenças entre as espécies na estrutura cuticular. Arroz e milho são exemplos de culturas que têm uma cutícula altamente permeável. No sorgo esta estrutura é mais espessa e relativamente impermeável, o que reduz a transpiração cuticular. A maior deposição de substâncias hidrofóbicas na cutícula do sorgo também auxilia a folha a refletir a radiação incidente, diminuindo a quantidade de energia disponível para a transpiração (KERSTIENS, 2006). O acúmulo de água, em maior quantidade nas raízes, colmos e bainhas do que nas folhas, e a espessa camada de cera da epiderme contribuem para a maior tolerância à deficiência hídrica do sorgo (VIEIRA, 2006).

Células Buliformes

As plantas da família *Poaceae* possuem células epidérmicas modificadas chamadas de buliformes. Elas fazem com que as folhas enrolem quando submetidas a alta demanda evaporativa da atmosfera. O sorgo possui maior quantidade de células buliformes do que o milho. Isto faz com que suas folhas

enrolem mais rápida e eficientemente. O enrolamento foliar auxilia a retardar a desidratação de duas formas: diminuindo a quantidade de radiação incidente sobre as células do mesófilo e ajudando a preservar a camada limitrofe.

Estômatos

O sorgo possui estômatos menores do que o milho. A diminuição no tamanho dos estômatos é importante na regulação das trocas gasosas. Folhas com estômatos menores possuem maior eficiência no uso da água porque possuem menor tamanho do poro estomático, o que reduz a transpiração (MELO et al., 2007).

Tolerância à Desidratação

O sorgo possui maior capacidade de acumular intracelularmente solutos osmoticamente ativos do que o milho em resposta a deficiência hídrica (VIEIRA JÚNIOR et al., 2007). Esta característica, associada à redução do metabolismo, faz com que o sorgo hiberne nos períodos de restrição hídrica, apresentando grande capacidade de recuperação quando o suprimento de água é restabelecido. A paralização do crescimento permite ao sorgo acumular fotoassimilados antes da ocorrência da deficiência hídrica, os quais são utilizados para fomentar o crescimento após o estresse (DONATELLI et al., 1992). Em função das suas características de tolerância à desidratação, o sorgo murcha menos do que o milho e é capaz de se recuperar mais rapidamente de murchas prolongadas (MAGALHÃES; DURÃES, 2003).

A **Tabela 1** apresenta uma síntese das principais características das duas culturas que justificam maior capacidade do sorgo de tolerar períodos de deficiência hídrica do que o milho.

Tabela 1. Características morfológicas e fisiológicas de milho e sorgo relacionadas com a tolerância à deficiência hídrica.

Característica	Sorgo	Milho
1. Ajuste Osmótico/Dormência	Sim	Não
2. Eficiência do Uso da Água (Kg H ₂ O/Kg MS)	150-300	450-600
3. Cerosidade na Cutícula Foliar	Espessa	Fina
4. Área Foliar	50% AF. Milho	Dobro AF. Sorgo
5. Enrolamento Foliar Sob Estresse	Presente	Ausente
6. Profundidade do Sistema Radicular	> 1,0 m	Superficial (20 - 30 cm)
7. Relação Parte Área/Raiz	Baixa	Alta
8. Taxa de Crescimento do Sistema Radicular	> 1,0 cm/dia	Lento

Fonte: Adaptado de Magalhães et al. (2003)

Excesso Hídrico

Ocorrência

Os problemas com excesso hídrico normalmente ocorrem quando o teor de umidade do solo está próximo ou acima da capacidade de campo, que expressa o máximo conteúdo hídrico que um solo consegue reter sem que haja percolação. Nestes casos, a água preenche a maior parte da porosidade, criando um ambiente de anoxia. O excesso hídrico é mais comum em solos planos, pouco profundos, de textura argilosa, desestruturados ou compactados em razão do manejo inadequado.

Efeitos Fisiológicos

Num ambiente de anoxia, a respiração aeróbica do sistema radicular é inibida. Consequentemente, a energia na forma de ATP gerada por este tipo de respiração também se torna escassa. A redução na disponibilidade de ATP limita o crescimento radicular e a absorção de nutrientes. Em solos mal drenados, as culturas de sequeiro utilizam a rota metabólica alternativa da respiração anaeróbica. Contudo, a capacidade de geração de energia deste tipo de respiração é limitada. Além disto, em vez de CO₂ e H₂O (produtos finais da respiração aeróbica), a respiração aeróbica produz metabólitos que são tóxicos à planta, tais como etanol e lactato (SANGOI et al., 2007). O acúmulo destas substâncias reduz a condutividade hidráulica da raiz, dificultando o transporte de água e solutos orgânicos e inorgânicos até a parte aérea (SANGOI et al., 2010a).

As consequências da respiração anaeróbica são a clorose e desidratação da parte aérea. Para retardar a redução do potencial hídrico, as plantas sujeitas ao alagamento reduzem a condutância estomática. Isto limita a fotossíntese e o crescimento, resultando em menor acúmulo de massa seca na parte aérea e na raiz (MATTOS et al., 2005).

Milho e Sorgo em Ambientes com Excesso Hídrico

O sorgo é mais tolerante do que o milho ao excesso hídrico (MAGALHÃES et al., 2003; RODRIGUES; SILVA, 2011). Esta característica ficou evidenciada no trabalho conduzido por Bonfim-Silva et al. (2011), no qual houve redução significativa na massa seca de parte aérea e altura de planta quando o milho foi cultivado em solo alagado, enquanto que estas características não foram alteradas no sorgo (**Figuras 1 e 2**).

As plantas desenvolvem mecanismos de adaptação ao excesso hídrico que envolvem a respiração anaeróbica, o desenvolvimento de aerênquimas, a formação de maior número de raízes adventícias e alterações na estrutura anatômica da raiz (MATTOS et al., 2005). No caso do sorgo, a maior densidade radicular e a maior quantidade de pelos absorventes permitem que as raízes explorem mais eficientemente a macro e micro porosidade do solo, aumentando a sua capacidade de buscar oxigênio. Além disto, as raízes possuem sílica na endoderme e altos índices de lignificação no periciclo (MAGALHÃES et al., 2010). Estas duas características auxiliam a mitigar os efeitos negativos da respiração anaeróbica sobre a condutividade hidráulica da raiz.

Um ponto importante a destacar é que o sorgo é mais tolerante do que o milho ao excesso de umidade e baixas tensões de oxigênio no solo principalmente a partir do estágio 2 (colar da 5ª folha visível) da escala de Vanderlip (1993). Nas fases iniciais de desenvolvimento, que envolvem o estágio 0 (emergência) e 1 (colar da 3ª folha visível), a sensibilidade das duas culturas ao alagamento é semelhante. Isto ocorre porque durante os primeiros 20 a 30 dias após a emergência, quando a planta possui até 20 a 30 cm de altura, o ponto de crescimento ainda está abaixo da superfície do solo, o desenvolvimento do sistema radicular adventício é incipiente e a quantidade de sílica na endoderme é pouco expressiva.

Temperaturas Baixas

Considerações Gerais

A temperatura é a variável climática que mais interfere na velocidade de crescimento e desenvolvimento das duas

culturas. Para cada processo fisiológico existe uma temperatura mínima, abaixo da qual ele não ocorre. Esta temperatura é chamada de temperatura base (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014). Sempre que a temperatura do solo e do ar se aproximam da temperatura base, a evolução fenológica de milho e sorgo é retardada, comprometendo o desempenho agrônômico das duas culturas. O estresse ocasionado por temperaturas baixas é mais frequente em regiões de alta latitude e altitude.

Efeitos Fisiológicos

Os efeitos fisiológicos de temperaturas baixas sobre a performance de milho e sorgo dependem da fase do ciclo da cultura. No subperíodo semeadura-emergência baixas temperaturas de solo retardam a ativação da enzima alfa-amilase no escutelo. Com isto, a hidrólise do amido no endosperma e a mobilização da sacarose até o embrião é mais lenta. Isto posterga a divisão celular e o desenvolvimento da radícula, do mesocótilo e do coleótilo. Consequentemente, temperaturas de solo baixas retardam a emergência, podendo comprometer o estande de plantas (SANGOI; SILVA, 2016a).

Na fase de desenvolvimento vegetativo, temperaturas baixas retardam a diferenciação dos primórdios foliares e limitam a expansão foliar. Elas também reduzem a área foliar, o enraizamento, a altura da planta e o acúmulo de massa seca (SANS, 2009). O frio também limita a síntese de clorofila e, consequentemente, a fotossíntese. Temperaturas baixas após a diferenciação do primórdio floral podem afetar o desenvolvimento da inflorescência, causando esterilidade de espiguetas. Durante o enchimento de grãos, elas diminuem a atividade fotossintética e a translocação de fotoassimilados das folhas e colmos para os grãos.

Milho e Sorgo em Ambientes com Baixas Temperaturas

Por causa da sua origem tropical, o sorgo é um dos cultivos agrícolas mais sensíveis a baixas temperaturas (MAGALHÃES; DURÃES, 2010). Quando comparado ao milho, ele é menos tolerante ao frio em qualquer fase do seu ciclo.

Nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a recomendação é para que se inicie a semeadura do milho apenas quando a temperatura do solo estiver acima de 16° C. Para o sorgo recomenda-se retardar a semeadura até o momento em que a temperatura do solo for de 20 °C (RODRIGUES; SILVA, 2011). O sorgo é mais exigente em temperatura do solo para germinação e emergência do que o milho pela menor massa do seu grão, menor quantidade de reservas no endosperma e menor capacidade de expansão do mesocótilo e coleóptilo em solos frios.

As temperaturas base para o crescimento vegetativo são de 10 °C para o milho (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014) de 16 °C para o sorgo (MAGALHÃES; DURÃES, 2010). Embora existam variações entre as cultivares de cada espécie, isto indica que o sorgo é mais exigente do que o milho em temperaturas atmosféricas mais altas para o seu desenvolvimento. Portanto, o frio tem um efeito mais acentuado no sorgo sobre a síntese de clorofila, a área foliar, o perfilhamento, a altura da planta, o acúmulo de massa seca, a formação do grão de pólen e a esterilidade de espiguetas.

A vantagem adaptativa do milho sobre o sorgo em ambientes com temperaturas baixas aumentou nos últimos 30 anos, em função da ênfase dos programas de melhoramento das principais empresas produtoras de sementes de desenvolver

híbridos mais precoces. Híbridos de milho com menor exigência calórica para concluir seu ciclo possuem maior quantidade de genes provenientes de linhagens de clima temperado e melhor adaptação a temperaturas mais baixas do solo e do ar (PANISON et al., 2016).

Temperaturas Elevadas

Considerações Gerais

Todas as espécies vegetais apresentam uma temperatura ótima, na qual os seus processos fisiológicos ocorrem com a máxima eficiência. O valor da temperatura ótima depende da cultura, cultivar, do estágio de desenvolvimento, processo fisiológico e da disponibilidade de outros elementos meteorológicos, como água e radiação solar (SANGOI et al., 2010a).

Quando a temperatura do solo e do ar excede a temperatura ótima, a eficiência metabólica dos processos fisiológicos diminui. O estresse ocasionado por temperaturas elevadas é mais frequente em regiões de menor altitude e latitude. Ele tem sido cada vez mais comum nos últimos 50 anos, em função do aquecimento global decorrente da emissão de gases de efeito estufa, tais como CO₂, CH₄ e N₂O (MORAES, 2011).

Efeitos Fisiológicos

Temperaturas elevadas apressam a divisão celular, a diferenciação foliar e o desenvolvimento das inflorescências, encurtando a duração dos subperíodos semeadura-emergência, emergência-florescimento e enchimento de grãos.

A ocorrência de temperaturas elevadas, superiores a temperatura ótima, reduz a condutância estomática,

principalmente quando associada à deficiência hídrica. A redução da condutância estomática limita o influxo de CO₂ e, conseqüentemente, a atividade fotossintética das culturas. Por outro lado, a respiração é diretamente proporcional a temperatura. Este efeito é potencializado quando há ocorrência de temperaturas noturnas elevadas nas fases de pré-floração, floração e início do enchimento de grãos. A noite a planta paralisa sua atividade fotossintética, mas continua respirando. A redução da fotossíntese e o aumento da respiração reduzem a disponibilidade de fotoassimilados aos óvulos recém fertilizados. Isto diminui a fase de dilatação dos grãos, na qual há intensa atividade mitótica. O encurtamento da fase de dilatação estimula a competição entre os grãos dentro da inflorescência. Assim, a redução no suprimento de carboidratos pode fomentar o aborto de óvulos. Além disto, temperaturas elevadas após a floração apressam a senescência foliar, induzindo a formação de grãos mais leves (SANGOI; SILVA, 2016a).

Milho e Sorgo em Ambientes com Temperaturas Elevadas

As temperaturas atmosféricas que otimizam a atividade fotossintética e a velocidade de crescimento e desenvolvimento são de 28-30 °C para o milho (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014) e de 33-34 °C para o sorgo (MAGALHÃES; DURÃES, 2010). Quando comparado ao milho, o sorgo é mais tolerante às altas temperaturas, pois sua produtividade não é negativamente afetada por temperaturas de até 38 °C (MAGALHÃES et al., 2003).

As características responsáveis pela maior tolerância do sorgo a temperaturas elevadas são similares às descritas no item 2.1.4 deste capítulo, responsáveis pela maior adaptação

da cultura a estiagem. Neste sentido, o sorgo é mais hábil do que o milho em manter a condutância estomática em climas quentes e secos, por causa da maior capacidade de absorção de água e maior eficiência da parte aérea de retardar e tolerar a desidratação. Por isto, ele consegue preservar a fotossíntese por mais tempo, aumentando a disponibilidade de fotoassimilados para manutenção do crescimento da planta e dos seus processos metabólicos mais importantes.

Ambientes sem Estresse

Nos ambientes com condições favoráveis de temperatura e umidade, o milho apresenta três vantagens agrônômicas importantes em relação ao sorgo.

Potencial Produtivo

Tanto o milho quanto o sorgo são plantas com alta eficiência fotossintética, em função do seu mecanismo C4 de fixação de carbono. No entanto, o milho é mais hábil do que o sorgo em alocar os fotoassimilados que produzem a estrutura de interesse econômico. A consequência disto é que os seus tetos de produtividade são maiores que os do sorgo. Em 2015, o produtor americano David Hula, do Estado de Virgínia, bateu o recorde de produtividade no concurso *National Corn Growers Association*, alcançando a marca de 532 *buschels* por acre, equivalente a mais de 33.000 kg ha⁻¹ (HÍBRIDO..., 2016). Em Santa Catarina, produtividades de 18.700 kg ha⁻¹ foram reportadas por Schmitt (2014). No caso do sorgo, as máximas produtividades de grãos registradas na literatura sob condições ótimas de manejo raramente ultrapassam 12.000 kg ha⁻¹.

Qualidade do Grão

O grão de sorgo possui de 90 a 95% da qualidade nutricional do grão de milho (RODRIGUES; SILVA, 2011). Além disto, por não apresentar uma proteção para as sementes, como a palha do milho e as glumas do trigo, o sorgo produz vários compostos fenólicos que servem como uma defesa química contra pássaros, patógenos e outros competidores (MAGALHÃES; DURÃES, 2010). Entre estes compostos destaca-se o tanino condensado, que tem ação antinutricional principalmente para animais monogástricos. A presença do tanino no grão tem causado bastante controvérsia. Ela tem a vantagem agrônômica de aumentar a resistência ao ataque de agentes bióticos. Por outro lado, causa problemas na digestão dos animais por formar complexos com proteínas e diminuir a sua palatabilidade.

Mercado

O melhor valor nutricional e maior disponibilidade fazem com que os mercados interno e externo para comercialização do milho sejam mais abrangentes e expressivos que os do sorgo. A demanda brasileira por milho é de aproximadamente 55 milhões de toneladas. Por outro lado, o país produziu nas duas últimas safras mais de 80 milhões de toneladas. Isto lhe propiciou um excedente superior a 20 milhões de toneladas, que tem sido exportado para diversos países. Portanto, o Brasil, que há pouco mais de 10 anos era irrelevante no mercado internacional, atualmente é o segundo maior exportador mundial de milho, atrás apenas dos Estados Unidos (TESTA, 2016).

Características Fisiológicas e Práticas de Manejo

Época de Semeadura

Considerações Gerais

A estação de crescimento dos cereais estivais é limitada ao período no qual os fatores do ambiente estão disponíveis em quantidades suficientes para permitir o pleno crescimento e desenvolvimento das plantas. Nas regiões subtropicais e temperadas, o período de cultivo de milho e sorgo é definido pelas variações na disponibilidade térmica e de radiação solar. Nas regiões tropicais, é a distribuição das chuvas que determina a melhor época de cultivo.

A escolha da melhor época de semeadura do milho e do sorgo é uma decisão importante. Ela afetará diversas características relevantes das duas culturas, sem interferir significativamente nos custos de produção. A época de semeadura ideal depende de diversos fatores, como posição geográfica do local, condições climáticas, incidência de pragas, doenças e ciclo da cultivar.

Do ponto de vista meteorológico, o objetivo é semear as duas culturas numa época que propicie o máximo aproveitamento da radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica, potencializando o rendimento de grãos (SANGOI et al., 2010a).

Épocas de Semeadura Potenciais

O período para a semeadura dos cereais estivais na região Sul do Brasil inicia-se no final de julho e se estende até meados de março. Dentro desta amplitude de aproximadamente

oito meses, existem três épocas potenciais de semeadura, considerando o aproveitamento da radiação solar.

Semeaduras Antecipadas

São denominadas de semeaduras antecipadas aquelas realizadas antes do início da primavera, entre o final de julho e a primeira quinzena de setembro. Quando semeados nesta época, os cereais estivais se desenvolvem vegetativamente com base nas precipitações que ocorrem na primavera, com menor disponibilidade térmica e de radiação solar (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

Nas semeaduras antecipadas, as menores temperaturas do solo e do ar diminuem e velocidade de desenvolvimento da planta. Elas também restringem o crescimento vegetativo, reduzindo a estatura e a área foliar.

As semeaduras antecipadas são adotadas nas regiões mais baixas e quentes dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, nas quais o risco de geadas tardias é menor. Elas têm como vantagens a menor probabilidade de deficiência hídrica na floração, a antecipação da colheita e a liberação da área mais cedo para implantação de uma segunda cultura em sucessão, dentro da mesma estação de crescimento (SANGOI; SILVA, 2016a).

O milho é mais adaptado do que o sorgo às semeaduras antecipadas, por causa da sua maior capacidade de germinar e emergir em solos frios e a sua menor exigência térmica para se desenvolver vegetativamente. Nesta época de semeadura, alguns híbridos de ciclo hiper e superprecoce tem apresentado excelente desempenho agrônômico. Piana et al. (2008)

obtiveram rendimentos de grãos de 13.000 a 16.000 kg ha⁻¹ semeando milho em meados de agosto na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul (**Figura 3a**).

Semeaduras Preferenciais

As semeaduras preferenciais são aquelas feitas no início da primavera, entre meados de setembro e o início de novembro. Quando semeados nesta época, milho e sorgo alcançam o florescimento, período de maior área foliar das duas culturas, entre meados de dezembro e meados de janeiro, quando os dias são mais longos. Isto otimiza o aproveitamento da radiação solar, principalmente sob condições hídricas favoráveis (SANGOI et al., 2007).

Nesta época de semeadura, tanto milho quanto sorgo podem ser boas alternativas. Quanto mais regular e bem distribuída for a precipitação pluviométrica, mais favorável é o cenário para a cultura do milho, em função do seu maior potencial produtivo e melhor valor nutricional do grão. Quanto maior a probabilidade de deficiência hídrica, principalmente na floração, mais viável se torna o cultivo do sorgo, em função da sua melhor adaptação a ambientes quentes e secos.

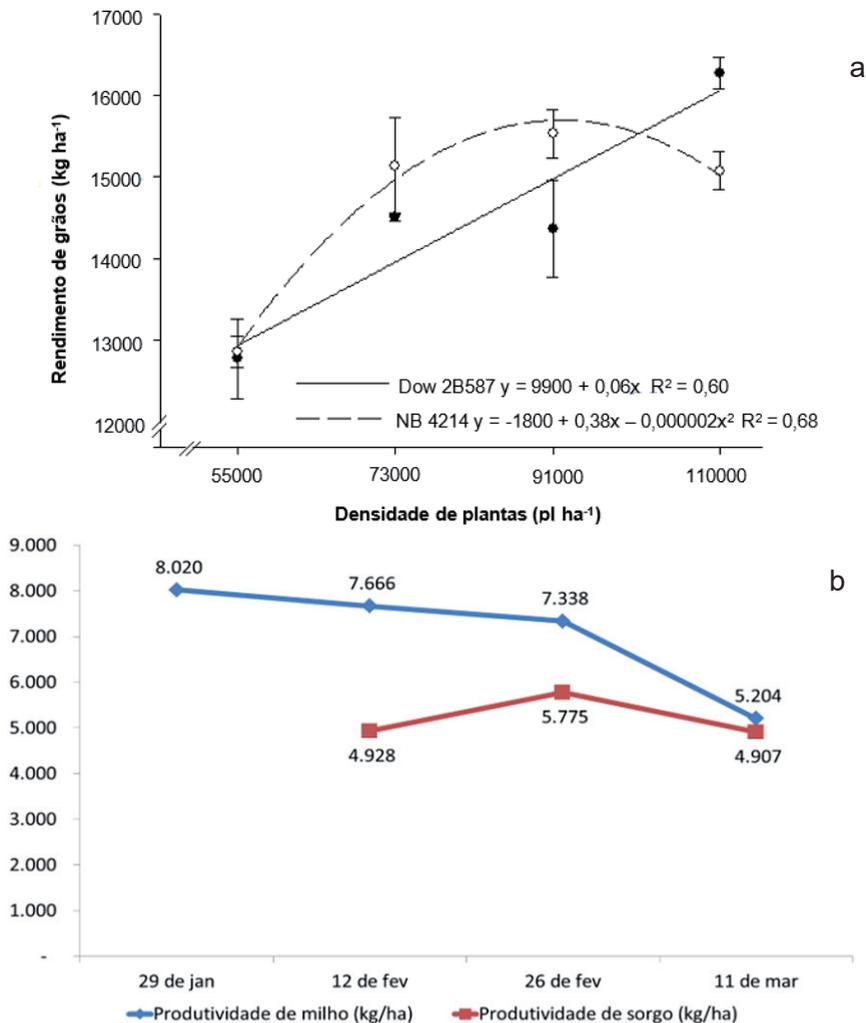


Figura 3. Rendimento de grãos do milho em função da densidade de plantas nas semeaduras antecipadas em Eldorado do Sul, RS (a). Fonte: Piana et al. (2008). Efeito da época de semeadura sobre o rendimento de grãos de milho e sorgo cultivados na safrinha (b). Fonte: Menezes (2015).

Semeaduras Tardias

Semeaduras tardias são aquelas efetuadas depois do período ideal para o aproveitamento da radiação solar, entre o início de novembro e meados de março (SANGOI et al., 2010a).

Nas semeaduras realizadas tardiamente há coincidência do período de desenvolvimento vegetativo com temperaturas mais elevadas do solo e do ar. Por outro lado, há redução na disponibilidade de radiação solar e na temperatura no sul do Brasil e na disponibilidade hídrica no Centro Oeste durante as fases de florescimento e enchimento de grãos.

O exemplo mais consolidado de semeadura tardia de milho e sorgo é o cultivo de safrinha, onde as duas culturas são implantadas entre meados de janeiro e meados de março, após a colheita da soja. A época de implantação da safrinha é importante para a escolha da cultura a ser utilizada. Quando a soja é colhida cedo e o segundo cultivo é implantado entre meados de janeiro e meados de fevereiro, o milho é geralmente a melhor opção. Por outro lado, quando o segundo cultivo é implantado tardiamente, a partir do final de fevereiro e início de março, o sorgo pode ser uma melhor alternativa, em razão da sua maior tolerância a estiagem, maior estabilidade produtiva e menor custo de produção (**Figura 3b**).

Profundidade de Semeadura

Considerações Gerais

A profundidade de semeadura é uma prática cultural importante, pois interfere na velocidade de germinação, na duração do subperíodo semeadura-emergência, na percentagem de plantas emergidas e na uniformidade do estande. Semeaduras muito superficiais aumentam os riscos

de ressecamento da semente, favorecem o ataque de agentes bióticos como pássaros e roedores e predispõem as plantas ao acamamento, por causa da formação do sistema radicular adventício muito próximo da superfície do solo. Por outro lado, sementeiras muito profundas aumentam a duração do subperíodo sementeira-emergência, favorecem o ataque de patógenos de solo, diminuem a percentagem de plantas emergidas e tornam a emergência mais desuniforme (CORTEZ et al., 2006).

Efeitos da Profundidade de Sementeira

A profundidade de sementeira recomendada para o milho e o sorgo varia de 3 a 5 cm (RODRIGUES; SILVA, 2011). A profundidade ideal depende da textura, teor de umidade e temperatura do solo. Recomenda-se semear mais superficialmente em solos argilosos, com alto teor de umidade e baixa temperatura. Sementeiras mais profundas são indicadas para solos de textura arenosa, menor disponibilidade hídrica e temperaturas elevadas.

O milho é mais flexível do que o sorgo a variações na profundidade de sementeira, sendo capaz de emergir mesmo quando a semente é posicionada a 10 cm da superfície do solo (**Tabela 2**). O sorgo tem grande dificuldade de emergir quando a semente é colocada a mais de 5 cm de profundidade. A massa de 1.000 grãos do milho varia de 250 a 350 gramas (SANGOI et al., 2007), enquanto que a do sorgo oscila entre 1 e 6 gramas (MAGALHÃES et al., 2003). Tanto para o milho quanto para o sorgo o endosperma representa 80% da massa do grão. O endosperma é rico em amido, que é a fonte de energia para que a semente possa germinar. Portanto, o grão de milho possui maior quantidade de reservas do que o de sorgo, o

que lhe confere maior capacidade de expansão do mesocótilo e de emergência em semeaduras profundas (SANGOI et al., 2004). Deve-se destacar que alguns fatores podem mitigar a capacidade do milho de emergir adequadamente quando semeado a profundidades maiores do 5 cm. Entre eles podem ser citados a temperatura do solo e o tamanho da semente. Solos frios restringem a capacidade de expansão do mesocótilo. Este efeito é mais pronunciado em sementes pequenas.

Densidade de Plantas

Considerações Gerais

A densidade de plantas é uma prática de manejo importante para potencializar o rendimento de grãos das principais plantas de lavoura. Ela interfere no índice de área foliar e, conseqüentemente, na eficiência do dossel em interceptar e utilizar a radiação solar à produção de grãos (SANGOI et al., 2010b). Além disto, tem efeito sobre os custos de produção, a duração do período crítico de competição com plantas daninhas, a incidência doenças, a arquitetura de plantas e a porcentagem de colmos acamados e quebrados (SILVA et al., 2006).

Tabela 2. Valores médios da temperatura do solo, porcentagem e velocidade de emergência do milho, obtidas em diferentes profundidades de semeadura, em duas épocas de cultivo.

Profundidade de semeadura (cm)	29/01/2003 (1ª época de semeadura)			
	Temperatura do solo entre a semeadura e a emergência (°C)	Emergência cinco dias após a semeadura (%)	Emergência dez dias após a semeadura (%)	Dias para 85% de emergência (nº)
2,5	32,5	100,0*a	100,0 a	3,8 c
5,0	28,0	99,0 a	99,0 a	4,0 c
7,5	25,7	94,0 b	97,2 ab	4,8 b
10,0	23,2	85,0 c	94,9 b	5,6 a
Profundidade de semeadura (cm)	26/03/2003 (2ª época de semeadura)			
	Temperatura do solo entre a semeadura e a emergência (°C)	Emergência cinco dias após a semeadura (%)	Emergência dez dias após a semeadura (%)	Dias para 85% de emergência (nº)
2,5	21,0	89,3 a	97,2 a	5,5 d
5,0	20,0	10,2 b	92,6 b	8,0 c
7,5	19,5	0,5 c	84,2 b	11,0 a
10,0	18,5	0,0 c	70,8 c	14,3 a

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna para cada época de semeadura não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de significância de 5%.

Fonte: Sangoi et al. (2004).

Cada espécie vegetal apresenta uma densidade ótima, que representa o número de plantas por unidade de área necessário para alcançar a máxima produtividade num determinado ambiente. A definição da população necessária para otimizar a utilização dos recursos disponíveis e o rendimento de grãos depende de vários fatores, tais como disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, cultivar, época de semeadura, latitude e altitude do local.

Efeitos da Densidade de Plantas

As densidades recomendadas para o milho variam de 40.000 a 80.000 pl ha⁻¹ (SANGOI; SILVA, 2016b). No caso do sorgo, a recomendação quanto a população de plantas oscila entre 180.000 a 220.000 pl ha⁻¹ (RODRIGUES, 2012). Estes valores indicam que há maior variação na recomendação da população desejável para o milho do que para o sorgo, pois esta prática cultural tem maior impacto sobre o seu rendimento de grãos. Este comportamento é ilustrado pelos dados da **Figura 4** em trabalhos conduzidos por Schmitt (2014) com milho em Lages, SC, e por Albuquerque et al. (2011) com sorgo granífero no norte de Minas Gerais. O rendimento de grãos do milho aumentou com o incremento na população de 30.000 até 110.000 pl ha⁻¹ (**Figura 4a**). Já no caso do sorgo, o impacto das variações na população de 100.000 para 180.000 pl ha⁻¹ foi muito pequeno (**Figura 4b**).

A maior resposta do milho a variações na densidade ocorre porque, diferentemente de outras espécies da família *Poaceae*, ele não possui um mecanismo eficiente de compensação de espaços em baixas densidades. Ele perfilha pouco e seus perfilhos não produzem espigas (SANGOI et al., 2010b). Além disto, não altera significativamente o número das folhas e possui baixa prolificidade (SANGOI et al., 2002). Portanto, o milho possui menor plasticidade vegetativa e reprodutiva do que o sorgo, o que o torna mais exigente em população de plantas para otimizar o rendimento de grãos.

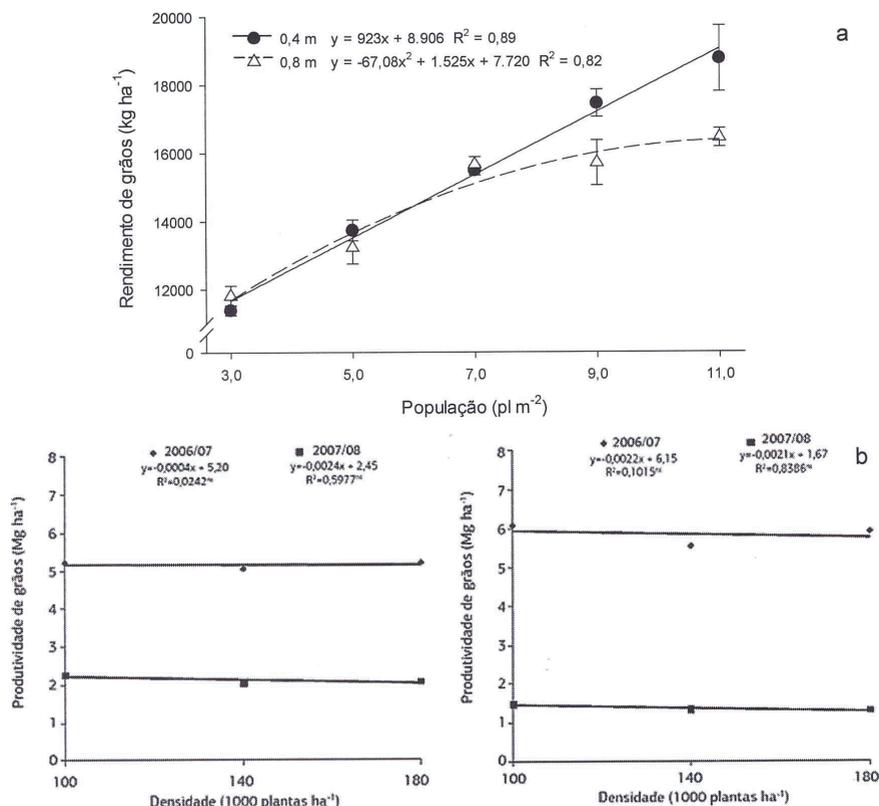


Figura 4. Rendimento de grãos do milho em dois espaçamentos e cinco densidades de plantas. Lages, SC (a). Fonte: Schmitt (2014). Efeito da densidade de plantas sobre a produtividade de grãos de cultivares de sorgo granífero: 1 G220 (esquerda) e BRS 310 (direita), na região norte de Minas Gerais (b). Fonte: Adaptado de Albuquerque et al. (2011).

Considerações Finais

Milho e sorgo são dois cereais estivais de grande importância para a humanidade. Embora sejam próximas taxonomicamente e possuam características morfológicas semelhantes, as duas espécies também apresentam atributos fisiológicos distintos que podem potencializar seu desempenho agrônomo em função das características do ambiente e das práticas de manejo utilizadas na implantação da lavoura.

O milho apresenta como vantagens fisiológicas o maior potencial produtivo, melhor valor nutricional do grão, melhor adaptação a temperaturas baixas de solo e do ar e maior flexibilidade quanto a variações na profundidade de semeadura. É uma excelente opção para as semeaduras feitas no final do inverno e início da primavera e nos ambientes sem grande restrição hídrica.

O sorgo granífero possui como vantagens fisiológicas a maior tolerância a deficiência hídrica, temperaturas elevadas e solos mal drenados, bem como maior flexibilidade quanto a variações na população de plantas. É uma boa opção em regiões quentes e secas ou épocas de semeadura que predisponham a cultura a alto risco de estiagem na fase reprodutiva.

Referências

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; RODRIGUES, J. A. S.; BRANT, R. S.; MENDES, M. C. Espaçamento e densidade de semeadura para cultivares de sorgo granífero no semiárido. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 278-285, 2011.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater-RS: Ascar, 2014. 84 p.

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: GRUISSEM, W.; BUCHANNAN, B.; JONES, R. **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 1158-1249.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, p. 180-186, 2011.

BOYER, J. S. Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low leaf water potential. **Plant Physiology**, Washington, v. 47, p. 816-820, 1971.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos: safra 2014/15: décimo segundo levantamento. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_42_03_boletim_graos_setembro_2015.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2016.

CORTEZ, J. W.; FILHO, A. C.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; SIMONIS, D. B. Comportamento da cultura do sorgo em função do tipo de rodas compactadoras e cargas verticais impostas na operação de semeadura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, p. 461-469, 2006.

DONATELLI, M.; HAMMER, G. L.; VANDERLIP, R. L. Genotype and water limitation effects on phenology, growth, and

transpiration efficiency in grain sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 781-786, 1992.

HÍBRIDO marca Pioneer® bate recorde mundial de produtividade. **Revista Pioneer**, n. 41, p. 25, 2016. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/DownloadCenter/Revista-Pioneer-N41.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

KERSTIENS, G. Water transport in plant cuticles, an uptade. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 57, p. 2493-2499, 2006.

LINO, L. O. **Características anatômicas e fisiológicas de genótipos de sorgo contrastante a seca**. 2011. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Ecofisiologia. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 2).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Ecofisiologia da produção de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 87).

MAGALHÃES, R. T.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; RODRIGUES, J. A. S.; FONSECA, J. F. Produção e composição bromatológica de vinte e cinco genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 62, p. 747-751, 2010.

MATTOS, J. L. S.; GOMIDE, J. A.; HUAMAN, C. A. M.

Crescimento de espécies do gênero *brachiaria* sob alagamento em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, p. 755-763, 2005.

MELO, H. C.; CASTRO, E. M.; SOARES, A. M.; MELO, L. A.; ALVES, J. D. Alterações anatômicas e fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex Massey e *Paspalum paniculatum* L. sob condições de déficit hídrico. **Hoehnea**, São Paulo, v. 34, p. 145-153, 2007.

MENEZES, C. B. de (Ed.). **Sorgo granífero: estenda sua safrinha com segurança**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 65 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 176).

MORAES, W. B. Potenciais impactos das mudanças climáticas globais sobre a agricultura. **Revista Trópica**, v. 5, p. 5-10, 2011.

PANISON, F.; SANGOI, L.; KOLLING, D. F.; COELHO, C. M. M.; DURLI, M. M. Harvest time and agronomic performance of maize hybrids with contrasting growth cycles. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 38, p. 219-226, 2016.

PIANA, A. T.; SILVA, P. R. F.; BREDEMEIER, C.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M.; SERPA, M. S.; JANDREY, D. B. Densidade de plantas de milho híbrido em semeadura precoce no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 2608-2612, 2008.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26 p. (Special report, 48).

RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 7. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 2).

RODRIGUES, L. R.; SILVA, P. R. F. da (Org.). **Indicações técnicas para o cultivo de milho e sorgo no Rio Grande do Sul, safras 2011/2012 e 2012/2013**. Porto Alegre: Fepagro, 2011. 140 p.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, p. 101-110, 2002.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; HORN, D.; BIANCHET, P.; GRACIETTI, M. Tamanho de semente, profundidade de semeadura e crescimento inicial do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 3, p. 370-380, 2004.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2007. 95 p.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2010a. 87 p.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. **Estratégias de manejo do arranjo de plantas para aumentar o rendimento de grãos de milho**. Lages: Graphel, 2010b. 64 p.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; SILVA, P. R. F.; ZOLDAN, S.; VARGAS, V. P. Perfilamento como característica mitigadora dos prejuízos ocasionados ao milho pela desfolha do colmo principal.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 47, p. 1605-1612, 2012.

SANGOI, L.; BOTOLUZZI, R. L. C. Botânica, origem, evolução e dispersão. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento do milho**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2016. p. 15-31.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. Crescimento, desenvolvimento épocas de semeadura. In: WODELL FILHO, J. A.; CHIARADIA, L. A. (Ed.). **A cultura do milho em Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2016a. p. 25-84.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. Estratégias de manipulação do arranjo de plantas e desempenho agrônômico do milho. In: WODELL FILHO, J. A.; CHIARADIA, L. A. (Ed.). **A cultura do milho em Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2016b. p. 25-84.

SANS, L. M. A. Influência dos atributos climáticos na implantação do milho e sorgo na safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 10., 2009, Rio Verde. **Anais**. Rio Verde: Universidade de Rio Verde, 2009. p. 67-74.

SCHMITT, A. **Arranjo de plantas para maximizar o desempenho agrônômico de milho em ambientes de alto manejo**. 2014. 226 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

SILVA, P. R. F.; SANGOI, L.; STRIEDER, M. L.; ARGENTA, G. **Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 64 p.

SILVA, M. L. **Avaliação de genótipos de sorgo forrageiro na zona da mata de Alagoas**. 2011. 75 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Alagoas, Alagoas.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 722 p.

TESTA, V. M. Aspectos socioeconômicos da produção de milho. In: WODELL FILHO, J. A.; CHIARADIA, L. A. (Ed.). **A cultura do milho em Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2016. p. 11-24.

USDA. United States Department of Agriculture. **Crop production 2015**. Washington, 2015. Disponível em: <<http://www.usda.gov/nass/PUBS/TODAYRPT/crop0915.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2016.

VANDERLIP, R. L. **How a sorghum plant develops**. Manhattan: Kansas State University: Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, 1993. 28 p. (Contribution n. 1203).

VIEIRA, M. R. **Produtividade, análise químico-bromatológicas e nutrição mineral de plantas de sorgo forrageiro irrigados com águas salinas**. 2006. 97 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

VIEIRA JÚNIOR, P. A.; DOURADO NETO, D.; OLIVEIRA, R. F.; PERES, L. E. P.; MARTIN, T. N.; MANFRON, P. A.; BONNECARRERE, R. A. G. Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Agronomia**, Maringá, v. 29, p. 555-561, 2007.

Capítulo 3

Construção da Fertilidade do Solo no Sistema de Integração Lavoura-Pecuária

Ibanor Anghinoni

Amanda Posselt Martins

Paulo Cesar de Faccio Carvalho

Introdução

O conceito de Fertilidade do Solo surgiu antes mesmo do entendimento do próprio solo e está relacionado ao desenvolvimento da humanidade, desde a Antiguidade, quando o homem passou a depender do cultivo da terra. As primeiras noções surgiram com Columella, em 42 d.C., ao verificar a capacidade contínua e renovável do solo pelo cultivo. A humanidade e a agricultura evoluíram juntas e a evolução da noção de Fertilidade do Solo pode ser caracterizada pelos seguintes eventos principais: a) de que era dependente da ação do intemperismo e da textura do solo (Ibn Al Awam, no século XII); b) da teoria humista (Wallerius em 1761); e c) da teoria mineralista (Liebig em 1840), ainda em voga. Segundo esse conceito (clássico), a fertilidade é conceituada como *a capacidade do solo de fornecer às plantas nutrientes, em quantidades e proporções adequadas e de manter a ausência de elementos tóxicos para o seu desenvolvimento* (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1987; SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1993). Trata-se sobretudo de um conceito

químico-mineralista, em que o termo químico, agregado a esse conceito, se refere às metodologias e equipamentos para a análise dos atributos químicos como supridores de nutrientes (termo mineralista) e indicadores de toxidez para as plantas.

Como o uso e o manejo do solo têm se modificado no tempo e no espaço pelos hábitos e cultura dos povos, os atributos químicos indicadores da fertilidade do solo passaram a ter diferentes interpretações e significados. Assim, a partir da década de 1960, vários programas de pesquisa no Brasil, precedidos por iniciativas individuais ou de grupos de produtores - especialmente no Paraná -, resultaram na adoção de manejos mais conservacionistas de solo nos ambientes subtropical e tropical brasileiros. Tais iniciativas foram centradas na redução ou eliminação do preparo do solo, introdução de plantas de cobertura, rotação de culturas no tempo e no espaço e manejo adequado da biomassa residual, pela eliminação da queima da resteva (SÁ, 1993, 1999; WIETHÖLTER, 2000; RUEDELL, 1995; LOPES et al., 2004). Essas mudanças tiveram reflexos positivos na redução das perdas de solo por erosão e aumento na eficiência dos fertilizantes e dos corretivos e, posteriormente, na qualidade do solo.

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs) são mais conhecidos no Brasil pela denominação de integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e correspondem a associações entre pecuária e cultivos, notadamente comerciais, em escala de fazenda (CARVALHO et al., 2014). Eles constituem sistemas planejados em diferentes escalas espaço-temporais na mesma área, de forma concomitante ou sequencial, e mesmo entre áreas distintas (MORAES et al., 2014). Os SIPAs remetem aos primórdios da

agricultura, não se tratando de novos modelos de produção (novas tecnologias), mas sim de ressurgência. A novidade é que a ciência brasileira apresenta ao mundo o uso desse conceito sob os pilares da agricultura conservacionista (ANGHINONI et al., 2013; CARVALHO et al., 2015). Em semeadura direta, com a presença de adequada cobertura de solo e de rotação de culturas mais o efeito do pastejo, ocorrem interações de forma sinérgica, aportando novas propriedades, ditas emergentes (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011; MELO, 2011), aos sistemas integrados (ANGHINONI et al., 2013; MARTINS et al., 2015).

Diversidade e complexidade são características inerentes desses sistemas de manejo e o grau de interações sinérgicas é, então, dependente de quanto complexo é o sistema, temporalmente e espacialmente. Quanto maior a diversidade, maior a temporalidade com que os arranjos de integração se repetem; e, quanto menor o espaço físico de interação entre os componentes, maior a possibilidade de ocorrência de sinergia. A organização da diversidade, da temporalidade e da espacialização melhora as características dos sistemas integrados; assim, quanto mais diversos o forem, mais os sistemas integrados se aproximam do ambiente natural e, com isso, afetam o ritmo de seu funcionamento e mantêm um equilíbrio dinâmico (KIRSCHENMANN, 2007; ANGHINONI et al., 2013). A *construção* dos sistemas integrados, pela escolha dos componentes e estratégia de seus arranjos espaço-temporais, define a natureza (elementos envolvidos) e a magnitude (quantidade dos fluxos) dos ciclos biogeoquímicos presentes. O solo, nesses sistemas, pode ser considerado o compartimento centralizador dos processos e aquele que captura as modificações do sistema de produção. Por sua vez, o animal em pastejo atua como o agente catalisador, que modifica as taxas

e os fluxos dos processos sistêmicos, reciclando o material orgânico e determinando a dinâmica dos nutrientes entre os compartimentos do sistema (ANGHINONI et al., 2013, 2015).

Construindo a Fertilidade do Solo no Conceito Químico-Mineralista

Até meados da década de 1960, prevalecia, no Brasil, uma agricultura de pequena escala tipicamente familiar, trazida pelos imigrantes europeus, especialmente alemães e italianos, no Sul do Brasil. Esta agricultura era baseada na utilização da fertilidade natural, especialmente de áreas de mata ou campo nativo e, à medida que essa fertilidade passava a limitar a produção agrícola, passou a utilizar a adubação orgânica (mormente esterco de bovinos, suínos e aves), farinha de osso, fosfato natural e áreas de descanso. Entretanto, com o seu uso intensivo (mobilização intensa do solo e cultivos contínuos), os solos tornaram-se cada vez mais ácidos e improdutivos, as lavouras passaram a ser abandonadas e ocorreu uma emigração em massa desses agricultores para outros estados em busca de melhores áreas e condições.

A partir dessa década (1960), a agricultura também teve um progresso extraordinário, estimulado pela mecanização agrícola, pelo uso de insumos modernos, especialmente adubos minerais, e pela adoção de novas tecnologias. A análise de solo passou a ser a base para os sistemas de recomendação da adubação e correção da acidez. A real implantação desse conceito no Brasil aconteceu nessa década, fruto do convênio do Ministério da Agricultura com os EUA, pelo Programa Nacional de Análises de Solos, e pela implantação da Pós-Graduação no Brasil, com convênios e intercâmbios com

várias universidades estrangeiras, especialmente americanas (ANGHINONI; VOLKWEISS, 1984).

O ambiente de abandono, de degradação e de *terras cansadas* foi o cenário para o início de um dos maiores programas de extensão conduzidos em países em desenvolvimento, conforme descrição da FAO. A partir do uso efetivo da análise do solo, como base para a recomendação da calagem e da adubação, especialmente de culturas de grãos comerciais (*commodities*), teve início no final da década de 1960, um programa de pesquisa e de transferência de tecnologia, denominado Programa de Melhoramento da Fertilidade do Solo (Operação Tatu no RS e Operação Fertilidade do Solo em SC). As recomendações desse programa visavam a correção da acidez do solo (elevando o pH à condição ótima para as culturas) (VOLKWEISS et al., 1969) e a adubação constava de duas partes: uma corretiva (elevação dos teores acima do crítico) e outra de manutenção (visando a produtividade de cada cultura) (MIELNICZUK et al., 1969).

Como benefícios principais, foram os incrementos em produtividade com retorno econômico, e os solos exauridos pelo uso intensivo tiveram melhoria em sua fertilidade, conforme demonstra levantamento em 20 lavouras da região produtora do Rio Grande do Sul (MIELNICZUK; ANGHINONI, 1976): o pH se mantinha em nível adequado e o efeito residual da calagem era de 66% e os teores de fósforo e potássio se encontravam acima dos considerado críticos, após seis anos de sua implantação. O sucesso desse programa de *construção* da fertilidade do solo foi muito importante na ampliação da fronteira agrícola no país, especialmente pela exploração dos

solos de baixa fertilidade da região de Cerrado e de outras regiões do trópico brasileiro.

Perda da Fertilidade pelo Manejo Intensivo do Solo

Em paralelo ao uso de insumos agrícolas, a partir da década de 1970, e preparo intensivo do solo, houve um processo acelerado de sua degradação, tornando-o vulnerável à erosão hídrica e reduzindo a sua produtividade. As práticas nocivas de manejo do solo incluíam o uso continuado de culturas em sucessão, a queima de resíduos (palhada) após a colheita, o preparo intenso do solo com arações e gradagens de modo a pulverizá-lo, em períodos de grande erosividade das chuvas e a manutenção de solo descoberto no período de entressafra. Nesse processo, embora houvesse melhoria nos atributos químicos pela adubação e calagem, as boas características originais do solo (matéria orgânica e estrutura) eram gradativamente destruídas. O processo, no início, não era percebido, porque a produtividade ainda se mantinha estável pela aplicação de adubos e de corretivos de acidez e a erosão ainda estava em níveis toleráveis. Após um período de 10 a 15 anos, os teores de matéria orgânica já haviam decrescido muito (perda de até 70%) e o solo já se encontrava em pleno processo de desestruturação: ocorria compactação abaixo da camada arável, pelo uso intensivo de implementos, o que impedia a penetração da água e de raízes, a erosão tornava-se acelerada e a produtividade era severamente reduzida. A eficiência da aplicação de adubos e de corretivos era limitada, quer pelas condições físicas adversas, quer pelas perdas por erosão. Com o tempo, o processo era tão violento que o solo começava a ser novamente abandonado pelo agricultor, em razão da baixa

produtividade e do alto custo dos insumos e de operação das máquinas agrícolas.

Evolução da Fertilidade do Solo pelo Manejo Conservacionista

A partir da perda de fertilidade pelo manejo intensivo do solo, ainda na década de 1970, várias iniciativas foram centradas na redução ou eliminação do preparo do solo, introdução de plantas de cobertura, rotação de culturas (no tempo e no espaço) e manejo adequado da biomassa residual (eliminação da queima da resteva) (SÁ, 1993, 1999; WIETHÖLTER, 2000; RUEDELL, 1995; LOPES et al., 2004). Essas mudanças tiveram reflexos positivos na redução das perdas de solo por erosão e aumento na eficiência dos fertilizantes e dos corretivos e, posteriormente, na qualidade do solo.

Foi nessa época que começaram a ser implantados experimentos de longa duração, que foram fundamentais para detectar pequenas mudanças em uma matriz complexa de fatores e que se constituíram na oportunidade de exercitar pesquisa multi-interdisciplinar, necessária para quantificar os efeitos do manejo nas propriedades e características do solo, entre elas, os seus atributos químicos (ANGHINONI et al., 2014). O principal foco desse tipo de experimento, inserido na agricultura produtivista ocorreu, no Brasil, dentro de duas vertentes: a) da matéria orgânica e b) da fertilidade do solo, quer seja no conceito restrito (atributos químicos) quer seja no conceito mais abrangente (capacidade produtiva do solo). Considerando-se que as duas vertentes têm ocorrido simultaneamente no país, resulta como produto da evolução o acúmulo de biomassa residual, o aumento no teor de matéria

orgânica, a maior agregação do solo, a maior capacidade de retenção de íons, o aumento da ciclagem de nutrientes e, por consequência, a menor dependência de insumos e também melhor qualidade do solo (SÁ, 1999; ANGHINONI, 2007), além dos benefícios do sequestro de carbono (PIVA et al., 2012; CONCEIÇÃO et al., 2013). Assim, no contexto da multi-interdisciplinaridade, os experimentos de longa duração permitem demonstrar como a diversidade espacial e temporal dos componentes do sistema afetam o grau de interações sinérgicas e a riqueza e magnitude dos ciclos biogeoquímicos e consequente resposta das culturas aos insumos e ao manejo do solo.

Dentre os manejos conservacionistas introduzidos na década de 1970, destacava-se, inicialmente, o cultivo mínimo (grade leve, subsolagem superficial ou escarificação), que foi rapidamente substituído pelo sistema de semeadura direta. Porém, somente a partir da década de 1990 o crescimento da área agrícola nesse sistema foi grande e de forma exponencial no Sul e, a partir da primeira década deste milênio, nos demais estados brasileiros, especialmente no Cerrado (FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 2015). No sistema de plantio direto, são utilizadas culturas produtoras de grãos em rotação, para sustentação econômica do negócio agrícola, e plantas de cobertura, para a produção de biomassa vegetal residual e ciclagem de nutrientes.

Assim, nas estações mais favoráveis são cultivadas espécies, como milho, soja, arroz, trigo, cevada, etc., e, nas estações menos favoráveis, as culturas de cobertura, como aveia forrageira e ervilhaca, no período de inverno no Sul, e milheto, sorgo, braquiária, estilosantes, eleusena (*Eleusine*), etc., no

período seco no Cerrado. Desta forma, os sistemas de culturas mais utilizados no país são: no Sul, trigo/soja/aveia forrageira/soja/aveia forrageira/milho; no Cerrado, milho/soja/milho/milho; soja ou arroz ou milho/braquiária ou estilosantes, no período úmido, e pastagem-gado, no período seco; e nos Trópicos Úmidos, milho, soja ou arroz, no período úmido e safrinha algodão, parte no período úmido e parte no período seco. Esses sistemas possibilitam, segundo Sá et al. (2004), adicionar de 7 a 16 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de palhada, que variam conforme a região ou estado: Passo Fundo (RS), 7 - 10; Cruz Alta (RS), 8 - 11; Joaçaba (SC), 7 - 11; Ponta Grossa (PR), 8 - 11; Campo Mourão (PR), 10 - 12; Assis (SP), 9 - 11; Dourados (MS), 9 - 11; Balsas (MA), 9 - 10; Primavera do Leste (MT), 9 - 11; Rio Verde (GO), 10 - 13; e Sinop (MT), 12 - 16. Se, de um lado, a produção de resíduos aumenta na direção Sul - Norte, por causa da maior radiação solar e temperatura, de outro, há também, pelas mesmas razões, maior decomposição de resíduos, e o resultado final dependerá do balanço entre esses fatores, considerando, ainda, que os solos da região Sul apresentam, de um modo geral, maior resiliência.

A questão que se levanta, especialmente com relação ao plantio direto *consolidado* (10 a 20 anos), é de como perceber e avaliar a variabilidade dos atributos químicos indicadores do estado de fertilidade do solo, com histórico de rotação e sucessão de culturas por longo período, e como manejar a adubação e a calagem para cada região produtora. Isto porque questionamentos (*ruídos*) passaram a ocorrer, ao se aplicar os preceitos do preparo convencional a esse sistema, desde a etapa de amostragem do solo, pelo aumento da variabilidade espacial e evolução temporal (NICOLODI et al., 2008, 2014). Como consequência, é lógico esperar alteração

nos teores críticos, nas faixas e classes de fertilidade (curvas de calibração) e na própria adubação e calagem nesse sistema (SCHLINDWEIN; GIANELLO, 2008; NICOLODI et al., 2014; FONTOURA et al., 2015).

Inserção do Animal no Sistema

Grande parte das alterações que ocorrem no solo e/ou no *continuum* solo-planta-atmosfera, e diferenciam os SIPAs dos demais sistemas de produção, são mediadas pela inserção dos animais no sistema. Isto porque somente em modelos que integram a pecuária na lavoura é que surgem novas relações entre os componentes (ANGHINONI et al., 2013; CARVALHO et al., 2015). Nos últimos anos, os SIPAs vêm sendo reconhecidos no que diz respeito à eficiência no uso dos recursos naturais, na produção de serviços ecossistêmicos, na redução dos custos de produção com a manutenção de níveis de produtividade elevados (BALBINOT JÚNIOR et al., 2011; MORAES et al., 2014), no maior retorno econômico ao produtor rural, na maior ciclagem de nutrientes e na melhoria do solo (ANGHINONI et al., 2013; MARTINS et al., 2015).

Para ilustrar o fluxo de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária são utilizados, nesta publicação, os resultados de um protocolo experimental de integração soja-bovinos de corte de longa duração, com resultados de 15 ciclos de pastejo-soja (2001/15), em semeadura direta desde 1993 (MARTINS et al., 2015). O sistema, nessa condição, pode ser considerado em sua fase consolidada, por sua fertilidade química *construída* no tempo e uma grande quantidade de nutrientes são ciclados, tanto na fase pastagem como na fase soja. A condição de solo fértil (MANUAL..., 2004) é

caracterizada, nesse sistema, pelo teor de matéria orgânica (> 4,5 %), teores disponíveis (Mehlich 1) de fósforo (>15 mg dm⁻³) e de potássio (> 130 mg dm⁻³) e trocáveis (KCl 1,0 mol L⁻¹) de cálcio (> 5,5 cmol_c dm⁻³) e de magnésio (> 2,0 cmol_c dm⁻³) (MARTINS et al., 2015). A magnitude da ciclagem é percebida no balanço de nutrientes (N, P e K) nos diferentes compartimentos do sistema. Nesta situação, a inserção dos animais promove maior ciclagem de N e K (K₂O) em pastejo moderado, de 125 e 110 kg ha⁻¹ desses nutrientes, em relação ao sem pastejo, com 89 e 94 kg ha⁻¹, respectivamente. A ciclagem de P (P₂O₅) foi semelhante entre as áreas pastejadas ou não (em torno de 40 kg ha⁻¹), uma vez que sua excreta pelos animais é pequena. É importante que se observe que as quantidades cicladas pela excreta dos animais é uma fração importante; assim, do total ingerido, 82% do nitrogênio, 71% do fósforo e 97% do potássio foram reciclados pelos animais, uma vez que a quantidade exportada desses nutrientes pela carcaça animal (9 kg ha⁻¹ de N, 5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 1 kg ha⁻¹ de K₂O) é pequena, tal como referido por (HAYNES; WILLIAMS, 1993). A liberação de nutrientes da biomassa residual da soja para a pastagem, a exemplo do crescimento e rendimento de grãos (KUNRATH et al., 2015), foi pouco afetada pelo pastejo. No cômputo do período experimental, podem ser ciclados, ao longo de cada ciclo pastejo-soja, 313 e 340 kg ha⁻¹ de N, 53 e 48 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 170 e 187 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente, na ausência e presença do pastejo (ANGHINONI et al., 2015). São quantidades que equivalem ou mesmo superam as doses de nutrientes recomendadas para esses cultivos com base na análise química do solo (MANUAL..., 2004) e demonstram a importância da inserção do componente animal.

Um sistema assim caracterizado (solo fértil, alta ciclagem de nutrientes em fase consolidada de manejo conservacionista) leva a uma mudança na estratégia de adubação: então, ao invés de adubar tanto a pastagem como a soja, ou aplicar nitrogênio na pastagem e fósforo e potássio na soja, passa-se a fazer toda a adubação somente na instalação da pastagem, em quantidades para as expectativas de produtividade, tanto de pasto como de grãos de soja, como vem sendo feito no protocolo experimental desde 2011. A lógica está em logo repor ao solo os nutrientes exportados pelos grãos de soja e aplicar o nitrogênio visando o crescimento da pastagem (aveia+azevém), uma vez que a retirada desses nutrientes pelo animal é pequena.

Fertilidade do Solo: Re-Emergindo Sistêmica

O solo pode ser interpretado com base na teoria dos sistemas abertos, afastados do equilíbrio termodinâmico. Nesta condição, a dependência da continuidade do fluxo determina o processo de auto-organização do solo, que é descrito por relações não lineares, com predominância dos efeitos das interações sobre os efeitos dos fatores isolados e possui uma dinâmica de sistemas caóticos, que muda os níveis de ordem com o tempo complexidade do sistema (ADDISCOT, 1995; MIELNICZUK et al., 2003; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Assim, segundo esses autores, o solo pode ser considerado como uma rede de relações complexas entre os subsistemas mineral, vegetal e biológico. O subsistema vegetal introduz a energia e a matéria necessárias para seu funcionamento e o subsistema biológico (micro) é responsável pela transformação de energia e de matéria geradas no subsistema vegetal. Em

função da diversidade de condições iniciais e das interações que ocorrem no tempo, as características e as propriedades dos solos são alteradas e se refletem na disponibilidade de nutrientes, na acidificação do solo e na geração de superfícies reativas. Quando ocorre dominância dos processos de ordenação (fotossíntese e aumento dos estoques de matéria e energia) sobre os dissipativos (decomposição microbiana), o solo se organiza em níveis de ordem mais elevados, como ocorre no sistema plantio direto em sistemas integrados de produção ou não, formando estruturas mais complexas e com predominância de efeitos de interações. O inverso ocorre no sistema convencional malconduzido, com o solo se autorregulando em níveis de ordem mais baixos, formando estruturas menos complexas com a predominância de efeitos simples. Nos níveis elevados de ordem, destacam-se as propriedades emergentes que aumentam a matéria vegetal, favorecendo a retroalimentação de energia e de matéria geradora de ordem no sistema.

As propriedades emergentes permitem que o solo exerça múltiplas novas funções e conferem qualidade a ele (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). A melhor condição do sistema solo construída no sistema plantio direto permite ao solo expressar a sua fertilidade como uma propriedade emergente, determinada pelo aumento da CTC, da infiltração e retenção de água, da melhoria da estrutura, do aumento do estoque e da disponibilidade de nutrientes e da complexação de compostos orgânicos e inorgânicos, com aumento da produtividade das culturas, conforme caracterizado por Sá (2004) e Sá et al. (2004). A mudança dos níveis de ordem, a dependência do fluxo de matéria e de energia, assim como os pontos onde o sistema gera as propriedades emergentes específicas do solo no

processo de auto-organização, são caracterizados no diagrama de bifurcações sucessivas num sistema de não equilíbrio, proposto por Prigogine (1996).

Considerações Finais

A partir do conhecimento trazido pelos imigrantes e, num passado mais recente, pelo uso da mecanização agrícola e dos insumos modernos, o preparo convencional foi o manejo de solo utilizado nas condições edafoclimáticas diferentes daquelas dos países de origem. Tendo como base esse sistema de cultivo, foram elaboradas recomendações de adubação com base em atributos químicos do solo (conceito-químico-mineralista), cujas interpretações são relativamente simples e possibilitaram o desenvolvimento de uma agricultura produtivista de larga escala em solos originalmente pouco produtivos em todo o território nacional. Entretanto, o preparo intensivo do solo com grande mobilização levou o solo a um processo de degradação que culminou em paulatina redução de produtividade. Isso gerou a percepção de que mudanças seriam necessárias para manter ou recuperar o seu potencial produtivo. A partir de então, iniciou-se um movimento expressivo na direção de manejos conservacionistas, primeiramente no subtropical brasileiro, e mais tarde em todo o país, com redução ou eliminação do preparo mecânico prévio à semeadura, introdução de plantas de cobertura e adoção da rotação de culturas. Isso resultou não apenas na redução da erosão, objetivo principal, mas também no aumento da eficiência no uso de insumos.

O cenário atual da pesquisa está se direcionando a um novo movimento no mundo. Desta vez, para a adoção de sistemas

integrados de produção agropecuária, que no Brasil, tem como alicerce a semeadura direta e a rotação e diversidade de culturas. O novo desafio que se avizinha lança grande responsabilidade sobre as instituições de ensino e pesquisa do país. E, ao que tudo indica, o entendimento dos fatores que governam a resposta das plantas ao uso de fertilizantes e corretivos da acidez demandará abordagens mais complexas que também considerem as relações e os sinergismos entre as diversas disciplinas que regem a Ciência do Solo.

É importante ressaltar que, na abordagem deste capítulo, considerou-se como alicerce o plantio direto, caracterizado em essência, como um sistema de produção que abrange um complexo ordenado de operações inter-relacionadas e interdependentes, as quais incluem, além do correto uso do solo (de acordo com sua aptidão), o mínimo ou não revolvimento, a rotação de culturas, o uso de plantas de cobertura para formar e manter a palhada sobre o solo e, mais recentemente, a integração lavoura-pecuária. Infelizmente, esses preceitos da agricultura conservacionista são utilizados somente por uma pequena parcela dos mais de 34 milhões de hectares supostamente cultivados no sistema plantio direto no País. Mesmo que, provavelmente, a maior parte dessa área não esteja sendo cultivada dentro das premissas do sistema plantio direto, pois a rotação de culturas e/ou plantas de cobertura (ou em pastejo) possam não fazer parte do sistema de produção, assim mesmo o solo será beneficiado se houver balanço positivo de carbono no solo.

Referências

ADDISCOT, T. M. Entropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v 46, p. 161-168, 1995.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 873-928.

ANGHINONI, I.; VOLKWEISS, S. J. Recomendações de uso de fertilizantes no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa-DEP, 1984. p. 179-204. (Embrapa-DEP. Documentos, 14).

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária no subtropical brasileiro. In: ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. v. 8, p. 325-380.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. A. A importância de experimentos de longa duração para o manejo de sistemas integrados de produção. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 31.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 15.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 13.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 10., 2014, Araxá. **Fertilidade e biologia do solo: integração e tecnologias**

para todos: anais. Araxá: Núcleo Regional Leste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2014. 1 CD-ROM. FertBio 2014.

ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. A. O solo no contexto. In: MARTINS, A. P.; KUNRATH, T. R.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. (Ed.). **Integração soja-pecuária de corte no sul do Brasil**. 2. ed. Porto Alegre: GPSIPA: UFRGS, 2015. p. 53-70. (Boletim Técnico).

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; VEIGA, M. da; MORAES, A. de; PELISSARI, A.; MAFRA, A. L.; PICCOLLA, C. D. Winter pasture and cover crops and their effects on soil and summer grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1357-1363, out. 2011.

CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A.; PONTES, L. S.; ANGHINONI, I.; SULC, M. R.; BATELLO, C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Ciência Agrônômica**, Jaboticabal, v. 45, p. 1040-1046, 2014.

CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MARTINS, A.; KUNRATH, T. R. Atualidades e perspectivas para os sistemas integrados de produção agropecuária. In: MARTINS, A. P.; KUNRATH, T. R.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. (Ed.). **Integração soja-pecuária de corte no sul do Brasil**. 2 ed. Porto Alegre: GPSIPA: UFRGS, 2015. p. 50-70. (Boletim Técnico).

CONCEIÇÃO, P. C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 129, p. 40-47, 2013.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA.

Evolução da área de plantio direto no Brasil. Foz do Iguaçu, 2015. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; VIERO, F.; ANGHINONI, I.; MORAES, R. P. **Fertilidade do solo e seu manejo em plantio direto no Centro-Sul do Paraná.** Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015. 146 p.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 49, p. 119-199, 1993.

KIRSCHENMANN, F. L. Potential for a new generation of biodiversity in agroecosystems of the future. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, p. 373-376, 2007.

KUNRATH, T. R.; MARTINS, A. P.; COSTA, E. V. G. A. Fase soja. In: MARTINS, A. P.; KUNRATH, T. R.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. (Ed.). **Integração soja-pecuária de corte no sul do Brasil**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2015. p. 43-50. (Boletim Técnico).

LOPES, A. S.; WIETHOLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. S. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004. 115 p.

MANUAL de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.

MARTINS, A. P.; KUNRATH, T. R.; COSTA, S. E. V. G. A. O protocolo experimental. In: MARTINS, A. P.; KUNRATH, T. R.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. (Ed.). **Integração soja-pecuária de corte no sul do Brasil**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2015. p. 23-30. (Boletim Técnico).

MELO, N. A. **Da filosofia à ciência do solo**. Pato Branco: Edição do autor, 2011. 113 p.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A. E.; BOHNEN, H. **Recomendações de adubo e calcário para os solos e culturas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1969. 38 p. (Boletim Técnico, n. 2).

MIELNICZUK, J.; ANGHINONI, I. Avaliação da utilização das recomendações de adubo e calcário dos laboratórios oficiais de análises de solo. **Trigo e Soja**, Porto Alegre, v. 15, p. 3-6, 1976.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo do solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio no solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.;

LIMAS, J. M. de; LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 209-248.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S. B. C.; COSTA, S. E. V. G. A.; KUNRATH, T. R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4-9, 2014.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; MARRE, J.; MIELNICZUK, J. Insuficiência do conceito mineralista para expressar a fertilidade do solo percebida pelas plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32 p. 2735-2744, 2008.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; MARRÉ, J. A. L.; MIELNICZUK, J. The mineralist concept to express the soil fertility perceived by plants grown under no-tillage system. **International Journal of Agricultural Science Research**, v. 3, p. 187-195, 2014.

PIVA, J. T.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MORAES, A.; PAULETTI, V.; TOMAZI, M.; PERGHER, M. No-till reduces global warming potential in a subtropical Ferralsol. **Plant and Soil**, The Hague, v. 45, p. 1-15, 2012.

PRIGOGINE, I. **O fim das incertezas**. São Paulo: Editora Estadual Paulista, 1996. 196 p.

RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Cruz Alta: Fundacep Fecotrigo, 1995. 134 p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Vocabulário em ciência do solo**. Campinas, 1993. 90 p.

SÁ, J. C. M. **Curso de atualização técnica em fertilidade do solo em plantio direto**. Ponta Grossa: UEPG, 2002. 1 CD-ROM.

SÁ, J. C. M. Gerenciamento da matéria orgânica do solo no sistema plantio direto. In: CURSO de atualização em fertilidade do solo. Passo Fundo: [s.n.], 2004.

SÁ, J. C. M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto.**

Castro: Fundação ABC, 1993. 96 p.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. B.; BUCKNER, J.; FORNARI, A.; SÁ, M. F. M.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; VENZKE FILHO, S. P. O plantio direto como base no sistema de produção. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 80, p. 45-61, 2004.

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relações fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas.** Lavras: UFLA, 1999. p. 267-319.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 2037-2049, 2008.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Glossary in soil science terms.** Madison, 1987. 144 p.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, p. 743-756, 2009.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **O solo como sistema.** Curitiba: Edição dos Autores, 2011. 104 p.

VOLKWEISS, S. J.; LUDWICK, A. E.; BOHNEN, H. **Melhoramento do solo pela calagem**. Porto Alegre: UFRGS, 1969. 23 p. (Boletim Técnico, nº 1).

WIETHÖLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: REUNIAO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRICAÇÃO DE PLANTAS, 24.;

REUNIAO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.;

REUNIAO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria, RS. **Biodinâmica do solo**: guia do congressista. [Viçosa, MG]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; [São Paulo]: Sociedade Brasileira de Microbiologia; Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Solos, 2000. 1 CD-ROM. Fertbio 2000.

Capítulo 4

Mercado do Milho-Pipoca

José Evandro de Lima Müller

Introdução

O Brasil possui uma extensa área para cultivo das mais diversas culturas, sendo um dos grandes celeiros mundiais de alimentos. A produção de grãos soma anualmente em torno de 200 milhões de toneladas, e as principais commodities são a soja e o milho. Outras culturas, como feijão, trigo, arroz, ocupam áreas de menor expressão. O milho-pipoca ocupa uma área pequena comparada às citadas acima, e esta área varia a cada ano pela definição das estratégias das empresas, baseadas em previsão de consumo, tendências do mercado nacional e possibilidades de mercado exterior.

O consumo estimado do Brasil é de 150 mil tons, ficando em terceiro lugar a nível mundial, atrás do México, com 335 mil tons, e dos Estados Unidos, com 500 mil tons.

Esta disponibilidade de mercado está normalmente atrelada a contratos de compra da produção e torna-se uma opção dentro das propriedades e uma garantia de liquidez. Alguns produtores

independentes plantam pipoca pensando em oportunidades de negociação e isso pode promover um excesso de produto no mercado frente a um mercado limitado.

A genética americana de milho-pipoca responde pela maior parte da semente utilizada na produção do grão. Estes materiais têm proporcionado ganhos quantitativos e qualitativos, permitindo competitividade econômica pela produtividade dos híbridos e por suprir a qualidade exigida pela indústria de alimentos.

O manejo da cultura da pipoca deve seguir padrões de tecnologia com intuito de proporcionar um controle efetivo das doenças e pragas, importantes para evitar danos à estrutura da planta e da espiga que de forma direta e indireta podem afetar a qualidade de grãos.

A qualidade e a segurança de alimentos vão ser cada vez mais determinantes na comercialização dos alimentos em geral. As normas de segurança alimentar estarão fazendo parte da rotina desde a semeadura, tratos culturais, colheita e até nas prateleiras dos supermercados.

A Pipoca

Entende-se por milho-pipoca os grãos provenientes da espécie *Zea mays* L., subespécie *Mays*, com capacidade de estourar, transformando-se em pipoca, quando submetido à temperatura superior a 180°C (BRASIL, 2013).

Pipoca ou pororoca é um prato feito a partir de uma variedade especial de milho, o milho-pipoca (*Zea mays everta*), que

estoura quando aquecido. Ao aquecermos os grãos desse milho de maneira rápida, sua umidade interna é convertida em vapor. Num determinado ponto a pressão estoura a casca externa, transformando a parte interna numa massa pouco consistente de amidos e fibras (WIKIPEDIA, 2016).

Origem

As histórias relacionadas ao surgimento da pipoca são diversas e remetem a vários povos indígenas, utilizando-a como alimento descoberto ao acaso quando o milho foi colocado próximo do calor, originando o processo de explosão característico provocado pela pressão de vapor e formação da “flor”.

Leopoldo Costa cita que a origem da pipoca data de aproximadamente 1.000 anos atrás, utilizada pelos índios norte-americanos. A partir desta descoberta, elas foram utilizadas como alimento e em adornos. No entanto, existem evidências de preparo de pipoca 4.700 anos A.C. no Peru e 3.600 anos A.C. no México (COSTA, 2016).

A pipoca é cultivada desde o início da colonização do Brasil pelos europeus, para onde as sementes foram trazidas para ajudar no sustento das famílias, e passaram de gerações a gerações (SILVA, 2016).

Segundo Marcelo Duarte, a primeira marca americana de pipoca, a JollyTime, surgiu em 1914, pela empresa *American Popcorn Company*, no Estado de Iowa. Em 1924, foi criado o saquinho de pipoca especialmente para venda do produto. A pipoca de micro-ondas foi criada na década de 1940, quando foi

inventado o primeiro forno, e desde 1990 já gerava vendas de 240 milhões de dólares (O GUIA DOS CURIOSOS, 2016).

Valor Nutricional

Segundo Joe Vinson, Ph.D., da Universidade de Scranton, na Pensilvânia, além de ser um ótimo alimento, saboroso e apreciado pela maioria das pessoas, a pipoca contém quantidades significativas de substâncias antioxidantes, chamadas de polifenóis, que possuem capacidade de diminuir o risco de câncer e doenças cardíacas (VINSON, 2016).

Durante a industrialização, a pipoca mantém a casca onde são encontrados as fibras e os nutrientes. As substâncias antioxidantes zeaxantina e luteína contribuem para a saúde dos olhos e previnem contra alguns tipos de câncer. O milho para pipoca também possui vitaminas. B1, B2 e os carotenoides, considerados antioxidantes. Além disso, o grão contém minerais, como cálcio, sódio, iodo, ferro, zinco, manganês, cobre, selênio, crômio, cobalto, cádmio e fósforo (HERMANN, 2013).

Produção no Brasil

A pipoca no Brasil possui um mercado promissor e é cultivada em alguns estados, geralmente mediante contratos de produção e comercialização com empresas consolidadas no mercado (AFNEWS AGRÍCOLA, 2016).

Atualmente o estado que possui as maiores áreas de plantio é o Mato Grosso, seguido de Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul.

As áreas plantadas no Mato Grosso estão concentradas na região de Campo Novo dos Parecis e respondem por aproximadamente 70% da pipoca produzida no Brasil.

No Rio Grande do Sul, as áreas estão situadas do noroeste ao nordeste do estado, abrangendo microclimas distintos.

Os grãos produzidos no Brasil são destinados principalmente para suprir a demanda do mercado interno do setor de alimentos. O Brasil tem produzido também milho-pipoca para abastecer o mercado externo, através de empresas de originação de grãos, e torna-se uma alternativa para comercialização, principalmente quando o dólar encontra-se valorizado.

Quando é Cultivado

No Estado do Mato Grosso, o milho-pipoca é cultivado na chamada safrinha, em que a cultura é semeada nos meses de janeiro e fevereiro e colhida nos meses de maio e junho, quando as chuvas já não são frequentes. Esta é uma das razões que fazem com que o estado tenha a maior área da cultura da pipoca no Brasil, pois facilita a colheita e proporciona uma maior qualidade de grãos.

Em Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul, o cultivo é realizado normalmente nos meses de setembro e outubro, quando as temperaturas são mais adequadas ao pleno desenvolvimento da cultura, e os grãos são colhidos nos meses de fevereiro e março, sendo que ocorre em um período que em as chuvas são mais frequentes, necessitando de cuidados

especiais no processo de colheita, secagem e armazenagem dos grãos.

Capacidade de Expansão

A capacidade de expansão é um dos fatores de classificação que podem influenciar na comercialização de lotes de pipoca. A expansão é a relação entre o peso do grão e o volume de pipoca estourada expressa em ml/gr.

A capacidade de expansão é afetada por fatores genéticos e vários outros como: equipamento (pipocador), teor de umidade do grão, tipo de secagem, danos no pericarpo ou endosperma e grãos imaturos (MACHADO, 1997).

O método de ensaio MET LACV/27/01/03 é utilizado para medir a capacidade de expansão do milho-pipoca, que tem como objetivo o enquadramento em Tipo, pelos critérios estabelecidos na Instrução Normativa nº 61, de 22/12/2011, que estabelece o Regulamento Técnico do milho-pipoca (BRASIL, 2013).

A capacidade de expansão está diretamente relacionada ao tamanho do grão e à produtividade, ou seja, normalmente quanto maior o peso e tamanho de grãos menor será a expansão. Em se tratando consumidores, quanto maior a expansão melhor o produto, pois preencherá uma embalagem determinada com menor peso de grãos de pipoca. Já o produtor almeja híbridos com alta produtividade a fim de diluir os custos da lavoura e aumentar a renda líquida.

Evolução dos Híbridos e Competividade com outras Culturas

No Brasil, a pesquisa e o melhoramento de variedades e híbridos de milho-pipoca são realizados por instituições como Embrapa Milho e Sorgo, Fepagro, UFV, UEM, IAC, UEL, UENF e UFCA.

O Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas Eduardo Sawasaki, desde os anos 1980, tem trabalhado no desenvolvimento da cultura da pipoca no Instituto Agronômico de Campinas. Ele relata que as variedades nativas não conseguem competir com a genética americana, por isso iniciou trabalhos de introdução de genética americana que resultaram no registro do Híbrido IAC 125, entre outros registrados desde então (SAWASAKI, 2011).

Atualmente a produção nacional está concentrada na importação e no plantio de sementes com genética americana, produzidas por empresas nos Estados Unidos e na Argentina, onde a pesquisa encontra-se em estágio mais adiantado.

Segundo dados do Ministério da Agricultura, aproximadamente 65 materiais estão registrados para produção, pelo IAC, UENF, CATI, e materiais provenientes de genética americana de empresas como a Alumni Seeds, Zangger e Basso (BRASIL, 2016).

O melhoramento genético visando híbridos com potencial produtivo e aliado a uma boa capacidade de expansão tem sido o diferencial, viabilizando a cultura da pipoca frente ao potencial produtivo da cultura do milho, principal concorrente na propriedade.

No Rio Grande do Sul, as produtividades médias dos híbridos em campo chegam ao redor de 5.000 kg/ha, porém várias produtividades acima de 6.000 kg são alcançadas. No Estado do Mato Grosso, as médias alcançadas na safrinha também superam as expectativas, onde as produtividades podem alcançar o patamar de 4.800 kg/ha.

Resultados experimentais utilizando genética de empresas americanas e argentinas são normalmente obtidos e validados nas próprias empresas que registram estes híbridos e fomentam a cultura no Brasil, proporcionando a introdução de híbridos superiores em produtividade e qualidade industrial.

O custo de produção é semelhante à cultura do milho, sendo que o manejo cultural também é muito semelhante, salvo o controle de doenças e pragas que aumenta o custo em aproximadamente 20% (SAUERESSIG, 2009).

Analisando o custo de produção da cultura do milho e da cultura do milho-pipoca, verifica-se que ainda ocorre uma similaridade entre elas. Normalmente ocorrem despesas extras com inseticidas e herbicidas na pipoca, e isto se deve ao fato de não apresentar transgenia a insetos e plantas invasoras, fazendo com que haja um número maior de aplicações de inseticida e um custo adicional de herbicidas, dependendo do nível de infestação. Já com a semente de milho, a transgenia onera o custo para cada evento disponibilizado no híbrido, o que não acontece no caso da pipoca, que é convencional.

Segurança de Alimentos e Mercado

As indústrias do setor de alimentos estão cada vez mais conscientes e adequando-se a normas que regulamentam os alimentos. Ações estão sendo implementadas e executadas para proporcionar alimentos livres de qualquer possibilidade de risco à saúde dos consumidores. Da mesma forma, os consumidores estão cada vez mais atentos a estes detalhes e das possíveis consequências à saúde.

“Segurança Alimentar e Nutricional - Todo mundo tem direito a uma alimentação saudável, acessível, de qualidade, em quantidade suficiente e de modo permanente. Isso é Segurança Alimentar e Nutricional. Ela deve ser totalmente baseada em práticas alimentares promotoras da saúde, sem nunca comprometer o acesso a outras necessidades essenciais. Esse é um direito do brasileiro, um direito de se alimentar devidamente, respeitando particularidades e características culturais de cada região” (BRASIL, 2006).

Boas Práticas de Fabricação

“As Boas Práticas de Fabricação (BPF) abrangem um conjunto de medidas que devem ser adotadas pelas indústrias de alimentos a fim de garantir a qualidade sanitária e a conformidade dos produtos alimentícios com os regulamentos técnicos. A legislação sanitária federal regulamenta essas medidas em caráter geral, aplicável a todo o tipo de indústria de alimentos e específico, voltadas às indústrias que processam determinadas categorias de alimentos” (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2016).

As matérias-primas estão cada vez mais sendo rastreadas em todo processo, desde a origem até o consumidor, evitando riscos de contaminações diversas. Estas contaminações podem ser prevenidas através da utilização de procedimentos que não dispensam investimento, mas sim mudança de cultura.

Contaminação Química

A rastreabilidade de defensivos agrícolas permitidos pela Anvisa e pelo Ministério da Agricultura deve ser seguida, pois princípios ativos utilizados de forma ilegal e ou incorretos que possam não respeitar a carência indicada na bula produto podem levar à condenação do lote ou de toda a lavoura.

Outros contaminantes também podem ser considerados, tais como produtos de limpeza, produtos para dedetização de armazéns, silos e equipamentos de limpeza de grãos, quando não recomendados para estes fins ou utilizados de forma incorreta.

Contaminação Biológica

A contaminação por microrganismos, como vírus, bactérias, fungos, causa inúmeras doenças. As micotoxinas, fungos que podem estar presentes no milho-pipoca, são representadas pelas aflatoxinas, zearaleanona, ocratoxina, fumonisina - a aflatoxina é uma das mais importantes. Todas têm potencial cancerígeno e limite máximo para comercialização no mundo inteiro.

Outro tipo comum de contaminação é a presença de outros grãos com potencial alergênico, como por exemplo o trigo.

Transporte de grãos em caminhões contaminados com esterco, presença de roedores e insetos nos ambientes de armazenagem podem comprometer a viabilidade do produto.

Contaminação Física

Este tipo de contaminação está relacionado à presença de vidros, metais, pedras e outros materiais estranhos que venham a provocar danos físicos graves ao consumidor, pela ingestão ou até um dente quebrado.

A maioria das indústrias do setor de alimentos está equipada com vários recursos que detectam estas contaminações, podendo citar sistemas de raios-X, imãs em vários pontos do processo e seletoras ópticas.

Direta ou indiretamente, estes fatores podem interferir na aprovação de matéria-prima, gerando prejuízo econômico para fornecedores e indústrias pela condenação de lotes para consumo humano, depreciando o valor por acabar tendo como destino o descarte ou em casos onde haja viabilidade técnica de utilização em ração animal.

Mercado no Brasil

Por ser um mercado em expansão e com poucos dados oficiais disponíveis, há dificuldade de quantificar os índices econômicos e mercadológicos. A área plantada anualmente fica limitada as informações extraoficiais, baseadas em informações de órgãos regionais, de empresas compradoras e grandes produtores.

A área plantada depende de estoque e demanda, pois o mercado nacional é limitado. A Festa Junina é um dos períodos em que o consumo aumenta, por ser a pipoca um dos produtos tradicionais. Outros eventos esporádicos como Copa do Mundo e Olimpíadas podem aquecer o mercado da pipoca. As exportações podem ser oportunas quando os estoques estão altos e valor do dólar tornam os preços competitivos no mercado internacional.

A cultura da pipoca surge como opção quando o milho está desvalorizado no mercado interno, remunerando de forma mais atrativa. Outro fator importante é a garantia de compra por empresas beneficiadoras e comércio local, além de opção de mercado exterior (ARAÚJO, 2007).

As lavouras cultivadas com pipoca na maioria das vezes possuem contratos com empresas que industrializam o grão garantindo a comercialização. Em dados do ano de 2007, o preço pago era de 2,5 a 3 vezes o valor de mercado pago ao milho (SAUERESSIG, 2009).

Segundo reportagem do G1-Mato Grosso, o estado reduziu a área por dois anos consecutivos, partindo de 56 mil hectares em 2014, para 36 mil em 2015 e 20 mil hectares de milho-pipoca em 2016. Esta redução de área deve-se aos altos estoques formados na safra 2013/14 (G1-MATO GROSSO, 2016).

Segundo a revista Valor Econômico (Tatiane Bortolozzi, 2015), o consumo da pipoca, entre outros produtos, tende a crescer em épocas sazonais como a Festa Junina. Já que 2014, por ocasião da Copa do Mundo, não houve um foco nesta festa tradicional do meio do ano. Ainda cita que o Brasil é o terceiro mercado

mundial de consumo de pipoca com 0,1 kg per capita e movimentando um montante de R\$ 385,5 milhões, ficando atrás do México, com 0,5 kg per capita e dos Estados Unidos, com média de 1 kg por habitante ano (VALOR ECONÔMICO, 2015).

A expectativa de um grande consumo por ocasião da Copa do Mundo de Futebol, ocorreu no ano de 2014, fez com que um excesso de área fosse cultivado. Somente o Estado do Mato Grosso cultivou 56 mil ha de pipoca, e a produção nacional chegou a 300 mil toneladas, para um consumo entre 150 a 200 tons.

No ano seguinte, houve uma nova redução de área no Mato Grosso, e as mudanças na política de exportação na Argentina aqueceram o mercado de milho e conseqüentemente a redução da produção. Estes fatores, aliados ao preço do dólar em alta, aumentaram as exportações da pipoca brasileira para países do Oriente Médio e Ásia (VALOR ECONÔMICO, 2016).

Pipoca Gourmet

Um mercado em pleno crescimento no Brasil e no mundo é o da pipoca gourmet. Nos últimos cinco anos, diversos alimentos ganharam versões gourmet no Brasil. Aconteceu com o brigadeiro, com a cerveja e com o sorvete, que receberam ingredientes novos e sofisticados, tiveram a receita refinada e subiram de preço. A mais nova aposta nesse segmento é a pipoca (EXAME.COM, 2016).

Para ir além das tradicionais pipocas com sal e manteiga, algumas empresas investem nas chamadas pipocas gourmet, com sabores mais sofisticados como chocolate belga, noz-

pecã, caramelo com castanha-de-caju, algodão-doce, doce de leite com coco, canela cristalizada, cheddar, parmesão, curry e mostarda e limão com pimenta (FERREIRA, 2014).

Considerações Finais

A cultura da pipoca está entrando cada vez mais no dia a dia do consumidor, como um alimento saboroso, com tradição nas Festas Juninas, indispensável no cinema ou no aconchego do lar, assistindo a um bom filme ou ao futebol. Somado a tudo isso, é uma ótima fonte de fibras e substâncias antioxidantes que proporcionam vários benefícios à saúde.

O mercado nacional do milho-pipoca é limitado e pode mudar em função de oportunidades de exportação, mas é um mercado que avançou em termos de qualidade para a indústria e ao mesmo tempo aumentou os níveis de produtividade, que o tornam atrativo aos olhos do produtor.

Referências

AFNEWS AGRICOLA. **Milho**. Disponível em: <<http://www.afnews.com.br/milho-brasil/mercado-do-milho-pipoca-um-negocio-da-china-html?gclid=CMWpnvrs8s0CFQEIkQodf6sFug>>. Acesso em: 17 jul. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Alimentos**: legislação de boas práticas e fabricação. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/alimentos/bpf.htm>>. Acesso em: 24 jul. 2016.

ARAÚJO, C. Milho pipoca tem potencial ainda a ser explorado. **Grão em Grão**, ano 1, ed. 3, dez. 2007. Disponível em: <<http://>

www.cnpms.embrapa.br/grao/3_edicao/grao_em_grao_materia_02.htm>. Acesso em: 14 jul. 2016

BRASIL. Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006. Cria o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional - SISAN com vistas em assegurar o direito humano à alimentação adequada e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 set. 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11346.htm>. Acesso em: 13 jul. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Capacidade de expansão do milho de pipoca**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Aniamal/Laborat%C3%B3rios/Metodos%20IQA/POV/MET%20LACV%2027-01%20Capacidade%20de%20expansao%20do%20milho%20pipoca.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **CultivarWeb**: gerenciamento de informação: Registro Nacional de Cultivares. Brasília, 2016. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php>. Acesso em: 30 jul. 2016.

COSTA, L. **História da pipoca**. Disponível em: <<http://stravaganzastravaganza.blogspot.com.br/2012/03/tudo-sobre-pipoca.html>>. Acesso em: 14 jul. 2016.

EXAME.COM. **Trocando carreira de executiva por pipoca gourmet**. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/revista-voce-sa/edicoes/189/noticias/em-busca-da-pipoca-perfeita>>. Acesso em: 03 jul. 2016.

FERREIRA, A. Pipoca vira gourmet e é vendida em lata decorativa e sabor chocolate belga. **UOL Economia - Empreendedorismo**, São Paulo, 05 maio 2014. Disponível em: <<http://economia.uol.com.br/empreendedorismo/noticias/redacao/2014/05/05/pipoca-vira-gourmet-e-e-vendida-em-lata-decorativa-e-sabor-chocolate-belga.htm>>. Acesso em: 21 jun. 2016.

G1-MATO GROSSO. **Queda na safra de milho pipoca no Mato Grosso**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mato-grosso/mt-rural/videos/v/queda-na-safra-de-milho-pipoca-em-mato-grosso/5134785/>>. Acesso em: 31 jul. 2016.

O GUIA DOS CURIOSOS. **10 curiosidades sobre a pipoca**. Disponível em: <<http://guiadoscuriosos.com.br/categorias/1005/1/10-curiosidades-sobre-a-pipoca.html>>. Acesso em: 14 jul. 2016.

HERMANN, H. de C. **Os benefícios da pipoca**. Curitiba: Centro de Diabetes de Curitiba, 2013. Disponível em: <<http://www.centrodediabetescuritiba.com.br/artigos/os-beneficios-da-pipoca/>>. Acesso em: 02 ago. 2016.

MACHADO, P. F. **Efeito das condições de colheita e secagem sobre a capacidade de expansão de milho pipoca**. 1997. 41 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SAWASAKI, E. Nova geração de híbrido de milho para pipoca. **AgroLink**, 20 jul. 2011. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/culturas/milho/noticia/nova-geracao-de-hibrido-de-milho-para-pipoca_131978.html>. Acesso em: 31 jul. 2016.

SAUERESSIG, D. Milho pipoca: menor no tamanho, maior no preço. **A Granja**, n. 731, 2009. Disponível em: <<http://www.edcentaurus.com.br/materias/granja.php?id=2514>>. Acesso em: 21 jun. 2016.

SILVA, N. C. de A. **Milho pipoca**. Disponível em: <<http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/brazil/pela-vida-das-mulheres-e-pela-agroecologia/milho-pipoca>>. Acesso em: 03 jul. 2016.

VALOR ECONÔMICO. **Frustração na Copa faz milho pipoca perder área de plantio**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/agro/4592837/frustracao-na-copa-faz-milho-pipoca-perder-area-de-plantio>>. Acesso em: 31 jul. 2016.

VALOR ECONÔMICO. **Produtos sazonais tendem a crescer em relação a 2014**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/4102540/produtos-sazonais-tendem-crescer-em-relacao-2014>>. Acesso em: 31 jul. 2016.

VINSON, J. **Popcorn study puts faculty member and student in national spotlight**. Disponível em: <<http://www.scranton.edu/news/royalnews/releases/2012/03/27/Popcorn-National-Spotlight.shtml>>. Acesso em: 29 jul. 2016.

WIKIPEDIA. **Pipoca**. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Pipoca>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

Capítulo 5

Milho e Sorgo na Alimentação de Suínos e Aves

Jorge Vitor Ludke

Gérson Neudi Scheuermann

Teresinha Marisa Bertol

Dirceu Luis Zanotto

Introdução

Neste artigo serão abordados alguns temas relevantes que envolvem a utilização do milho e do sorgo na alimentação de aves e suínos. São apresentadas reflexões sobre a importância do milho para a avicultura e suinocultura avaliando as causas e consequências dos atuais altos preços de mercado. Na sequência, são apresentadas considerações sobre a qualidade dos grãos, sobre o seu valor nutricional, os efeitos da micotoxinas sobre a produção das aves e suínos e os paliativos para redução das perdas na produção animal. O processamento do milho nas fábricas de ração visando o melhor aproveitamento para suínos através da moagem adequada é avaliado e a utilização prática do sorgo na alimentação de poedeiras sem processamento é apresentada. Os aspectos nutricionais relacionados ao melhoramento genético do milho e do sorgo para a nutrição de aves e o uso dos subprodutos do milho completam o conteúdo.

A Demanda Atual de Milho na Avicultura e Suinocultura

O milho é o principal ingrediente usado na alimentação de aves e suínos, participando em média com 65% (aves) e 75% (suínos) na formulação das rações. Tradicionalmente em tempos de preços normais, de forma isolada, o cereal representa em torno de 40% do custo de produção. No Brasil, em 2015, cerca de 13,5 milhões de ton. de milho foram destinadas para a alimentação de suínos e 28,9 milhões de ton. foram consumidas na avicultura comercial (dois terços por frangos de corte e um terço pelas poedeiras) totalizando 84,7% (42,4 milhões de ton.) de todo o milho que foi consumido na alimentação animal (**Figura 1**).

Em 2005, com ausência de exportação de milho, 84,8% do milho (33,6 milhões de ton.) era fornecido para alimentação animal e, destes 91% eram destinados à alimentação de suínos (11,2 milhões de ton.) e aves (19,3 milhões ton.) de um total de disponibilidade de 39,6 milhões de ton. Em uma década houve uma substancial evolução na demanda de milho para a alimentação de suínos e aves.

A alta do preço do milho em 2016 compromete a viabilidade econômica da suinocultura e da avicultura de corte e de postura. Maior liquidez para escoamento do milho ao mercado internacional em função do câmbio não é novidade e se repetiu ao longo da série histórica desde o início das exportações do grão. Talvez seja novidade adicionar a este cenário um aumento na demanda interna associada a uma redução na quantidade de milho disponível. Menos milho está disponível em função da queda na produção (20,9% em relação ao ano anterior) devido

a diferentes fatores inter-relacionados (desde expectativa de retorno econômico com a cultura da soja até clima desfavorável conjugado com menor uso de insumos tecnológicos cotados em dólar). A produção de milho na segunda safra de 2016 estimada em 41,1 milhões de ton. ficou 26% abaixo do previsto.

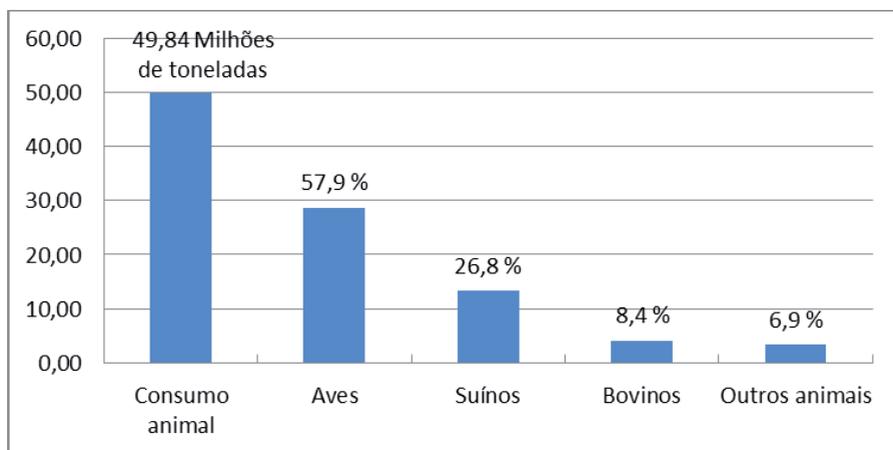


Figura 1. Produção total de milho em 2015 (84,7 milhões de ton.) sendo 60% destinada à alimentação animal (49,8 milhões de toneladas) e deste total 84,7% (42,4 milhões de ton.) foi para a alimentação de aves e suínos. Fonte: Adaptado da ABIMILHO (2015).

Em anos de superprodução não existem alternativas à baixa remuneração aos produtores de milho que não sejam a exportação e a produção de álcool em usinas “flex”, mistas para cana e milho (três unidades no Centro-Oeste) quando a equivalência por saco de 60 kg está abaixo de 22 reais (que é o atual valor limite para a viabilidade econômica na produção de etanol). Para reconhecer a amplitude do problema de abastecimento alguns números precisam ser observados. Segundo dados da SECEX, as exportações do

grão considerando agosto de 2013 a julho de 2014, foram de 20,3 milhões de ton. No mesmo período, entre 2014 e 2015, foram exportadas 18,8 milhões de ton. E o balanço para o mesmo intervalo entre 2015 e 2016 indica uma exportação 33,3 milhões de ton. Em contrapartida, a safra 2014/2015 foi de 84,7 milhões de ton., a estimativa de produção para 2015/2016 era de 88,5 milhões de ton., porém somente foram produzidas 67,0 milhões de ton. (redução de 20,9% correspondendo a menos 17,7 milhões de ton., segundo dados oficiais para o período, 12º levantamento de 2016 da CONAB). Houve uma redução na área e de produtividade na primeira safra com diminuição de 4,2 milhões de ton. na produção em relação à safra 2014/2015 e a redução na produção na segunda safra foi de 13,5 milhões de ton. no comparativo com a safra do ano anterior. Então, confrontando os dados da SECEX e mantida a produção registrada pelo Mapa, conclui-se que o país exportou o equivalente a 49,72% do milho produzido na safra 2015/2016. No acumulado de janeiro a agosto de 2016 foram exportados 15,9 milhões de ton. A consequência é que no mercado interno o preço projetado para o milho é de 44,14 reais/saco 60 kg (Bovespa, setembro 2016) contra um preço de 25 a 27 reais/saco de 60 kg (CBOT-Chicago, setembro 2016 com US\$ 3,3/bushel) no mercado internacional. Esta diferença entre mercado interno e externo varia entre 70 a 75% conforme a oscilação do dólar. O preço médio no Brasil também está 30% acima do preço do milho nos portos argentinos (FOB). As importações de milho no acumulado dos oito primeiros meses de 2016 chegaram a 1,1 milhão de ton.

Os reflexos do elevado preço do milho se transmitem no custo da ração. A elevação de até 100% no preço do milho e 50% no preço do farelo de soja nos últimos 12 meses aumentou o custo

médio das rações para suínos e aves de R\$ 0,90/kg para R\$ 1,50/kg. A ração representa 67% do custo total para a produção do frango vivo e 55% do custo de produção do frango abatido. Na suinocultura, como forma de enfrentar o desabastecimento, os produtores estão reduzindo o peso de abate de 130 kg para 90 kg. Isto proporciona redução no consumo total de ração por suíno abatido e melhora a conversão alimentar. Além disso, neste cenário de desequilíbrio, no médio prazo, a redução nos alojamentos de frangos de corte e suínos é a consequência direta afetando a produção de carne no país.

Os Sistemas de Produção e a sua Vulnerabilidade

Atualmente, os sistemas de produção do milho, nas diferentes regiões do País, tornaram possível que o grão na fase de enchimento e/ou maturação possa ser alvo tanto da seca quanto da geada antecipada ou do excesso de chuva. Os sistemas evoluíram (em complexidade), mas o mesmo não aconteceu com a infraestrutura de secagem e armazenamento. E o problema se agrava quando esta infraestrutura simplesmente não existe e o milho é transportado para ser submetido à secagem em um intervalo demasiado longo após a colheita. Segundo o SICARM (Sistema de Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras), apenas 40% da capacidade estática de armazenagem de granéis está concentrada em armazéns rurais, nas proximidades das regiões produtoras ou de localização próximo ao modal de transporte para escoamento (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2015). Estratégias recomendadas de manejo e o uso de insumos tecnológicos na fase crítica que se estende da colheita e envolve todo o período pós-colheita são importantes ações visando

à redução de perdas quantitativas e qualitativas. Existem impactos econômicos que se materializam na comercialização do milho, na conversão alimentar dos animais e na presença de micotoxinas e seus metabólitos nos produtos de origem animal. Um programa de controle de qualidade eficaz faz parte da evolução necessária no manejo dos grãos e a sua aplicação não deve ser considerada suficiente se aplicada somente após a ocorrência dos eventos críticos. Ações preventivas para garantia da qualidade devem estar contempladas ante a ocorrência dos fatores de risco. A manutenção da qualidade do grão antecede a formulação de rações.

Qualidade do Milho

Existem três aspectos de qualidade a serem observados quando da aquisição do milho para fabricar as rações dos animais. A primeira delas é com relação à qualidade física. Um exemplo prático é o que relaciona a perda de Energia Metabolizável (EM) para aves em função dos defeitos apresentados em um lote de milho. A equação para estimar a Energia Metabolizável Perdida (EMp) para aves em função da Classificação/Tipo de milho estabelecida por Barbarino (2001) é $EMp = -0,064 + 1,62 \cdot QBR + 6,98 \cdot FRIM + 10,06 \cdot FUN + 12,28 \cdot INS + 5,87 \cdot ADC$ onde QBR são os grãos quebrados (%), FRIM são os fragmentos de grãos e impurezas (%), FUN são os grãos atacados por fungos (%), INS são os grãos atacados por insetos (%) e ADC são grãos atacados por causas diversas (%). Esta equação estima perdas de EM na ordem de até 89 Kcal/kg no caso extremo de desvio de qualidade, o que corresponde a 2,6% do valor de EM tabelado para o milho (ROSTAGNO et al., 2011). Através da avaliação de mais de cinco mil amostras de milho, Rodrigues (2009) estimou a Energia Metabolizável (EM) para frangos

de corte com base nos parâmetros físicos de qualidade e na densidade (DENS) estabelecendo uma equação (EM=3310,06-0,00013085.DENS-0,19867.QBR-0,20547.FRIM-0,60084.FUN-1,88072INS-0,2281.ADC) com elevada precisão. Leal (2012) avaliou diferentes níveis de alteração do milho por causa da infestação por fungos (grãos fermentados e ardidos), concluindo que quanto maior a presença de grãos infestados por fungos pior a qualidade física e química do milho, prejudicando o desempenho animal e a metabolização da ração pelos frangos. Santos (2011) estabeleceu equações de predição da Energia Metabolizável em frangos de corte em função da densidade e diferentes qualidades físicas do milho, e concluiu que as equações de predição são métodos práticos e com elevado poder preditivo quando são utilizados os resultados de classificação e densidade de lotes de milho com qualidades nutricionais diferentes. Em função da qualidade física do milho, os produtores de suínos e aves têm baixo interesse em adquirir milho de qualidade duvidosa da safra de 2013/2014 que ainda está estocado em armazéns que não são de fácil acesso. O preço é quase o de mercado para o milho novo.

Um segundo fator relevante é a presença de micotoxinas que podem ser formadas durante o cultivo (toxina T-2, Deoxinivalenol, Zearalenona e Fumonisinias) ou, formadas da colheita à armazenagem (Aflatoxinas e Ocratoxina A). Os limites máximos tolerados variam de país a país e entre blocos comerciais, e são harmonizados pelo *Codex Alimentarius*. Embora as Aflatoxinas sejam lembradas em primeiro lugar, a sua frequência, nos cereais avaliados no Brasil, é a menor quando em comparação com as Fumonisinias e as Zearalenonas. Muitas amostras de milho avaliadas apresentam multicontaminação por mais de uma micotoxina e na análise

em anos sucessivos nas diferentes regiões do Brasil foi possível constatar que existe alternância entre as de maior frequência (FIREMAN, 2016). Os prejuízos vão desde efeitos subclínicos com piora no desempenho animal até sintomas clássicos descritos na literatura podendo também interferir no sistema imunológico reduzindo a eficiência vacinal e a resposta imune das aves e dos suínos. Diferentes micotoxinas quando presentes nos cereais podem acarretar efeito sinérgico na intensidade dos prejuízos (Fumonisina+Deoxinivalenol). Nas estratégias a serem adotadas para minimizar os efeitos das micotoxinas através da inativação, via ração, existe o uso de adsorventes (para Aflatoxina) e a biotransformação enzimática (para Fumonisina, Zearalenona e Deoxinivalenol). A adsorção da Fumonisina funciona em pH ácido (pH dependente) porém, no intestino, em pH neutro, os adsorventes não têm eficácia com esta micotoxina específica. Ambas as estratégias disponíveis para inativar as micotoxinas podem ser necessárias na ocorrência de multicontaminação.

O terceiro fator relevante é a qualidade nutricional do milho. Nas rações de frangos de corte, o milho responde por 65% da energia metabolizável (EM) e 20% da proteína das dietas. Devido a múltiplos fatores inter-relacionados, tais como genética da semente, condições ambientais de cultivo e processamento pós-colheita, sua composição físico-química tem ampla variação (LIMA et al., 2013). Seu conteúdo de EM também é variável, observando-se valores na amplitude de 3.405 a 4.013 kcal de EM/kg de matéria seca (VIEIRA et al., 2007) que corresponde, na base natural, uma variação de 2.955 a 3.461 Kcal/kg com uma amplitude de 506 Kcal/kg e este é um valor muito alto quando o alvo é nutrição animal de precisão. Esta amplitude pode representar uma variação de 10% no valor

de energia na ração fornecida ao frango de corte. Neste sentido a utilização generalizada de um valor médio de EM baseado em tabelas de composição de alimentos, pode comprometer a precisão do balanceamento das dietas. Na formulação de rações é desejável, como condição ideal, a utilização de um valor específico de EM do milho, o qual é determinado através de experimento de metabolismo “in vivo”. Entretanto, a adoção dessa prática é inviável, em razão do custo e do tempo de resposta. Para a consolidação de uma nutrição energética de precisão é necessário que sejam disponibilizadas ferramentas rápidas para se estimar o valor de EM do milho em tempo real com a formulação das rações. Tal fato ainda é uma limitação para o setor produtivo, uma vez que as equações de predição da EM disponíveis na literatura ou são destinadas para alimentos em geral, portanto inespecíficas para o milho, ou apresentam baixa precisão. As variações de EM existentes, se não forem identificadas e ajustadas em tempo real na fábrica de ração, causam grandes impactos no desempenho animal com perdas econômicas significativas. A variação da concentração dos nutrientes no milho é um problema enfrentado nas fábricas de ração. Zanotto et al. (2016a) descreveram esta variação dos nutrientes em 14 partidas de milho e mediante ensaios de metabolismo determinaram a EM utilizando cinco diferentes granulometrias, formando 65 lotes avaliados para EM (**Tabela 1**). Não houve efeito sobre a EM por causa de diferentes granulometrias.

Tabela 1. Análises descritivas das variáveis físico-químicas para 14 partidas de milho e da energia metabolizável (EM) avaliada em 65 lotes de milho com diferentes granulometrias.

Variável ¹ (%)	N	Média	SD	Mínimo	Máximo	Varição relativa
Matéria seca	14	86,89	0,47	86,22	87,60	1,6
Matéria mineral	14	1,04	0,08	0,95	1,20	26,32
Proteína bruta	14	7,54	0,58	6,66	9,03	35,59
Extrato etéreo	14	3,79	0,45	2,85	4,62	62,11
Fibra bruta	14	1,18	0,38	0,57	1,91	235,09
Fibra detergente ácido	14	1,98	0,54	1,24	2,78	124,19
Fibra detergente neutro	14	12,42	1,73	8,70	15,09	73,45
Densidade (g/L)	14	729	17	686	757	10,35
Energia bruta (kcal/kg)	14	3917	27	3865	3962	2,51
EM (Kcal/kg)	65	3236	93,81	3031	3459	14,12

Fonte: Zanotto et al. (2016a), ¹Valores expressos em 87,5% de matéria seca.

Foram estabelecidas equações de predição da EM por causa da variação nutricional. Na **Tabela 2** são apresentadas as estimativas dos parâmetros dos modelos que apresentaram melhores ajustes. Os dois primeiros modelos, apesar dos melhores ajustes e precisões, constam, respectivamente, de quatro e três variáveis explicativas, sendo elas: Fibra Bruta (FB), Extrato Etéreo (EE), Fibra Detergente Neutro (FDN) e Energia Bruta (EB).

No entanto, o moderado grau de complexidade e a morosidade para realização das análises simultaneamente, somados ao fato da necessidade de um calorímetro para determinação da EB, podem limitar o uso prático de tais modelos para estimar a EM do milho em tempo real à formulação de ração. Por outro lado, os modelos três e quatro, além dos ajustes e precisões adequados, apresentam a FB e o EE (modelo 3) ou

apenas FB (modelo 4) como variáveis explicativas, revelando potencial para utilização na predição da EM do milho para frangos de corte. A condição para que as equações da **Tabela 2** apresentem a precisão requerida e possam ser adotadas na formulação das rações é que as análises realizadas, em amostras representativas, pelos laboratórios de apoio atendam os necessários critérios de precisão.

Tabela 2. Modelos selecionados, estimativas dos parâmetros e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e erros de predição (EP) da EM do milho para frangos de corte.

	Modelo*	R^2	EP (kcal/kg)	EP (%)
1.	$EM = 4758,2 - 251,6.FB + 41,7.EE - 6,88.FDN - 0,337.EB$	0,869	26,9	0,83
2.	$EM = 3491,1 - 252,9.FB + 30,2.EE - 7,28.FDN$	0,861	28,4	0,87
3.	$EM = 3415,9 - 280,0.FB + 34,0.EE$	0,848	30,3	0,93
4.	$EM = 3517,4 - 255,8.FB$	0,825	33,0	1,02

Fonte: Zanotto et al. (2016a). *As variáveis independentes e a EM estão na base natural ajustadas para 87,5% MS.

Moagem do Milho e do Sorgo para Suínos

Na produção de suínos em crescimento e terminação o efeito do processamento do grão tem alta influência na energia metabolizável e, nas equações de predição da energia a granulometria (DGM - diâmetro geométrico médio) do milho é responsável por 72% da capacidade de predição com erro de predição de apenas 43 Kcal/kg (**Tabela 3**). As equações de predição são compostas por dois segmentos, sendo o primeiro aplicável a valores de DGM igual ou menor que 481 μm . O

segundo segmento agrupa os demais casos, ou seja, quando o DGM for maior do que 481 μm . A redução do DGM do milho para valor igual ou inferior a 481 μm deixa de contribuir para a melhoria da EM e este é o valor limite para a redução do DGM.

Tabela 3. Equações de predição para estimar o valor da EM do milho para suínos, estimativas dos parâmetros e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e erro de predição (EP).

	Modelo		R^2	EP (Kcal/kg)
5.	$\hat{y} = \begin{cases} 3422,7 & \text{DGM} \leq 481 \\ 3649,1 - 0,4705 \cdot \text{DGM} & \text{DGM} > 481 \end{cases}$		0,727	43,3
6.	$\hat{y} = \begin{cases} 2587,0 + 1,15 \cdot d & \text{DGM} \leq 481 \\ 2814,2 - 0,4721 \cdot \text{DGM} + 1,15 \cdot d & \text{DGM} > 481 \end{cases}$		0,764	41,7
7.	$\hat{y} = \begin{cases} 3188,4 + 62,4 \cdot \text{EE} & \text{DGM} \leq 481 \\ 3420,7 - 0,4826 \cdot \text{DGM} + 62,4 \cdot \text{EE} & \text{DGM} > 481 \end{cases}$		0,796	38,0
8.	$\hat{y} = \begin{cases} 2411,6 + 1,06 \cdot d + 62,6 \cdot \text{EE} & \text{DGM} \leq 481 \\ 2645,2 - 0,4853 \cdot \text{DGM} + 1,06 \cdot d + 62,6 \cdot \text{EE} & \text{DGM} > 481 \end{cases}$		0,837	34,0

Fonte: (ZANOTTO et al., 2016b), \hat{y} = EM (Kcal/kg), d = densidade do grão (g/L), EE = Extrato etéreo (%), DGM = Diâmetro geométrico médio (μm). Valores na base de 87,5% MS.

Na **Figura 2**, estão apresentados os valores observados de Energia Metabolizável corrigida para nitrogênio (na base natural = 87,5% de matéria seca), curva ajustada e intervalo de predição (95%) em função do Diâmetro Geométrico Médio, considerando a equação primeira equação da **Tabela 3**, isto é, apresenta o ajuste do modelo apenas contemplando o DGM do milho moído, cujo R^2 foi igual a 0,727 e os erros de predição iguais a 43,3 Kcal/kg, representando 1,29% da energia metabolizável observada. Nota-se que a moagem do milho em DGMs

inferiores a 481 μm não aumenta a energia metabolizável do milho para suínos.

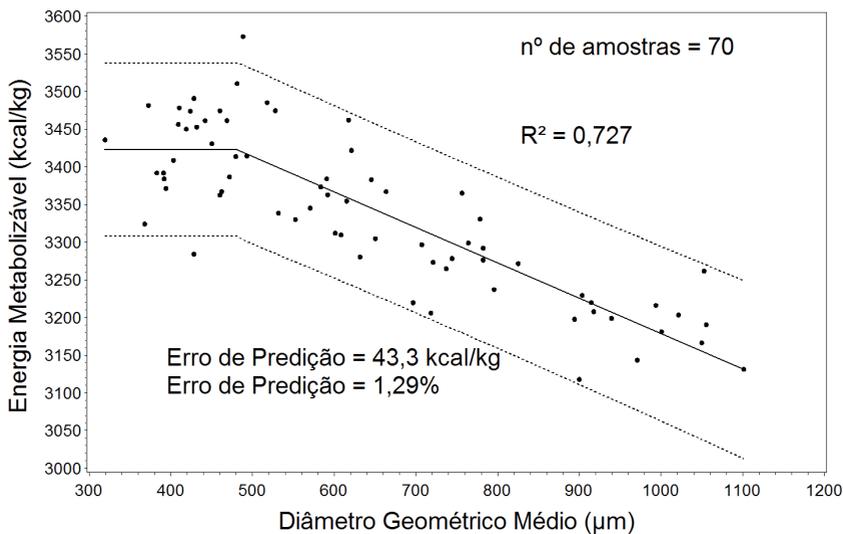


Figura 2. Valores observados de Energia Metabolizável corrigida para nitrogênio (na base natural = 87,5% de matéria seca), curva ajustada e intervalo de predição (95%) em função do Diâmetro Geométrico Médio, com amostra seca.

A moagem do sorgo para sua inclusão em dietas de suínos (leitões, crescimento e terminação) necessita ser realizada com peneira com diâmetro de furo menor ou igual a 1,2 mm alcançando um DGM menor do que 775 micra. Ao contrário, o uso do sorgo em rações de frangos de corte e poedeiras dispensa o processamento do grão (FERNANDES et al., 2013). Isto traz como vantagem a possibilidade do uso do grão em sistemas simples de produção de ovos em que os produtores rurais usam o sorgo (grão inteiro) produzido na propriedade combinando com um concentrado proteico especialmente desenvolvido para esta finalidade.

Melhoramento

A ampla variabilidade genética do milho proporciona múltiplas opções para atender objetivos específicos de programas de melhoramento tendo como alvo a alimentação humana e as indústrias de processamento e de transformação. Nestes casos de produção específica, a manutenção da identidade do milho e a sua comercialização mediante contratos dirigidos é rotina. Porém, a maior proporção do milho produzido é comercializada como “commodity”, não distinguindo características nutricionais específicas dos grãos. Dada esta condição, o melhoramento para características culturais da planta visando produtividade tem maior efeito prático. Houve uma rápida adoção da tecnologia dos transgênicos, evoluindo de 12% da produção em 2004 e alcançando na safra 2015/2016 uma proporção de 88,4% da produção nacional em 15,7 milhões de hectares. Este fenômeno integra um movimento contínuo de maior adoção de tecnologias para uma maior produtividade de milho onde em algumas situações até 15 toneladas por hectare são produzidas. Isto obtido com a combinação de plantio no período adequado em função do clima (luminosidade, temperaturas mínimas e máximas e quantidade de chuva nos momentos críticos), fertilidade e pH do solo ajustados com adubação planejada usando macro e micronutrientes, controle eficiente de plantas invasoras, pragas e patógenos, e uso de sementes com alto potencial genético. Uma alta demanda para o melhoramento do milho é a questão do fósforo fítico que não é aproveitado pelos monogástricos. A incorporação generalizada dos genes para reduzido teor de fósforo fítico no grão é uma necessidade e seu sucesso poderia reduzir a demanda de fósforo nas rações.

A produção de sorgo no Brasil historicamente oscila entre 1,5 a 3% da produção de milho. É a cultura de preferência para regiões que não apresentam o perfil climático para o plantio de milho, ou quando a semeadura se dá fora do período recomendado para o milho. O uso do grão na alimentação de aves e suínos ocorre com a substituição parcial ou total do milho com ajustes nas formulações para manter os níveis nutricionais e o desempenho animal. O valor de equivalência de preços para o sorgo está entre 85 e 90% do preço do milho. Em termos nutricionais existem vantagens no uso do sorgo nas circunstâncias em que uma liberação mais lenta e persistente dos componentes energéticos é desejável. A dinâmica da digestão dos nutrientes do sorgo se diferencia daquela do milho (ANTUNES et al., 2007), pois a estrutura de ligação entre as fontes de carboidratos e de proteínas e a armazenagem destes complexos no grão de sorgo é exclusiva e única. O endosperma do sorgo é composto por amido (27% de amilose e 73% de amilopectina) e a proteína que envolve este amido é mais fortemente aderida no sorgo do que no milho (SCHEUERMANN; LUDKE, 1996). O melhoramento genético do sorgo pode alcançar grandes avanços na qualidade nutricional do grão, aumentando a solubilidade da sua proteína e conseqüentemente aumentar a energia metabolizável para aves e suínos. Programas de melhoramento específicos para aumento do valor nutricional do sorgo para aves foram desenvolvidos estrategicamente em países que não produzem milho para a alimentação animal, mas que têm elevada demanda por cereais.

Subprodutos do Milho

A indústria de processamento e transformação do milho no Brasil apresenta como característica uma ampla variação no perfil tecnológico e esta variação é mais presente no processamento a seco. Assim, para um mesmo produto final destinado à alimentação humana ou indústria de transformação ocorre uma geração de subprodutos que são variáveis em sua composição nutricional. Esta variabilidade deve ser avaliada em termos de concentração de amido residual, fibra bruta, fibra em detergente neutro, extrato etéreo, proteína bruta e cinzas. Os farelos de glúten, de gérmen e os farelos residuais ainda apresentam variação na composição em função dos processos específicos de extração de óleo. A indústria de processamento do milho via úmida em função da maior escala de produção e em razão do alto nível tecnológico tem menor variação na composição dos seus subprodutos, mas variações podem ocorrer em função das estratégias de comercialização adotadas. Considerando a opção de produção de etanol, o preço do milho condiciona o seu uso: o preço de equivalência para produzir etanol está atualmente em torno de 22 reais considerando a saca de 60 kg. Com o preço acima desse patamar não existe a geração de DDGS no país e as usinas “flex” operam apenas com o processamento da cana-de-açúcar. Com menor oferta interna do grão e pagando altos preços parte do milho utilizado na indústria de transformação para gerar produtos para o consumo humano é importada de dois dos principais exportadores mais próximos (Argentina e Estados Unidos). Existe diferença entre o tipo predominante de milho produzido no nosso País (classe grão duro) e aquele produzido nos EUA (classe grão dentado) e isto tem consequências tecnológicas nos processos industriais, podendo gerar subprodutos usados

na alimentação que diferem dos tradicionais. Subprodutos da indústria do milho mais caros potencialmente restringem o seu uso na alimentação dos rebanhos leiteiros, mas também dificultam o uso na ração de frangos de corte.

Considerações Finais

A expressão “é amarelo, mas não é ouro, no entanto vale tanto quanto, então é o grão de milho” faz refletir sobre as condições necessárias para o melhor aproveitamento do valor nutritivo do grão. Controle de qualidade para reconhecer a sua variabilidade nutricional, utilizar a estratégia adequada para contornar os problemas de contaminação por micotoxinas são condições essenciais. Um adequado processamento (moagem do grão) nas fábricas de ração usando a granulometria mais indicada para suínos visando maximizar o valor de Energia Metabolizável é importante. É necessário reconhecer que para frangos de corte e poedeiras a moagem em granulometria fina não traz vantagens em termos de ganho em Energia Metabolizável e aumenta o gasto com energia elétrica. A mesma lógica deve ser adotada para o manejo do sorgo na alimentação dos suínos e das aves.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MILHO. **Estatísticas 2015**. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

ANTUNES, R. C.; RODRIGUES, N. M.; GONÇALVES, L. C.;
RODRIGUES, J. A. S.; BORGES, I.; BORGES, A. L. C. C.; SALIBA,
E. O. S. Composição bromatológica e parâmetros físicos
de grãos de sorgo com diferentes texturas do endosperma.
Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, Belo
Horizonte, v. 59, n. 5, p. 1351-1354, 2007.

BARBARINO JÚNIOR, P. **Avaliação da qualidade nutricional do
milho pela utilização de técnicas de análise uni e multivariadas.**
2001. 161 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade
Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **12º
Levantamento de safra 2015/2016:** setembro 2016. Disponível
em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 12 set. 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Sistema de
Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras - SICARM.**
Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/consultaweb.conab.gov.br/consultas>>. Acesso em: 12 set. 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Entraves
logísticos ao escoamento de soja e milho.** Brasília, DF, 2015. 155
p. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 12 set.
2016.

FERNANDES, E. A.; PEREIRA, W. J. S.; HACKENHAAR, L.;
RODRIGUES, R. M.; TERRA, R. Uso do sorgo integral na
alimentação de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência
Avícola**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 217-222, 2013.

FIREMAN, F. **Mapa de micotoxinas no Brasil**. São Paulo: Safeed Nutrição Animal, 2016. 10 p.

LEAL, P. C. **Qualidade do milho para frangos de corte**. 2012. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LIMA, G. J. M. M.; MANZKE, N. E.; TAVERNARI, F. C.; ZANOTTO, D. L. Estimativa da composição nutricional do milho no Sul do Brasil nos anos de 2011 e 2012. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, 16., 2013, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Abraves: UFMT, 2013. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, S. I. F. C. **Avaliação da qualidade do milho e predição da energia metabolizável para uso em avicultura**. 2009. 106 p. Tese (Doutorado em Ciências Animais) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T.; EUCLIDES, R. F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252 p.

SANTOS, F. P. **Equações de predição da energia metabolizável pela classificação e densidade de milho para frangos de corte em duas fases de criação**. 2011. 56 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos de Goytacazes.

SCHEUERMANN, G. N.; LUDKE, J. V. Qualidade do milho e do sorgo para a nutrição de suínos e aves. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 41.; REUNIÃO TÉCNICA DO SORGO, 24., 1996, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1996. p. 269-297.

SECEX - SECRETARIA DE COMERCIO EXTERIOR. **Exportações de milho**: setembro de 2015 a agosto de 2016. Alice-web. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>>. Acesso em: 12 set. 2016.

VIEIRA, R. O.; RODRIGUES, P. B.; FREITAS, R. T. F.; NASCIMENTO, G. A. J.; SILVA, E. L.; HESPANHOL, R. Composição química e energia metabolizável de híbridos de milho para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 4, p. 832-838, 2007.

ZANOTTO, D. L.; LUDKE, J. V.; COLDEBELLA, A.; CUNHA JÚNIOR, A.; MAZZUCO, H. Equações de predição para estimar o valor de energia metabolizável do milho para frangos de corte. In: SEMINÁRIO TÉCNICO CIENTÍFICO DE AVES E SUÍNOS, 15., 2016, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Gessulli, 2016a. 1 CD-ROM.

ZANOTTO, D. L.; LUDKE, J. V.; COLDEBELLA, A.; BERTOL, T. M.; CUNHA JÚNIOR, A. Equações de predição para estimar o valor de energia metabolizável do milho para suínos. In: SEMINÁRIO TÉCNICO CIENTÍFICO DE AVES E SUÍNOS, 15., 2016, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Gessulli, 2016b. 1 CD-ROM.

Capítulo 6

Utilização de Milho e Sorgo na Alimentação de Bovinos em Confinamento

Fabiano Alvim Barbosa

Geraldo Helber Batista Maia Filho

Isabella Cristina de Faria Maciel

Juliana Moreira Andrade

Patrícia Monteiro Costa

Introdução

A bovinocultura de corte brasileira apresenta índices de produtividade medianos, apesar de possuir o maior rebanho comercial do mundo e conhecimento significativo das tecnologias de produção existentes. O desempenho dos animais em pastagens é razoável durante a estação chuvosa e na estação seca a deficiência alimentar causada pela baixa disponibilidade e qualidade do pasto resulta em perda ou baixo ganho de peso dos animais. Essa situação resulta em um abate tardio e qualidade de carcaça aquém do exigido pelo mercado consumidor, além de alto custo de produção. Esses, dentre outros problemas, aliados à crescente demanda de alimentos, sugerem mudanças em determinados segmentos da bovinocultura de corte brasileira (CARDOSO et al., 2004).

A necessidade de produzir carne vermelha de qualidade e em grandes quantidades para atender o mercado interno e externo vem impulsionando o sistema de engorda de bovinos em confinamento. Essa técnica tem como particularidade a

capacidade de produzir carne em grande escala e com melhor acabamento de gordura, além de reduzir a idade de abate dos animais devido ao elevado ganho de peso no período de engorda. Porém, a atividade de confinamento é tida como de elevado investimento e não pode estar dissociada a viabilidade econômica da viabilidade técnica (FELÍCIO, 1999).

Apesar de ser o maior exportador mundial de carne bovina, o Brasil enfrenta dificuldades para exportar este produto em larga escala para mercados que pagam melhor remuneração, tais como a União Europeia, Japão, Coreia do Sul e os Estados Unidos. Este fato relaciona-se a grande exigência desses países quanto à qualidade da carne e segurança alimentar, sendo esses fatores deficientes na carne brasileira. A adoção de tecnologias nos sistemas de produção, bem como a aumento de pesquisas, expansão da assistência técnica, certificação de processos, aumento da sanidade e segurança alimentar e incentivo ao produtor são fatores fundamentais para reversão deste quadro.

Sistemas de terminação de gado de corte em confinamento têm aumentado nos últimos anos, pois proporcionam vantagens como o planejamento das vendas abatendo os animais em busca de melhores preços da arroba, giro rápido do capital investido, liberação de áreas de pastagens com a retirada dos animais mais pesados e velhos dando lugar para animais mais novos, além do maior peso e padronização de lotes e carcaças. Destaca-se também que neste sistema tanto a qualidade como a quantidade da dieta ofertada, assim como o consumo, são mais fáceis de ser manipulados e controlados (ROZADO et al., 2013).

A produção e a logística de distribuição de volumosos são dos principais complicadores em confinamentos de grande escala. Sendo assim, estratégias com dietas de teores elevados de concentrado podem diminuir a necessidade de produção e distribuição do volumoso. Esse tipo de alimentação apresenta vantagens como a diminuição do tempo de terminação, maior eficiência alimentar (COSTA et al., 2005), facilidade de transporte, estocagem, misturas e distribuição da dieta. Além disso, a manipulação de forragens, quando minimizada, permite obter melhor eficiência operacional nas etapas de mistura e distribuição da dieta, estimulando a minimização de seu uso em dietas de confinamento de maior porte (PAULINO et al., 2013). A utilização de alimentos como a polpa cítrica, casca de soja e outros coprodutos, até mesmo o milho grão inteiro com pellets, representa alternativas economicamente viáveis na substituição de alimentos padrão, que são em parte responsáveis pelos elevados custos de produção dos sistemas de confinamento.

O uso de dietas com alto teor de concentrado tem proporcionado ganhos mais elevados, e com o custo da arroba produzida menor, comparada com a dieta de alto volumoso. De acordo com a Barbosa et al. (2013) busca-se trabalhar com dietas de lucro máximo, pois apesar do gasto diário (R\$/ bovino/dia) ser maior com este tipo de dieta, o custo da arroba produzida é menor quando comparada com a dieta de custo mínimo, em função do maior ganho de peso na dieta de maior custo (Lucro máximo). Assim, os dias de confinamento são reduzidos e as dietas de alto concentrado proporcionam aos animais acabamento de carcaça mais rápido, dando assim espaço para a entrada de novas cabeças no confinamento e conseqüentemente, diluição dos custos fixos.

Nesse sentido, objetiva-se, com essa revisão, analisar a utilização de milho e sorgo na alimentação de bovinos em confinamento, em relação ao desempenho, características de carcaça e de carne.

Revisão Bibliográfica

Como a alimentação é responsável por grande parte dos custos de produção nos sistemas de confinamento, a condução criteriosa dos programas nutricionais exige respaldo de estudos que busquem conhecer, com maior precisão, as interações e os impactos produzidos pelo emprego de alto teor de concentrado bem como suas fontes na alimentação de bovinos. Animais alimentados com dietas contendo maior quantidade de concentrado podem ter maior velocidade de crescimento, o que irá favorecer características qualitativas da carne, como maciez, já que atingem o ponto de abate mais cedo (COSTA et al., 2005).

Nos sistemas de produção animal, mais especificamente na terminação de bovinos em confinamento, o milho é caracterizado como fonte de alimento fundamental aos animais devido ao seu alto teor energético e elevada produtividade de energia líquida por hectare. A fase de terminação exige maior concentração de nutrientes na dieta para que o animal possa apresentar desempenho satisfatório, proporcionando maior controle da produção, qualidade de acabamento nas carcaças e padrão nos cortes cárneos (BELTRAME; UENO, 2011).

O milho grão moído e o farelo de soja são ingredientes cujos valores nutritivos são considerados padrão. Todavia, o custo de aquisição desses alimentos é um dos principais fatores que limitam a competitividade da produção intensiva de carne

nos locais afastados de fronteiras agrícolas. Daí a necessidade de estudos com fontes alternativas de concentrados com o intuito de tornar mais rentável a intensificação do processo de produção (COSTA et al., 2005). A utilização de alimentos como a polpa cítrica, casca de soja, até mesmo o milho grão inteiro e pellets podem ser alternativas economicamente viáveis em substituição aos alimentos padrão, que são em parte responsáveis pelos elevados custos de produção dos sistemas de confinamento.

O principal componente energético do grão de milho é o amido, que, nos ruminantes, pode ser fermentado no rúmen, no intestino grosso ou digerido enzimaticamente no intestino delgado. A digestibilidade do amido pode ser influenciada pelo grau de processamento do grão, interação com teor de fibra e taxa de passagem da dieta. Assim, quando o amido representa a principal fonte energética da dieta, melhor compreensão dos locais de digestão deste nutriente torna-se importante (HENRIQUE et al., 2007). O processamento de alimentos proporciona aumento na degradabilidade ruminal e digestibilidade intestinal do amido, melhorando o aproveitamento deste nutriente pelo animal (PUTRINO et al., 2006).

O processamento do milho aumenta a utilização do amido, *in vitro*, *in situ* e *in vivo* em virtude da melhora da fermentação ruminal e da digestão intestinal (THEURER et al., 1999). A floculação do milho causa gelatinização do amido, por meio da ruptura das pontes de hidrogênio intermoleculares e quebra da matriz proteica, e aumenta a superfície do grão sujeita ao ataque microbiano, resultando em maior digestão ruminal do amido (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986). Já a moagem do milho

grão reduz o tamanho de partícula influenciando os padrões de fermentação ruminal, produção microbiana e eficiência da utilização do amido e outros nutrientes no rúmen (PASSINI et al., 2004).

Owens et al. (1986) descreveram que os métodos de processamentos do milho grão aumentam o coeficiente de digestibilidade na seguinte ordem: integral, laminado, moído, alta umidade e floculado a vapor. A digestão de amidos de milho e sorgo no trato digestivo de bovinos ocorre em média 80% no rúmen.

Galyean et al. (1979) estudaram o tamanho da partícula, extensão e local da digestão da matéria seca e amido em novilhos alimentados com dietas à base de milho e verificaram que o milho inteiro tem menor digestibilidade ruminal (70,8%) do que do milho triturado (91,7%). Além do mais, a digestão do amido no trato digestivo é mais baixa para o milho integral (88,2%) do que para o milho triturado no tamanho de 3,18 mm (94,55%), 4,76 mm (93,7%) e 7,94 mm (93,5%). Por outro lado, a digestão do amido no intestino é geralmente baixa, particularmente para grãos triturados. Assim, o processamento do grão pela mastigação mostra-se necessária para maximizar a digestão total do amido.

A floculação do grão de milho é uma técnica que consiste na aplicação de vapor por 30 a 40 minutos sobre o grão fazendo com que ele absorva água, aumente seu tamanho e comece a gelatinizar o amido. Depois os grãos passam através de rolos que aumentam a superfície de contato e quebram a matriz proteica que envolve o grânulo de amido (GABARRA et al., 2007). A densidade recomendada do milho floculado para

utilização em bovinos de corte terminados em confinamento é de 310 a 360g/L. Os grãos não podem ser nem menos nem excessivamente processados, pois os menos processados não aumentam suficientemente a digestibilidade do amido e os excessivamente processados prejudicam o desempenho dos animais por aumentarem os riscos de acidose (CLARINDO, 2006).

O uso de dietas à base de milho grão inteiro e sem fonte de volumosos de fibra longa, ou sem volumoso, tem o intuito de promover a melhoria no desempenho produtivo, manipulação na deposição de gordura de acabamento e marmoreio com efeitos no crescimento da carcaça e na qualidade de carne de animais confinados (SILVA, 2009). Neste sistema não é necessário grande volume de mão de obra, bem como gastos com óleo diesel ou aquisição e manutenção de máquinas e implementos, o que facilita a adoção deste modelo também por pequenos e médios produtores, que não precisam investir em estrutura como no confinamento tradicional.

O grande problema relatado pela maioria dos confinadores está no momento de produzir o volumoso para os animais que serão confinados. A confecção de silagens ou o corte da cana-de-açúcar, por exemplo, exige equipamentos e maquinários cada vez mais caros e específicos, além de extensas áreas para produzi-los. A utilização da dieta com exclusivo concentrado (milho grão inteiro e pellets) vem sendo utilizada em nosso país e consiste em uma interessante opção para os produtores, especialmente em regiões onde não há volumoso ou há grande dificuldade em produzir silagem e em situações que o preço do milho é mais barato, pois produzir carne torna-se mais vantajoso que vender milho. Essas situações não exigem um planejamento antecipado de produção de volumosos e

evitam problemas comumente ocorridos com maquinários e mão de obra tanto no plantio como no corte da lavoura (BELTRAME; UENO, 2011). Millen et al. (2009) relataram que o manejo alimentar em confinamentos do Brasil é realizado utilizando vagão distribuidor, vagão distribuidor montado ou vagão estacionário misturador, nas proporções de 44, 42 e 14%, respectivamente. Além disso, a distribuição do trato ocorre apenas 46% das vezes com descarga programada, sendo 54% das descargas realizadas com bica corrida. Com isso, os maiores desafios do manejo alimentar foram: a falta de mão de obra capacitada, a disponibilidade e precisão dos equipamentos, a administração e o manejo, a logística, o custo dos insumos e a dieta única, responsáveis por 39, 23, 16, 16, 4 e 2%, respectivamente. Estes cenários evidenciam a oportunidade e tendência do aumento da gestão técnica no confinamento que pode aumentar o uso de concentrado nas dietas.

Uma outra alternativa de processamento de grãos é a ensilagem de grãos úmidos. A silagem de grão úmido é o produto da conservação em meio anaeróbico de grãos de cereais após a maturação fisiológica, momento em que não ocorre mais depósito de nutrientes no grão, apresentando teores de umidade em torno de 28% (25 a 30%). O processo de fermentação da ensilagem de grãos com alta umidade tem como princípio a fermentação bacteriana, sendo afetada pela concentração de carboidratos solúveis, a umidade e a população microbiana (COSTA et al., 1999). O milho alcança o estado de maturação fisiológica em torno de 30 a 35% de umidade (IGARASI et al., 2008). A ensilagem promove alterações químicas e físicas nas moléculas do amido, facilitando a ação das enzimas amilolíticas na digestão microbiana e das enzimas pancreáticas na digestão que

ocorre no intestino delgado (OWENS et al., 1997). A maior degradabilidade do amido aumenta a capacidade fermentativa ruminal, elevando a síntese da proteína microbiana e a produção de ácido propiônico, aumentando a síntese de glicose e maior disponibilidade de aminoácidos para síntese de proteína muscular (THEURER et al., 1995).

A utilização do sorgo como fonte energética em dietas de bovinos de corte, em substituição parcial ou total aos grãos de milho, tem sido largamente estudada. O sorgo apresenta como vantagens o alto potencial de produção em regiões áridas, não apresenta competição com o consumo humano, menor custo de produção e valor de comercialização de 80% do preço do milho (CRUZ; NUCCIO, 2002). Existem algumas alternativas de utilização do sorgo, uma delas é o sorgo granífero, utilizado em rações substituindo o milho e o sorgo forrageiro pode ser utilizado como pastagem ou para a produção de silagens. Além disso, a cultura do sorgo apresenta bom desempenho em sistemas de integração lavoura/pecuária e para produção de massa, proporcionando maior proteção do solo contra a erosão, maior quantidade de matéria orgânica disponível e melhor capacidade de retenção de água no solo, além de propiciar condições para uso no plantio direto (RODRIGUES, 2010). Como o milho, o grão de sorgo também pode ser utilizado em diferentes formas de processamento: triturado, floculado, laminado, e como silagem de grão úmido, nesse caso o estágio de maturação fisiológica ocorre entre 25 a 30%, segundo Clark (1988).

Portanto, o estudo de diferentes fontes de energia em dietas de bovinos confinados é fundamental e pode proporcionar um maior peso de carcaça com adequado acabamento e melhoria

da qualidade da carne. Além disso, trabalhos de pesquisas, no Brasil, usando milho floculado e milho grão inteiro em dietas de bovinos confinados são escassos, sendo necessário elucidar as vantagens e os entraves desses alimentos.

Desempenho e Eficiência Alimentar

De acordo com Mertens (1994), o desempenho animal tem relação direta com o consumo de matéria seca digestível, de modo que até 90% da variação do desempenho pode ser ocasionada pelo consumo, e, no máximo, 40% advêm de flutuações na digestibilidade. O CMS, no entanto, varia conforme o animal, o alimento e as condições de alimentação e de clima. A composição nutricional da dieta está diretamente relacionada ao ganho de peso do animal, sendo uma das premissas a relação proteína degradada no rúmen (PDR) e nutrientes digestíveis totais (NDT). Valadares Filho et al. (2010) descreveram ser recomendável que se utilize 12% do NDT como exigência para PDR, uma vez que trabalhando em sistemas tropicais com animais zebuínos e cruzados, a eficiência microbiana foi atingida com a síntese de 120g de proteína microbiana por Kg de NDT.

O consumo está relacionado diretamente ao aporte de nutrientes e, conseqüentemente, ao atendimento das exigências nutricionais dos animais, e relaciona-se com a digestibilidade, dependendo da qualidade e do balanceamento da dieta. Rações ricas em concentrados e com baixo teor de FDN (abaixo de 25%) apresentam alta digestibilidade e quanto mais digestivo o alimento, menor o consumo. Justamente ao contrário do que ocorre com dietas de baixa qualidade (acima de 75% de FDN e baixo NDT) (VAN SOEST, 1994; MERTENS, 1994).

A conversão alimentar (CA) representa a eficiência com que o animal transforma o alimento em peso vivo e a eficiência biológica (EB), também conhecida como “eficiência de deposição de carcaça”, relaciona a quantidade de MS ingerida com as arrobas ganhas no confinamento (PAULINO et al., 2008). Com isso, ao se aumentar o teor de concentrado na dieta, espera-se uma melhora na eficiência alimentar dos animais.

Missio et al. (2009) avaliaram o desempenho de novilhos Nelore confinados com 14 a 16 meses, recebendo dietas com diferentes teores de concentrado (22, 40, 59 e 79% na matéria seca total). Os resultados demonstraram que o aumento do teor de concentrado na dieta resultou em diminuição da idade de abate, diminuição na conversão alimentar, aumentos no consumo de matéria seca em porcentagem de peso corporal, no consumo de energia digestível e no ganho diário de peso.

Da mesma forma, Ferreira et al. (1998) estudaram diferentes teores de concentrado (25; 37,5; 50; 62,5; 70% na matéria seca total) na terminação de bovinos F1 Simental x Nelore e relataram aumento no ganho de peso de carcaça, e diminuição da conversão alimentar e dias de confinamento com o aumento de concentrado.

Maia Filho et al. (2016) utilizaram novilhos Nelore, não castrados, com idade média inicial de 32 meses e peso vivo médio de $355 \pm 19,56$ kg para avaliar diferentes fontes de energia na dieta. Os bovinos foram divididos em quatro tratamentos foram MGI - dieta composta por milho grão inteiro e suplemento comercial peletizado; SCMF - dieta composta por silagem de capim elefante e milho floculado como fonte energética; SCPC - dieta composta por silagem de capim

elefante e polpa cítrica como fonte energética; SCMM - dieta composta por silagem de capim elefante e de milho grão moído como fonte energética. O consumo de matéria seca (CMS) e a eficiência biológica (EB) foram menores ($P < 0,05$) para a dieta MGI. O GMDC foi similar entre os tratamentos ($P > 0,05$). Apesar do menor GMD de peso corporal para MGI, ao avaliar o ganho em carcaça esse tratamento obteve a mesma resposta dos demais, fato que pode ser justificado pela menor quantidade de conteúdo e peso de trato gastrointestinal do que dietas com maior proporção de volumoso (SILVA et al., 2002). Além disso, nas dietas com milho grão inteiro pode ter ocorrido deposição de gordura mais precocemente, obtendo o rendimento de carcaça semelhante, apesar de menor peso da carcaça, comparado às dietas com volumoso.

Mandarino et al. (2013), trabalhando com animais da raça Nelore e Nelore x Brahman, submetidos a dieta à base de milho grão inteiro (proporção milho grão: pellet de 85:15%), com peso vivo ao abate de 482,14kg e um período de confinamento de 96 dias, registraram GMD e ingestão diária de matéria seca de 1,25kg e 8,52kg (1,79 % PV), respectivamente. Tais resultados sugerem que a dieta à base de milho grão inteiro pode ser recomendada para a terminação de animais da raça zebuína.

Costa et al. (2015) avaliaram duas diferentes dietas em confinamento, sendo uma dieta de exclusivo concentrado (milho grão inteiro e pellets) e outra de alto concentrado, sendo o milho moído a fonte energética. Não houve diferenças para ganho médio diário de carcaça e peso de carcaça quente entre as dietas avaliadas. O rendimento de carcaça foi superior na dieta de exclusivo concentrado, o que pode ser explicado **pela maior densidade energética dessa dieta, o que proporciona**

menor tamanho do trato gastrointestinal. Assim há uma maior eficiência do uso da energia associada a uma maior transferência do ganho de peso corporal, a energia da dieta é utilizada para produção de tecidos, o que refletem em ganho de carcaça (PAULINO et al., 2013).

Larraín et al. (2009) avaliaram os efeitos da substituição, total ou parcial (50%), de milho por sorgo de alto tanino (AT) em dietas de bovinos de corte confinados. Foram utilizados 33 bovinos cruzados Angus, com dieta de alto concentrado. O sorgo AT utilizado possuía concentração de 53 mg de tanino por grama de grão. Não foram observadas diferenças de ganho de peso entre os tratamentos milho e mistura, (substituição de 50% do milho por sorgo AT), tendo apresentado ganhos de 1,86 e 1,80 kg/cab/dia para os animais do tratamento milho e mistura, respectivamente. Já os animais com substituição total do milho por sorgo AT apresentaram ganhos de 1,47 kg/cab/dia, evidenciando a significativa perda de peso causada pela substituição total de milho por sorgo AT. Apesar das diferenças observadas no ganho de peso e no peso vivo final dos diferentes tratamentos, não foi observada diferença na ingestão total de matéria seca, demonstrando queda na conversão alimentar quando da substituição total de milho por sorgo AT. As conversões alimentares foram de 19,3, 19,3 e 16,6 g/100g matéria seca para os tratamentos Milho, Mistura e Sorgo AT, respectivamente.

Igarasi et al. (2008) avaliaram diferenças no desempenho de animais jovens alimentados com dietas contendo grão úmido de milho ou sorgo. Utilizaram-se dois tratamentos experimentais, nos quais a dieta total possuía, como ingrediente energético principal, grão úmido de milho ou grão

úmido de sorgo. Noventa novilhos inteiros F1 Red Angus x Nelore, com 8 meses de idade e 240 kg de peso vivo médio inicial, foram alimentados durante 172 dias e divididos nos dois tratamentos. O desempenho animal não foi influenciado pelos tratamentos com diferentes ingredientes energéticos da dieta (milho ou sorgo), uma vez que as variáveis peso vivo final (514,22 e 524,31 kg para milho e sorgo, respectivamente) e ganho médio diário (1,50 e 1,58 kg/dia para milho e sorgo, respectivamente) não apresentaram diferença ($P>0,05$) entre os tratamentos.

Huck et al. (1998) avaliaram o desempenho de bovinos confinados alimentados com sorgo floculado em comparação ao milho floculado. As combinações de grãos foram de 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 e 0:100 SFC: SFS, respectivamente. Não houve diferença para a ingestão de matéria seca e ganho médio diário entre os tratamentos.

Boas et al. (2016) avaliaram o desempenho produtivo e econômico de diferentes grupos genéticos (Nelore - NEL; $\frac{1}{2}$ Angus x $\frac{1}{2}$ Nelore - AN; $\frac{1}{2}$ Tabapuã x $\frac{1}{2}$ Nelore - TN; $\frac{1}{2}$ Charolês x $\frac{1}{4}$ Angus x $\frac{1}{4}$ Nelore - CAN e $\frac{1}{2}$ Tabapuã x $\frac{1}{4}$ Angus x $\frac{1}{4}$ Nelore - TAN) recebendo dieta de alto concentrado, com milho moído como fonte energética. Os animais AN e CAN obtiveram ganho médio diário superiores (1,848 e 1,857 kg, respectivamente), quando comparados aos animais NEL (1,390 kg) e TN (1,292 kg). Os custos da arroba produzida foram R\$ 107,97 para NEL, R\$95,28 para NA, R\$ 111,71 para TN, R\$ 95,18 para CAN e R\$ 99,60 para TAN, e o preço de venda da arroba variou entre R\$140,00 e R\$145,00, portando o confinamento de todos os grupos genéticos avaliados foi economicamente viável.

Características de Carcaça e de Carne

De acordo com Oliveira et al. (2009), o rendimento de carcaça tem importância econômica, pois grande parte da comercialização da carne inspecionada no Brasil é realizada com base no peso de carcaça e não no peso corporal. Além disso, a indústria de carne bovina, tanto no Brasil quanto no mundo, possui entraves comerciais relacionados à falta de uniformidade na idade de abate dos animais, cobertura de gordura e marmorização da carne, fatores que possuem grande influência na maciez e palatabilidade do produto.

O rendimento de carcaça pode ser afetado por fatores como peso do conteúdo gastrointestinal, que é diretamente afetado pelo número de horas de jejum que os animais são submetidos, pelo tipo de dieta, pelo peso e/ou a idade de abate e pelo grau de acabamento, além dos pesos do couro, da cabeça e do trato gastrointestinal. Os cortes básicos das carcaças de bovinos no mercado brasileiro são o dianteiro, a ponta-de-agulha e o traseiro especial (BRASIL, 1988). Economicamente é desejável maior rendimento do traseiro especial em relação aos outros cortes, pois nele se encontram as partes nobres da carcaça, de maior valor comercial.

Restle et al. (1996) citaram que os frigoríficos pagam melhores preços por animais de maior peso, pois obtêm com isso maior rendimento por unidade de animal abatido, resultando em cortes cárneos de maior tamanho, preferidos tanto pelo mercado interno como pelo externo. O grau de acabamento da carcaça é outro aspecto importante na comercialização, pois os frigoríficos exigem grau de acabamento adequado para evitar escurecimento dos músculos externos durante o resfriamento,

além de influenciar as características sensoriais da carne (VAZ; RESTLE, 2000).

Principais fatores que influenciam a maciez da carne são o genótipo e a idade do animal. Animais alimentados com dietas contendo maior quantidade de concentrado podem ter maior velocidade de crescimento, o que irá favorecer características qualitativas, como maciez, já que atingem o ponto de abate mais cedo (OLIVEIRA et al., 2009).

Ribeiro et al. (2002), trabalhando com tourinhos $\frac{3}{4}$ Europeu x $\frac{1}{4}$ Zebu (Filhos de touros Gelbvieh e Shorthorn em vacas mestiças Caracu x Nelore) alimentados com dieta de alto concentrado e diferentes proporções de volumoso, verificaram que os baixos teores de fibra não alteraram as características qualitativas das carcaças dos animais. De acordo com Bartle et al. (1994), animais alimentados sem volumoso tiveram o mesmo ganho de peso, melhor avaliação de carcaça e menores custos de alimentação quando comparados aos animais que receberam 10% de volumoso em suas dietas.

Segundo Luchiari Filho (2000), a avaliação da musculosidade e do grau de acabamento de gordura é muito importante na avaliação da carcaça. A área de olho de lombo (AOL) e a espessura de gordura subcutânea (EGS), ambas as medidas na altura da 12^a costela, são internacionalmente aceitas como bons indicadores da musculosidade e da quantidade de gordura de acabamento.

A gordura subcutânea tem como principal função a proteção da carcaça contra a desidratação e escurecimento da parte externa dos músculos. Já a AOL é uma característica indicadora

da composição da carcaça, já que esta tem sido relacionada à musculosidade do animal e ao rendimento dos cortes de alto valor comercial, tendo correlação positiva com a porção comestível da carcaça. Quanto maior a AOL, maior será o rendimento do traseiro e da região lombar (ABULARACH et al., 1998).

Margarido et al. (2011) avaliaram a influência de dois níveis de concentrado na terminação de bovinos de corte em confinamento e encontraram maiores valores de AOL para animais recebendo a dieta com alto concentrado (76,6% na matéria seca) quando comparados com os animais recebendo a dieta com baixo concentrado (46,7% na matéria seca), sendo 76,7 e 64,4 cm², respectivamente. No entanto, a EGS não apresentou diferença, com uma média de 5,05 mm.

Ribeiro et al. (2008) trabalharam com tourinhos Nelore, Tabapuã e Guzerá submetidos a uma dieta com 70% de concentrado na matéria seca e silagem de milho como fonte de volumoso e encontraram valores médios de 77,8 cm² para AOL e 4,5 mm para EGS, não diferindo entre os grupos genéticos.

Maia Filho et al. (2016) utilizaram novilhos Nelore, não castrados, com idade média inicial de 32 meses e peso vivo médio de 355 ± 19,56 kg para avaliar diferentes fontes de energia na dieta. Os bovinos foram divididos em quatro tratamentos foram MGI - dieta composta por milho grão inteiro e suplemento comercial peletizado; SCMF - dieta composta por silagem de capim elefante e milho floculado como fonte energética; SCPC - dieta composta por silagem de capim elefante e polpa cítrica como fonte energética; SCMM - dieta composta por silagem de capim elefante e de milho grão

moído como fonte energética. Não houve efeito da dieta no rendimento dos cortes da carcaça (dianteiro e traseiro) na AOL, na EGS e na maciez da carne ($P>0,05$). E destacaram que os resultados referentes a AOL e espessura de gordura destacam que o manejo alimentar aplicado neste estudo, visando a qualidade da carcaça apresentou eficiência em qualquer dos tratamentos utilizados, uma vez que, a cobertura de gordura na carcaça é importante para evitar flutuações rápidas na temperatura da carcaça na câmara fria, evita o escurecimento e ressecamento muscular (EUCLIDES FILHO et al., 2003), enquanto a AOL é um importante preditor do rendimento do tecido muscular (carne) da carcaça (RIBEIRO et al., 2008).

A maciez é uma característica determinante da qualidade da carne e provavelmente uma das mais importantes características organolépticas observadas pelo consumidor. Há uma aparente mudança na comunidade científica e na indústria de carne, na busca de produtos padronizados e com garantia de maciez, desde que estas características sejam exatamente o que os consumidores desejam no produto carne (KOOHMARAIE et al., 1995).

Rübensam et al. (1998) descreveram que a maciez da carne após 24 horas e também as carnes maturadas são influenciadas pelas calpastatinas, que cessam seus efeitos só quando termina a calpaína ou o sistema enzimático é destruído pelo cozimento. Carnes com alta atividade de calpastatina no primeiro dia *post-mortem* necessitam de maior força para serem cortadas, ou seja, são menos macias. Estes autores descreveram também que a carne de zebuínos é menos macia que a carne de taurinos em função da idade ao abate dos animais e em virtude da proteólise reduzida das proteínas miofibrilares associada à

alta atividade de calpastatina nos músculos. A participação crescente de genes de *Bos indicus* em cruzamentos com *Bos taurus* diminui consideravelmente a maciez da carne devido à maior atividade de calpastatina na carne de *Bos indicus* e suas cruzas. À medida que a participação do genótipo *Bos indicus* ultrapassa 25% em cruzamentos com *Bos taurus*, a atividade de calpastatina e a força de cisalhamento do contrafilé (músculo *L. dorsi*) aumentam, resultando em carne de pior textura, ou seja, mais dura.

Gaebel et al. (1998) compararam a utilização de grão de milho e de sorgo laminados a seco e extrusados na terminação de novilhos em confinamento. O rendimento de carcaça quente, a classificação de carcaça, a espessura de gordura, a área de olho de lombo, e o rendimento de desossa foram semelhantes para as dietas contendo 78,6% de grão de milho ou de sorgo.

Ao avaliar as características de carcaça de novilhos terminados com dieta à base de milho ou sorgo alto tanino, Larraín et al. (2009) encontraram diferenças para peso de carcaça quente e espessura de gordura, onde o aumento da proporção de sorgo alto tanino acarretou a diminuição das características avaliadas, sem alterações na área de olho de lombo e rendimento de carcaça.

Breithaupt et al. (2016) avaliaram o desempenho de animais recebendo silagem de grão úmido de milho *versus* milho seco. Foram utilizados 384 novilhos mestiços castrados. Não houve diferença para peso de carcaça quente, área de olho de lombo e espessura de gordura entre os tratamentos.

Ao avaliar diferentes grupos genéticos (Nelore - NEL; ½ Angus x ½ Nelore - AN; ½ Tabapuã x ½ Nelore - TN; ½ Charolês x ¼ Angus x ¼ Nelore - CAN e ½ Tabapuã x ¼ Angus x ¼ Nelore - TAN) recebendo dieta de alto concentrado, com milho moído como fonte energética, Matta et al. (2016) encontraram diferenças entre os grupos para peso de carcaça quente, onde os animais AN (321,54 kg) foram superiores aos NEL (279,50 kg) e aos TN (268,90 kg) e o grupo CAN (316,00 kg) foi superior ao TN, não houve diferença entre o grupo TAN (286,23 kg) e os outros tratamentos. Em relação ao ganho médio diário de carcaça, os animais AN e CAN obtiveram os ganhos de 1,213 e 1,199 kg, respectivamente, valores superiores aos grupos genéticos NEL (0,883 kg) e TN (0,826 kg), o grupo TAN (1,073 kg) foi superior apenas ao TN.

Referências

- ABULARACH, M. L. S.; ROCHA, C. E.; FELÍCIO, P. E. Características de qualidade do contrafilé (m.L.dorsi) de touros jovens da raça Nelore. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, p. 205-210, 1998.
- BARBOSA, F. A.; MELO, A. A.; AZEVÊDO, H. O.; LEÃO, J. M.; AZEVEDO, L. A. Implicações técnicas e econômicas das arrobas ganhas no confinamento. In: ENCONTRO CONFINAMENTO, GESTÃO TÉCNICA E ECONÔMICA, 8., 2013, Ribeirão Preto. **A chave para o crescimento da agropecuária competitiva: anais**. Ribeirão Preto: Consultoria Avançada em Agropecuária: Sistema Brasileiro do Agronegócio, 2013. p. 291-315.
- BARTLE, S. J.; PRESTON, R. L.; MILLER, M. F. Dietary energy source and density: effects of roughage source roughage

equivalent, tallow level, and steer type on feedlot performance and carcass characteristics. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 8, p. 1943-1953, 1994.

BREITHAUPT, M. L. J.; BITTNER, C. J.; BURKEN, D.; ERICKSON, G. E.; MacDONALD, J. C. Evaluating Syngenta enhanced feed corn processed as dry-rolled or high-moisture corn on cattle performance and carcass characteristics. **Nebraska Beef Cattle Report**, p. 141-145, 2016.

BELTRAME, J. M.; UENO, R. K. **Dietas 100% concentrado com grão de milho inteiro para terminação de bovinos de corte em confinamento**. 2011. 41 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Tuiuti do Paraná, Guarapuava.

BOAS, A. V.; ANDRADE, J. M.; BARBOSA, F. A.; ALVARENGA, R. C.; WINKELSTRÖTER, L. K.; MATTA, M. A. S.; SALLES, A. P. Desempenho produtivo e econômico de bovinos Nelore e seus cruzados terminados em confinamento. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 6., 2016, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2016. p. 243-244. SIMCORTE.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 5, de 08 de novembro de 1988. Padronização dos cortes de carne bovina. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 nov. 1988. Seção 1, p. 22291.

CARDOSO, G. C.; GARCIA, R.; SOUZA, A. D.; PEREIRA, O. G.; ANDRADE, C. M. S. D.; PIRES, A. J. V.; BERNARDINO, F. S. Desempenho de novilhos Simental alimentados com silagem de sorgo, cana-de-açúcar e palhada de arroz tratada ou não com

amônia anidra. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 2132-2139, 2004.

CLARINDO, R. L. **Fontes energéticas e proteicas para bovinos confinados em fase de terminação**. 2006. 61 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CLARK, J. Managing high moisture and reconstituted grains. In: McCULLOUGH, K. K.; BOLSEN, M. E. (Ed.). **Silage management**. Des Moines: Silage Technology Division: National Feed Ingredients Association, 1988. p. 205-230.

COSTA, C.; ARRIGONI, M. B.; SILVEIRA, A. C. Silagem de grãos úmidos. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 7, 1999, Piracicaba. **Alimentação suplementar**: anais. Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 69-87.

COSTA, M. A. L.; VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, M. F.; VALADARES, R. F. D.; CECON, P. R.; PAULINO, P. V. R.; MORAES, E. H. B. K.; MAGALHÃES, K. A. Desempenho, digestibilidade e características de carcaça de novilhos zebuínos alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 1, p. 268-279, 2005.

COSTA, P. M.; BARBOSA, F. A.; ALVARENGA, R. C.; ANDRADE, V. J.; MACIEL, I. C. de F.; GUIMARÃES, S. T.; WINKELSTRÖTER, L. K. Avaliação do desempenho de bovinos cruzados em confinamento alimentados com dietas de alto concentrado ou exclusivo concentrado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 52., 2015, Belo Horizonte.

Zootecnia: otimizando recursos e potencialidades: anais. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2015. 3 p.

CRUZ, G. M.; NUCCIO, C. M. B. Sorgo na alimentação de bovinos, In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2., 2002, Uberlândia, MG. **Anais.** Uberlândia: CBNA, 2002. p. 91-104.

EUCLIDES FILHO, K.; FIGUEIREDO, G. R. D.; EUCLIDES, V. P. B.; SILVA, L. O. C.; ROCCO, V.; BARBOSA, R. A.; JUNQUEIRA, C. E. Desempenho de diferentes grupos genéticos de bovinos de corte em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1114-1122, 2003.

FELÍCIO, P. E. Desdobramento da função qualidade da carne bovina. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Resumos dos trabalhos apresentados...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1999. 5 p.

FERREIRA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, J. F. C. da; PAULINO, M. F.; VALADARES, R. F. D.; CECON, P. R.; MUNIZ, E. B. Consumo, conversão alimentar, ganho de peso e características da carcaça de bovinos F1 Simental x Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 343-351, 1998.

GABARRA, P. R.; SANTOS, F. A. P.; BITTAR, C. M. M.; PIRES, A. V.; IMAIZUMI, H. Fontes proteicas e energéticas com diferentes degradabilidades ruminiais para novilhos de corte. **Acta Scientiarum Animal Science**, v. 29, n. 2, p. 195-202, 2007.

GAEBE, R. J.; SANSON, D. W.; RUSH, I. G.; RILEY, M. L.; HIXON, D. L.; PAISLEY, S. I. Effects of extruded corn or grain sorghum on intake, digestibility, weight gain, and carcasses of finishing steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 76, n. 8, p. 2001-2007, 1998.

GALYEAN, M. L.; WAGNER, D. G.; OWENS F. N. Corn particle size and site and extent of digestion by steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 49, p. 204-210, 1979.

HENRIQUE, W.; FILHO, J. A. B.; LEME, P. R.; LANNA, D. P. D.; ALLEONI, G. F.; COUTINHO FILHO, J. L. V.; SAMPAIO, A. A. M. Avaliação da silagem de grãos de milho úmido com diferentes volumosos para tourinhos em terminação: desempenho e características de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 183-190, 2007.

HUCK, G. L.; KREIKEMEIER, K. K.; KUHL, G. L.; ECK, T. P.; BOLSEN, K. K. Effects of feeding combinations of steam-flaked grain sorghum and steam-flaked, high-moisture, or dry-rolled corn on growth performance and carcass characteristics in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 76, p. 2984-2990, 1998.

IGARASI, M. S.; ARRIGONI, M. B.; SOUZA, A. A.; SILVEIRA, A. C.; MARTINS, C. L.; OLIVEIRA, H. N. Desempenho de bovinos jovens alimentados com dietas contendo grão úmido de milho ou sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 3, p. 513-519, 2008.

KOOHMARAIE, M.; SHACKELFORD, S. D.; WHEELER, T. L.; LONERGAN, S. M.; DOUMIT, M. E. A muscle hypertrophy

condition in lamb (callipyge): characterization of effects on muscle growth and meat quality traits. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, p. 3596-3607, 1995.

LARRAÍN, R. E.; SCHAEFER, D. M.; ARP, S. C.; CLAUS, J. R.; REED, J. D. Finishing steers with diets based on corn, high-tannin sorghum, or a mix of both: feedlot performance, carcass characteristics, and beef sensory attributes. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, p. 2089-2095, 2009.

LUCHIARI FILHO, A. **Pecuária da carne bovina**. São Paulo: Ed. do Autor, 2000. 134 p.

MAIA FILHO, G. H. B.; BARBOSA, F. A.; EMERICK, L. L.; SOUZA, R. C.; FIGUEIREDO, T. C.; AZEVEDO, H. O.; CAVALCANTI, L. F. L.; MANDARINO, R. A. Carcass and meat traits of feedlot Nellore bulls fed different dietary energy sources. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 45, n. 5, p. 265-272, 2016.

MATTA, M. A. S.; ANDRADE, J. A.; BARBOSA, F. A.; ALVARENGA, R. C.; FERREIRA, A. L. P.; LOPES, S. Q.; BOAS, A. V. Características de carcaça de bovinos zebuínos e cruzados terminados em confinamento. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 6., 2016, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2016. p. 349-350. SIMCORTE.

MANDARINO, R. A.; BARBOSA, F. A.; CABRAL FILHO, S. L. S.; LOBO, C. F.; SILVA, I. S.; OLIVEIRA, R. V.; DIOGO, J. M. S.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. Desempenho produtivo e econômico do confinamento de bovinos zebuínos alimentados com três dietas de alto concentrado. **Arquivo Brasileiro de Medicina**

Veterinária e Zootecnia, Belo Horizonte, v. 65, n. 5, p. 1463-1471, 2013.

MARGARIDO, R. C. C.; LEME, P. R.; SILVA, P. L.; PEREIRA, A. S. C. Níveis de concentrado e sais de cálcio de ácidos graxos para novilhos terminados em confinamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 2, p. 330-336, 2011.

MERTENS, D. R. Regulation of forage intake. In: FAHEY JUNIOR, G. C. **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1994. p. 450-493.

MILLEN, D. D.; PACHECO, R. D. L.; ARRIGONI, M. D. B.; GALYEAN, M. L.; VASCONCELOS, J. T. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, p. 3427-3439, 2009.

MISSIO, R. L.; BRONDANI, I. L.; FREITAS, L. S.; SACHET, R. H.; SILVA, J. H. S.; RESTLE, J. Desempenho e avaliação econômica da terminação de tourinhos em confinamento alimentados com diferentes níveis de concentrado na dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 7, p. 1309-1316, 2009.

OLIVEIRA, E. A.; SAMPAIO, A. A. M.; FERNANDES, A. R. M.; HENRIQUE, W.; OLIVEIRA, R. V.; RIBEIRO, G. M. Desempenho e características de carcaça de tourinhos Nelore e Canchim terminados em confinamento recebendo dietas com cana-de-açúcar e dois níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 12, p. 2465-2472, 2009.

OWENS, F. N.; ZINN, R. A.; KIM, Y. K. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 63, n. 5, p. 1634-1648, 1986.

OWENS, F. N.; SECRISTI, D. S.; JEFF HILL, W.; GILL, D. R. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, p. 868-879, 1997.

PASSINI, R.; BORGATTI, L. M. O.; FERREIRA, F. A.; RODRIGUES, P. H. M. Degradabilidade no rúmen bovino de grãos de milho processados de diferentes formas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 271-276, 2004.

PAULINO, P. V. R.; OLIVEIRA, T. S.; GIONBELI, M. P.; GALLOREV, S. B. Dietas sem forragem para terminação de animais ruminantes. **Revista Científica de Produção Animal**, Fortaleza, v. 15, p. 161-172, 2013.

PAULINO, P. V. R.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMAN, E.; VALADARES, R. F. D.; FONSECA, M. A.; VÉRAS, R. M. L.; OLIVEIRA, D. M. Desempenho produtivo de bovinos Nelore de diferentes classes sexuais alimentados com dietas contendo dois níveis de oferta de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 6, p. 1079-1087, 2008.

PUTRINO, S. M.; LEME, P. R.; SILVA, S. L.; ALLEONI, G. F.; LANNA, D. P. D.; GROSSKLAUS, C. Exigências líquidas de proteína e energia para ganho de peso de novilhos Nelore alimentados com dietas contendo grão úmido e gordura protegida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 301-308, 2006.

RESTLE, J.; GRASSI, C.; FEIJÓ, G. L. D. Desenvolvimento e rendimento de carcaça de bovinos inteiros ou submetidos a duas formas de castração, em condições de pastagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 25, p. 324-333, 1996.

RIBEIRO, F. G.; LEME, P. R.; BULLE, M. L. M.; LIMA, C. G.; SILVA, S. L.; PEREIRA, A. S. C.; LANNA, D. P. D. Características de carcaça e qualidade da carne de tourinhos alimentados com dieta de alta energia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 749-756, 2002.

RIBEIRO, E. L. A.; HERNANDEZ, J. A.; ZANELLA, E. L.; MIZUBUTI, I. Y.; SILVA, L. D. F.; REEVES, J. J. Desempenho e características de carcaça de bovinos de diferentes grupos genéticos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, p. 1669-1673, 2008.

RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 2). Apresentação. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_6_ed/autores.htm>. Acesso em: 19 jul. 2016.

ROONEY, L. W.; PFLUGFELDER, R. L. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 63, p. 1607-1623, 1986.

ROZADO, M. F.; BARROS, G. G.; PORSCH, R. V. Desempenho de novilhos confinados alimentados com diferentes níveis de energia na dieta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 23., 2013, Foz do Iguaçu, **Anais...** Foz do Iguaçu: CBZ, 2013, p. 23.

RÜBENSAM, J. M.; FELÍCIO, P. E.; TERMIGNONI, C. Influência do genótipo *Bos indicus* na atividade de calpastatina e na textura da carne de novilhos abatidos no Sul do Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 4, p. 405-409, 1998.

SILVA, F. F.; VALADARES FILHO, S. C.; ÍTAVO, L. C. V.; VELOSO, C. M.; PAULINO, M. F.; VALADARES, R. F. D.; CECON, P. R.; SILVA, P. A.; GALVÃO, R. M. Consumo, desempenho, características de carcaça e biometria do trato gastrintestinal e dos órgãos internos de novilhos nelore recebendo dietas com diferentes níveis de concentrado e proteína. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 1849-1864, 2002.

SILVA, H. L. **Dietas de alta proporção de concentrado para bovinos de corte confinados**. 2009. 157 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

THEURER, C. B.; HUBER, J. T.; SANTOS, F. A. P. Feeding and managing for maximal milk protein. In: SOUTHWEST NUTRITION AND MANAGEMENT CONFERENCE, 1995, Ahwatukee. **Anais...** Ahwatukee: University of Arizona, 1995. p. 59.

THEURER, C. B.; HUBER, J. T.; DELGADO-ELORDUY, A.; WANDERLEY, R. Invited review: summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 82, p. 1950-1959, 1999.

VALADARES FILHO, S. C.; MARCONDES, I. M.; CHIZZOTTI, M. L.; PAULINO, P. V. R. **Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados**: BR Corte. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2010. 193 p.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed.
London: Constock Publishing Associates, 1994. 476 p.

VAZ, F. N.; RESTLE, J. Aspectos quantitativos da carcaça e da carne de machos Hereford, inteiros ou castrados, abatidos aos quatorze meses. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, p. 1894-1901, 2000.

Capítulo 7

Avanços na Pesquisa e Tendências de Mercado de Sorgo Biomassa

Maurício Pires Machado Barbosa

Renato Sérgio Batista Carvalho

Introdução

A necessidade crescente por fontes de energia, principalmente renováveis, é uma preocupação real e requer planejamento a curto, médio e longo prazo. Segundo reportagem no jornal O Estado de São Paulo (ESTADÃO, 2010), com base nos dados divulgados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), para suprir a necessidade de energia elétrica dos próximos dez anos, o Brasil precisará de um equivalente a uma Belo Monte a cada período de 16 meses.

A expansão da industrialização nas últimas décadas somente tem sido possível em razão do aumento da capacidade de fornecimento de energia. Esforços têm sido empregados para a diversificação das matrizes energéticas mundiais, com ênfase no incremento da participação de fontes de energia renováveis. Estudos apontam para uma tendência na diversificação da matriz energética brasileira: em 1970, apenas dois energéticos (petróleo e lenha), respondiam por 78% do consumo de energia; em 2005, eram quatro os energéticos que explicavam 80,3%

do consumo (além dos dois já citados, a energia hidráulica e produtos da cana); para 2030, projeta-se uma situação em que cinco energéticos serão necessários para explicar 84,6% do consumo: entram em cena o gás natural e outras renováveis (BRASIL, 2007).

Atualmente na indústria sucroenergética, as centrais de cogeração operam produzindo energia a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar para atender à demanda térmica e elétrica das usinas. A energia elétrica excedente produzida constitui uma grande oportunidade de negócios deste setor. Estas usinas operam com sazonalidade em razão dos períodos de entressafra de cana-de-açúcar, quando não há produção industrial e elas tornam-se consumidoras de eletricidade para manterem suas cargas essenciais (BARJA, 2006). Visando a racionalidade energética no país, é importante que haja incentivos para a instalação de usinas cogedoras, bem como a produção de biomassa para este fim.

Dessa forma, o sorgo biomassa apresenta-se como opção para o fornecimento de biomassa economicamente competitiva, escalável e otimizada para bioeletricidade e etanol 2G, tornando-se uma fonte renovável para a produção de biomassa com preços atrativos, tanto para a indústria quanto para o agricultor durante o ano todo.

Sorgo Biomassa

Originado e domesticado no leste da África, o sorgo é o quinto cereal em importância no mundo, segundo a FAO, com a finalidade de produção de grãos, podendo ser plantado em praticamente todas as regiões do globo, com exceção dos

polos. Além da produção de grãos, o sorgo, por causa da sua ampla diversidade genética, pode ser utilizado para produção de silagem, pastejo, produção de corantes, conservantes, metano, hidrocarbonetos, biodiesel - através do uso do caldo doce para produção de microalgas, etanol de primeira e segunda geração (2G) e produção de biomassa dedicada para queima em termoeletricas ou usinas de cogeração de eletricidade.

O sorgo biomassa tem se tornado cada vez mais promissor para a produção de energia, principalmente no tocante às características químicas relacionadas ao desempenho da matéria-prima no processo de combustão e geração de poder calorífico. A planta de sorgo biomassa apresenta elevado potencial de produção de massa verde, bom perfilhamento, caules grossos, porte alto, elevado teor de fibra e baixos teores de açúcares. A cultura apresenta-se como um combustível complementar e alternativo, capaz de ampliar o potencial de cogeração e de venda de excedentes de energia elétrica pelo setor sucroenergético (BORÉM et al., 2014; OLIVEIRA, 2013).

A cultura é mecanizável do plantio à colheita, propagada por sementes, ciclo de produção curto, possui boa tolerância à seca, sistema de produção agrícola bem definido, boa aptidão para as regiões tropicais e temperadas e com grande potencial de utilização para a geração de bioenergia (PARRELA et al., 2010; OLIVEIRA, 2016).

O sorgo biomassa destinado especificamente para a queima traz uma solução acessível ao mercado neste momento para a geração termoeletrica, com híbridos produzindo matéria-prima com teor de umidade entre 50% e 55% e produtividades

comerciais próximas a 50 toneladas por hectare num período de 120 - 130 dias. Alguns materiais que estão chegando ao mercado podem chegar a 150 toneladas por hectare de matéria fresca (40 toneladas por hectare de matéria seca), o que seria equivalente a 80 toneladas a 50% de umidade (EMBRAPA, 2014). Além disso, novos híbridos, adaptados para condição de safrinha e neutros em relação a fotoperíodo, estão sendo disponibilizados ao mercado para complementar e ampliar a janela de produção e oferta de matéria-prima para as caldeiras.

A composição química da matéria-prima é favorável, tanto em níveis de composição química (Tabela 1) quanto relativa à qualidade industrial (Tabela 2), apresentando valores próximos ao bagaço de cana.

A umidade no ponto de colheita é uma característica fundamental para o sucesso na adoção da tecnologia, uma vez que para alguns processos industriais é fator limitante. Valores de umidade entre 50-55% se adequam melhor às características industriais e podem ser obtidos em campo em determinadas condições ambientais, dispensando custos adicionais no processo de secagem pós-colheita além da redução no custo de transporte. Baixos níveis de umidade, altos teores de fibras e de lignina são desejáveis, uma vez que são relacionados com o aumento do poder calorífico e, conseqüente, eficiência no uso da biomassa.

Tabela 1. Composição química - Sorgo Biomassa

Elemento	% na Matéria Seca
Carbono	45.9
Hidrogênio	6.5
Nitrogênio	1.3
Cinzas	6.2
Potássio	1.2
Cloro	0.3

Fonte: NexSteppe Inc.

Tabela 2 . Poder calorífico inferior de diferentes biomassas (OLIVEIRA, 2016).

Biomassa	PCI (kCal / kg de Matéria Seca)
Bagaço de cana	4035.72
Palha de cana	3534.24
Eucalipto	4441.68
Sorgo Biomassa	3987.96

Alguns componentes podem ser considerados indesejáveis na biomassa para a cogeração, entre eles o Cl, S, Si, Na₂O, K₂O, Ca e Mg, principalmente por estarem associados com o processo de corrosão de caldeiras. Teores de álcalis (principalmente potássio e sódio) encontrados não somente no sorgo, mas também em outras biomassas (como por exemplo a palha de cana, e o cavaco de eucalipto) são descritos como potencializadores de incrustações, além de reduzirem a temperatura de fusão das cinzas. Ações podem ser tomadas para mitigar esses processos, como a adição de óxidos de magnésio, cálcio e alumínio (OLIVEIRA, 2016), bem como o uso da biomassa de sorgo em mix com outras fontes, como por exemplo o bagasso de cana. O conteúdo destes elementos em sorgo não difere daqueles encontrados no bagaço de cana, no entanto, esforços têm sido empregados na pesquisa na obtenção de novas cultivares com reduzidos teores desses

componentes e consequente melhoria na qualidade da biomassa.

Dentro da plataforma de biomassa, a diversidade genética permite a obtenção de híbridos específicos para queima ou para a produção de etanol 2G, selecionados com características químicas e de composição diferenciadas, para desempenhos específicos dentro de cada uma dessas categorias. O sorgo possui indivíduos portadores de genes que limitam a produção de lignina, e favorecem o processo de acúmulo de celulose. Conhecido como genes *bmr*, esta característica possui diversas variações genéticas e podem ser utilizadas na produção de híbridos para este fim, com resultados bastante promissores.

A conversão de biomassa lignocelulósica em etanol é realizada por meio de processo que envolve um pré-tratamento seguido de tratamento enzimático para liberar açúcares estruturais a serem utilizados na fermentação. O sorgo biomassa possui teores médios de celulose próximos a 30% e de lignina entre 7,6-14,3%, que podem variar de acordo com o genótipo e a época de colheita. Fatores como teor e composição da lignina, índice de cristalinidade e porosidade da celulose, produção de inibidores podem ser utilizados como parâmetros para o melhoramento do sorgo biomassa para etanol de segunda geração (FOSTON; RAGAUSKAS, 2012; OLIVEIRA, 2013).

Um dos pontos chaves para o sucesso da lavoura é a utilização de genótipos com ciclo adequado à utilização nos mais variados cenários agrícolas. O sorgo apresenta ampla diversidade genética quanto a reação ao fotoperíodo e temperaturas. Quanto ao fotoperíodo, os genótipos podem apresentar de sensível até neutros, com diferentes gradações nos níveis

intermediários. A seleção de genótipos que melhor se adequem às condições ambientais de janela de cultivo disponível e condições geográficas deve ser realizada com cuidado, de forma a garantir o bom desempenho do cultivo em diferentes ambientes.

A cultura do sorgo é bem estabelecida no Brasil, porém para a plataforma de biomassa ainda há muito o que se avançar. O contínuo desenvolvimento de novos genótipos com elevado potencial de produtividade, tolerantes a pragas e doenças, alta qualidade de matéria prima, ciclos adequados para as diversas situações brasileiras outros componentes relacionados aos sistemas de produção têm sido trabalhados nos programas de melhoramento.

Adicionalmente, o número de defensivos agrícolas registrados para a cultura do sorgo é bastante restrito, totalizando 45 produtos registrados - 10 herbicidas, 22 inseticidas e 13 fungicidas (BRASIL, 2016a).

Em relação a herbicidas, as principais opções são as formulações com base em atrazina. Para a cultura do sorgo biomassa o controle adequado de plantas daninhas é de fundamental importancia principalmente nos primeiros estágios de desenvolvimento. Em países como os EUA observa-se a possibilidade do uso de “safeners” no tratamento de sementes, o que colabora para uma maior efetividade no controle de plantas daninhas possibilitando o uso de uma maior gama de herbicidas.

Quanto ao controle de pragas, até o momento, os defensivos disponíveis no mercado para a cultura têm demonstrado

controle efetivo, devendo-se adotar sempre estratégias de manejo integrado de pragas visando melhores resultados.

A ocorrência de doenças na cultura do sorgo biomassa apresenta alguns aspectos antagônicos, dependendo principalmente do agente causal, índices de incidência e severidade e também da fase em que ocorrem na cultura. O manejo pode ser efetuado através da utilização de cultivares resistentes/tolerantes, tratamento de sementes, controle químico, biológico e adoção de técnicas culturais. Especificamente para o sorgo destinado a combustão, a ocorrência de doenças foliares nas fases que antecedem a colheita pode auxiliar na redução dos níveis de umidade, o que até certo ponto pode atuar de maneira a favorecer a cogeração de energia. Todavia, dependendo do grau de severidade, a degradação ocasionada pode levar a perdas de produtividade, devendo-se sempre monitorar e realizar intervenções com fungicidas quando necessário.

Novos produtos têm sido testados com intuito de promover melhores desempenhos agrônômicos relacionados a cultura. Estudos têm relacionado o uso de reguladores de crescimento com efeitos benéficos para a cultura do sorgo, principalmente permitindo maior acúmulo de açúcares em sorgo destinados a produção de etanol e na redução do acamamento (HAN et al., 2011). Para sorgo biomassa, alguns resultados preliminares demonstram haver um efeito benéfico de Etefom aplicado em subdoses em estágios iniciais desenvolvimento da cultura (V7), ocasionando redução na susceptibilidade ao acamamento frente do a intempéries climáticos e atuando como fator de proteção do potencial produtivo principalmente em áreas com colheita mecanizada.

Além dos aspectos fitotécnicos, outros desafios operacionais afetam o estabelecimento da cultura. A mecanização ainda é um ponto a ser aperfeiçoado. O plantio normalmente é realizado através de semeadoras de grãos, de forma similar ao empregado em outras culturas propagadas por sementes, como milho e soja. Em muitas regiões com potencial de exploração do sorgo biomassa como fonte de matéria prima, há déficit de equipamentos e/ou qualificação para promover o plantio de forma adequada. Em algumas situações, podem ser requeridos manejo cultural e/ou equipamentos específicos para plantio em condições extremas, como por exemplo em áreas com acúmulo de palhada de cana.

Outro ponto crítico está relacionado CCT (corte, carregamento e transporte), podendo compor entre 20 a 30 % do custo de produção total da cultura (OLIVEIRA, 2016; MIRANDA, 2013) e em alguns casos pode comprometer economicamente o cultivo. A colheita pode ser realizada através da utilização de forrageiras (autopropelidas ou acopladas ao trator), diferenciando-se principalmente quanto a largura da plataforma de corte, tamanho de partícula, rendimento operacional e conseqüentemente custo final. Deve-se escolher o equipamento que melhor se adequar a cada situação específica considerando variáveis como escala de produção, disponibilidade de equipamentos próprios ou terceirizados, rendimento operacional, permitindo a otimização do processo.

O transporte, assim como em outras biomassas de baixa densidade, é item fundamental a ser considerado. Quanto maior a distância entre o campo de produção à unidade consumidora, maior será a fração comprometida no custo de produção, podendo se tornar economicamente inviável a produção

de biomassa em limites superiores aos raios economicos estabelecidos em cada empreendimento. Algumas formas de otimizar esse processo estão sendo empregadas e estudadas. Entre as possibilidades, estão por exemplo a utilização de técnicas de compactação da biomassa na forma de fardos, briquetes ou pellets, aumentando a densidade e potencialmente reduzindo os custos de transporte e armazenamento. O aumento do raio econômico promovido dependerá da fase em que o processo ocorre, em uma situação ideal, quanto mais próximo do campo maior será a o impacto na redução dos custos de CCT.

Mercado

Em 2015, a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo. Desse montante, 16,9% é relativo a biomassa da cana de açúcar, 11,3% da energia hidráulica, 8,2% proveniente de lenha e carvão vegetal e outros 4,7% oriundos de lixívia e outras fontes renováveis (entre elas biodiesel, eólica, solar, biogás e outras biomassas) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2016).

O Brasil possui no total 4.559 empreendimentos de geração de energia elétrica em operação com uma potência instalada total de cerca de 147.360 MW. Essa capacidade prevê um acréscimo de 26.762 MW nos próximos anos, proveniente de 219 empreendimentos atualmente em construção e mais 656 com construção ainda não iniciada. A energia proveniente de biomassa representa aproximadamente 9% da capacidade instalada, contando com 528 empreendimentos, sendo que 395 desses operam com bagaço de cana de açúcar. (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016).

A geração por queima de biomassa ainda tem muito a crescer no país, mantendo a matriz energética brasileira renovável e sustentável. A energia elétrica vinda do campo, além, de ser uma fonte renovável, tem a vantagem de estar próxima dos grandes centros de consumo, reduzindo os custos de distribuição.

O sorgo biomassa pode ser uma cultura complementar à cana-de-açúcar. O setor de cana renova entre 12% e 16% de seu canavial anualmente. Parte desse espaço fica ocioso entre novembro e março, representando ótima oportunidade para o cultivo de uma cultura de ciclo rápido que possui aderência ao negócio da usina. Em média, 1 tonelada de sorgo produz 0,33 MW. Em caldeiras de alto desempenho este número pode chegar a 1 MW a cada duas toneladas da matéria-prima (GONSALVES, 2014).

Uma das características do mercado atacadista de energia é a variabilidade temporal e regional dos preços, o que pode ser exemplificado na Figura 1.

Basicamente a estrutura de negociação de energia está dividida em duas modalidades: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre. No primeiro, os agentes vendedores e as distribuidoras estabelecem contratos de comercialização de energia (CCEAR) precedidos de licitação ressalvados os casos previstos em lei, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos. Já no segundo, os geradores, consumidores livres, autoprodutores, comercializadores, importadores e exportadores de energia estabelecem entre si contratos bilaterais de compra e venda de energia, com preços e quantidades livremente negociados,

conforme regras e procedimentos de comercialização específicos (BRASIL, 2016b).

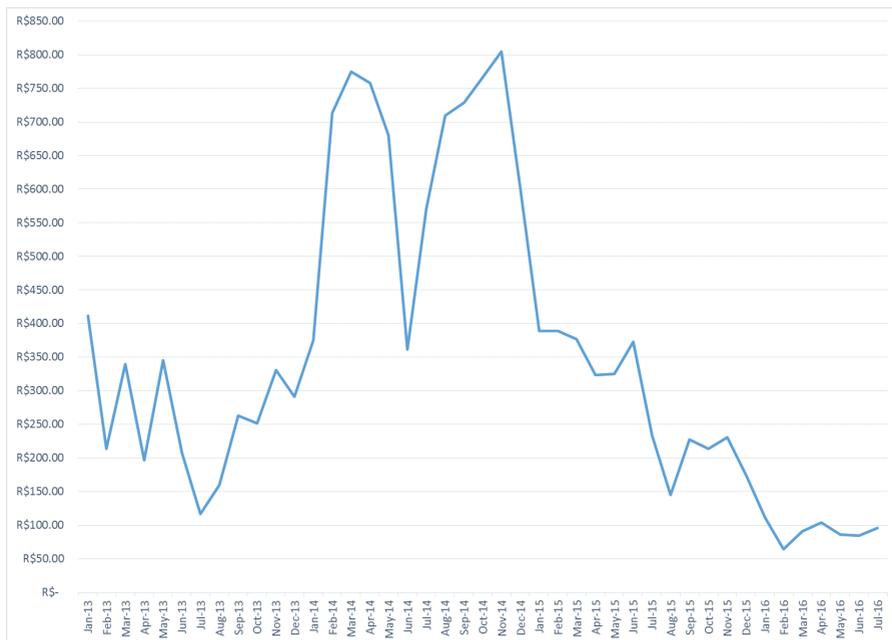


Figura 1. Preço médio pago pelo MWh no Brasil (média dos submercados SE/CO, S, NE e N) a partir de 2013 (CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016).

Com base na estrutura e comercialização da energia adotada pelo gerador, bem como época de produção da biomassa, deve-se definir o melhor modelo de produção ou aquisição da biomassa conforme os custos ou valores praticados.

O custo de produção pode oscilar em razão de diversas características de áreas e técnicas de plantio. Alguns trabalhos apresentados na literatura demonstram custos de produção em diferentes situações. Miranda (2013) estimou valores

relativos a custos de produção próximos a R\$ 3.393,93, valores semelhantes foram obtidos por Oliveira (2016), com custo estimado em áreas de implantação de canaviais de R\$ 3.345,45 e R\$ 2.939,04 em áreas de reforma de canaviais. Nos dois primeiros casos toda a operação de preparo e correção do solo (estimada em aproximadamente 12% do custo total) foi integralmente atribuída à cultura do sorgo biomassa.

Os custos de preparo de solo e calagem, principalmente em áreas onde a próxima cultura será semiperene (no caso da cana-de-açúcar) devem ser distribuídos de modo a diluir tais valores entre as culturas que irão se beneficiar das mesmas ao longo do período de ocupação da terra. Aplicando-se esse racional, em nenhum dos casos apresentados o custo de produção excederá R\$ 3.000,00 por hectare.

Do ponto de vista da produção de matéria prima para entregar à usina, a rentabilidade do cultivo pode oscilar principalmente por causa da produtividade e do valor pago pela biomassa de sorgo entregue na usina, em que usamos R\$ 3.300,00/ha para o cálculo (**Tabela 3**).

Considerando a produtividade média de 40 toneladas a 50% de umidade entregue na usina, obten-se níveis de rentabilidade satisfatórios com o preço pago pela biomassa a partir de R\$ 90,00. Valores pagos acima desses patamares podem ser considerados ótimos, chegando a mais de 50% de rentabilidade quando o preço pago excede R\$ 125,00.

Tabela 3 . Taxa de retorno ao produtor de Biomassa em função do valor pago pela tonelada de entregue vs produtividades, considerando custo de produção médio de R\$ 3.300,00/ha.

Produtividade t / ha a 50% umidade	Custo R\$ / t	Valor pago pela Unidade Consumidora (R\$/t - CIF)								
		R\$ 70.00	R\$ 80.00	R\$ 90.00	R\$ 100.00	R\$ 110.00	R\$ 120.00	R\$ 130.00	R\$ 140.00	
15	R\$ 220.00	-68%	-64%	-59%	-55%	-50%	-45%	-41%	-36%	
20	R\$ 165.00	-58%	-52%	-45%	-39%	-33%	-27%	-21%	-15%	
25	R\$ 132.00	-47%	-39%	-32%	-24%	-17%	-9%	-2%	6%	
30	R\$ 110.00	-36%	-27%	-18%	-9%	0%	9%	18%	27%	
35	R\$ 94.29	-26%	-15%	-5%	6%	17%	27%	38%	48%	
40	R\$ 82.50	-15%	-3%	9%	21%	33%	45%	58%	70%	
45	R\$ 73.33	-5%	9%	23%	36%	50%	64%	77%	91%	
50	R\$ 66.00	6%	21%	36%	52%	67%	82%	97%	112%	
55	R\$ 60.00	17%	33%	50%	67%	83%	100%	117%	133%	
60	R\$ 55.00	27%	45%	64%	82%	100%	118%	136%	155%	
65	R\$ 50.77	38%	58%	77%	97%	117%	136%	156%	176%	
70	R\$ 47.14	48%	70%	91%	112%	133%	155%	176%	197%	
75	R\$ 44.00	59%	82%	105%	127%	150%	173%	195%	218%	
80	R\$ 41.25	70%	94%	118%	142%	167%	191%	215%	239%	

De forma mais impressionante, incrementos nos níveis de produtividade estão relacionados ao aumento nos índices de rentabilidade. O aumento da rentabilidade é devido principalmente à redução do custo por tonelada de biomassa produzida. Com produtividades acima de 50 toneladas por hectare, qualquer valor pago pela biomassa acima de R\$ 80,00 resultará em taxas de rentabilidade acima de 20%.

A produtividade potencial teórica da cultura é estimada 40 toneladas de matéria seca (EMBRAPA, 2014), equivalente a aproximadamente a 80 toneladas de biomassa a 50% de umidade. Nesses patamares, mesmo em momentos adversos com os baixos preços praticados pelo mercado ainda pode-se obter ótimos níveis de rentabilidade. Enfatiza-se portando, a relevancia do desenvolvimento de técnicas que permitam o aumento da produtividade, seja ela por meio de novas cultivares, melhorias nos processos de condução da lavoura e maior eficiencia na CCT.

Considerações Finais

O mercado de energia apresenta diversos desafios, considerando as oscilações de preços praticados, instabilidade econômica, variação na demanda do consumo e incertezas políticas, o que tem comedido a expansão, modernização e adoção de novas alternativas de matéria-prima na matriz energética de forma mais ampla no Brasil.

Os avanços no melhoramento e pesquisas em campo, bem como desenvolvimento de sistema de produção completo, com cultivares de diversos ciclos e umidade no ponto de colheita, e ainda aperfeiçoando técnicas de produção que vão do plantio à colheita, obtendo grande avanço com as experiências obtidas nos últimos anos e que tornaram a produção do sorgo biomassa uma alternativa viável economicamente para o setor de produção de energia.

Além disso, frente à crescente demanda energética e busca por fonte de matérias primas renováveis, o sorgo biomassa mostra-se também uma excelente alternativa tanto ao produtor rural que pode ser um fornecedor para as indústrias geradoras, como para as próprias indústrias que têm em suas áreas a oportunidade de produzir biomassa em quantidade e época ideal para seu consumo, complementando sua matriz para cumprimento dos contratos de fornecimento, bem como possibilitando explorar o mercado livre de energia.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **BIG - Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www2.aneel>

gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>.
Acesso em: 17 ago. 2016.

BARJA, G. J. A. **A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico**. 2006. 157 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) - Universidade de Brasília, Brasília, DF

BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA, R. **Sorgo: do plantio a colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2014. 275 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Brasília, DF, 2016a. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 17 ago. 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Leilões de energia elétrica**. Brasília, DF, 2016b. Disponível em <http://www.mme.gov.br/programas/leiloes_de_energia/menu/inicio.html >. Acesso em: 18 ago. 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética Nacional 2030**. Brasília, DF, 2007. 254 p.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Preços médios de energia**. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/precos/precos_medios >. Acesso em: 17 ago. 2016.

EMBRAPA. **Sorgo biomassa é ótima opção para geração de energia**. 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2246665/sorgo-biomassa-e-otima-opcao-para-geracao-de-energia>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional 2016**: relatório síntese: ano base 2015. Rio de Janeiro, 2016. 62 p.

FOSTON, M.; RAGAUSKAS, A. J. Biomass characterization: recent progress in understanding biomass recalcitrance. **Industrial Biotechnology**, Swansea, v. 8, n. 4, p. 191-208, 2012.

GONSALVES, T. A Biomassa dedicada e os leilões de energia. **Jornal da Biomassa BR**, n. 16, set./out. 2014.

HAN, L. P.; WANG, X.; GUO, X.; RAO, M. S.; STEINBERGER, Y.; CHENG, X.; XIE, G. H. Effects of plant growth regulators on growth, yield and lodging of sweet sorghum. **Research on Crops**, v. 12, n. 2, p. 372-382, 2011.

MIRANDA, R. A. Custo de produção. In: MAY, A.; SILVA, D. D.; SANTOS, F. C (Ed.). **Cultivo de sorgo biomassa para a cogeração de energia elétrica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. p. 57-63. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 152).

MIRANDA, R. A. de; MAY, A. **Análise dos custos de produção do sorgo biomassa para a geração de energia elétrica e sorgo sacarino para a produção de etanol e energia**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 216).

ESTADÃO. **A necessidade de energia**. Disponível em: <<http://opinioao.estadao.com.br/noticias/geral,a-necessidade-de-energia-imp-,548203>>. Acesso em: 30 dez. 2010.

OLIVEIRA, N. A. B. **Uso do sorgo biomassa para cogeração: aspectos técnicos e econômicos.** 2016. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

OLIVEIRA, P. A. Qualidade da matéria prima. In: MAY, A.; SILVA, D. D.; SANTOS, F. C. (Ed.). **Cultivo de sorgo biomassa para a cogeração de energia elétrica.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. p. 54-57. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 152).

PARRELA, R. A. C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).

Capítulo 8

Contribuições da Genética e da Ciência e Tecnologia de Sementes para Aumento na Produtividade de Grãos de Milho e Sorgo

Renzo Garcia Von Pinho

Édila Vilela de Resende Von Pinho

Luiz Paulo Miranda Pires

Renato Barbosa Camargos

Luiz Antônio Yanes Bernardo Júnior

Introdução

Entre as grandes culturas, o milho é considerado uma das mais importantes do mundo e domina a produção global de alimentos. É cultivado em todos os continentes, correspondendo a 38% da produção mundial de grãos (USDA, 2016). O milho é consumido tanto por humanos, na forma de vários alimentos, quanto indiretamente na forma de matéria-prima de rações para aves, suínos, caprinos, ovinos e outros.

Por essas razões, provavelmente não exista outra espécie de importância econômica que tenha sido alvo de tão intensas pesquisas científicas, cujos resultados têm contribuído significativamente não só para a melhoria do seu cultivo, mas também influenciado em outros cultivos.

No panorama mundial, para o ano de 2016, a estimativa de produção de milho é de 980 milhões de toneladas, sendo os principais países produtores os Estados Unidos, a China e o Brasil (USDA, 2016).

No Brasil, a produção de milho cresceu de 19,3 para 84,3 milhões de toneladas entre os anos de 1976 e 2015. Isto ocorreu em razão do aumento da área de cultivo e principalmente pelo incremento de produtividade proporcionado por novos híbridos disponibilizados pelos programas de melhoramento genético e melhoria nas técnicas de cultivo. A produtividade de grãos de milho aumentou de 1.632 para 5.396 kg ha⁻¹ neste mesmo intervalo de tempo (CONAB, 2016).

Para o sorgo, a produção mundial na safra 2014/2015 foi de aproximadamente 62 milhões de toneladas, com destaque para os Estados Unidos, o México e a Nigéria (CONAB, 2015). Vale destacar que no Brasil houve incremento considerável na produção de grãos de sorgo entre as safras 1980/1981 e 2014/2015, passando de cerca de 200 mil toneladas para quase 2 milhões de toneladas. Porém, ao contrário do milho, a produtividade de grãos de sorgo praticamente não se alterou neste período. A produtividade, que era de quase 2.400 kg ha⁻¹ em 1980/1981, foi de cerca de 2.800 kg ha⁻¹ na safra 2014/2015 (CONAB, 2015).

Neste capítulo serão abordadas as principais contribuições do melhoramento genético e da ciência e tecnologia de sementes na evolução da produtividade de grãos das culturas de milho e sorgo. Serão discutidos a evolução da base genética dos híbridos utilizados comercialmente, incluindo os transgênicos, a melhoria de características que proporcionaram adaptações específicas aos mais diversos sistemas de cultivo, bem como as contribuições relacionadas aos aspectos legais da produção e comercialização de sementes, e a melhoria das técnicas de manejo e produção de sementes no Brasil.

Contribuições da Genética na Evolução da Produtividade de Grãos

Milho Híbrido

A descoberta e a utilização do milho híbrido foram os principais fatores de contribuição da genética para o aumento da produtividade de milho no Brasil e no mundo. O uso do híbrido pelo cruzamento de linhas puras foi proposto por Shull (1909). Inicialmente a utilização do milho híbrido foi muito restrita, principalmente porque as linhagens daquela época apresentavam características indesejáveis, como baixa germinação de sementes, raízes pouco vigorosas, podridão de espigas, acamamento e quebramento de plantas, fatores estes que provocavam redução na produtividade de sementes das linhagens (BAKER, 1984). Desta forma, a produção comercial de sementes híbridas de milho era economicamente inviável naquele momento. Nos Estados Unidos, até 1930, havia o predomínio de utilização de variedades de polinização aberta, com produtividade em torno de 1.600 kg ha⁻¹ (TROYER, 2006). Consequentemente, a produção anual também era baixa, próximo de 53 milhões de toneladas.

A contribuição da mudança da base genética dos híbridos utilizados começou a ser expressivamente observada entre as décadas de 1930 e 1960. O melhoramento das linhagens associado à obtenção de híbridos duplos tornou a produção de sementes viável. Desta forma, em 1939, o milho híbrido já ocupava 75% da área plantada nos EUA. Na década de 50, a produção anual era de 76 milhões de toneladas de grãos, e em 1960 a produtividade chegava a 3.000 kg ha⁻¹ (TROYER, 2006).

Vários trabalhos foram conduzidos com o objetivo de quantificar o progresso genético proporcionado pela utilização do milho híbrido na agricultura norte-americana, brasileira e tropical (VENCOVSKY et al., 1986; DUVICK, 1994; FERNANDES; FRANZON, 1997; ARAÚJO, 1995; STORCK et al., 2005; TROYER, 2006; OLIVEIRA, 2013). Existem relatos sobre a evolução de produtividade média de grãos nos EUA da ordem de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ (1930) para $10,0 \text{ t ha}^{-1}$ (2005). Na safra 2015/2016, a produção americana foi de 348 milhões de toneladas, com uma produtividade de $10.700 \text{ kg ha}^{-1}$ (USDA, 2016). No decorrer desse tempo, o aumento da produtividade de grãos foi de $63,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, no período de 1930 a 1960, associado aos híbridos duplos; de $110,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, no período de 1960 a 1999, associado aos híbridos simples, e de $207,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, no período de 1995 a 2004, associado à incorporação de eventos transgênicos em híbridos comerciais (**Figura 1**).

No Brasil, a utilização comercial do milho híbrido foi mais tardia. Em 1924, o americano Benjamin H. Hunnicutt, fundador e diretor da Escola Agrícola de Lavras e formado em Ciências Agrícolas, pelo Mississippi State College, publicou o livro *O Milho: Sua Cultura e Aproveitamento no Brasil* (**Figura 2**). Trata-se de uma obra que correspondeu ao primeiro veículo de conhecimento em língua portuguesa necessário para o início de alguns programas de melhoramento de milho no Brasil. Deste modo, em 1932 foi iniciado o primeiro programa de melhoramento de milho no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), onde foram realizadas autofecundações de variedades locais para a obtenção de linhagens e híbridos.

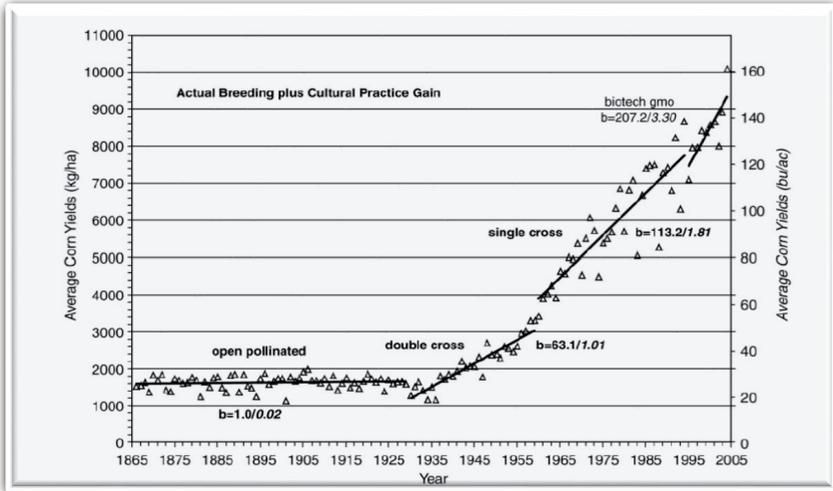


Figura 1. Produtividade média de grãos de milho e tipos de híbridos norte-americanos, no período de 1865 a 2004. Fonte: Troyer (2006).

Hunnicutt também planejou e organizou as primeiras feiras nacionais do milho onde os agricultores podiam expor as suas espigas/sementes, permitindo comprar e/ou trocar as suas sementes com outros produtores, além de obter informações sobre o desempenho das cultivares disponíveis.

Em 1935, Antônio Secundino de São José, fundador da Agroceres, primeira empresa de sementes híbridas de milho criada na América Latina, iniciou um programa de melhoramento de milho na Escola de Agricultura de Viçosa. Assim como nos EUA, até o início da exploração comercial por meio do milho híbrido, eram utilizadas variedades de polinização livre, com produtividades em torno de 1.000 kg ha^{-1} .

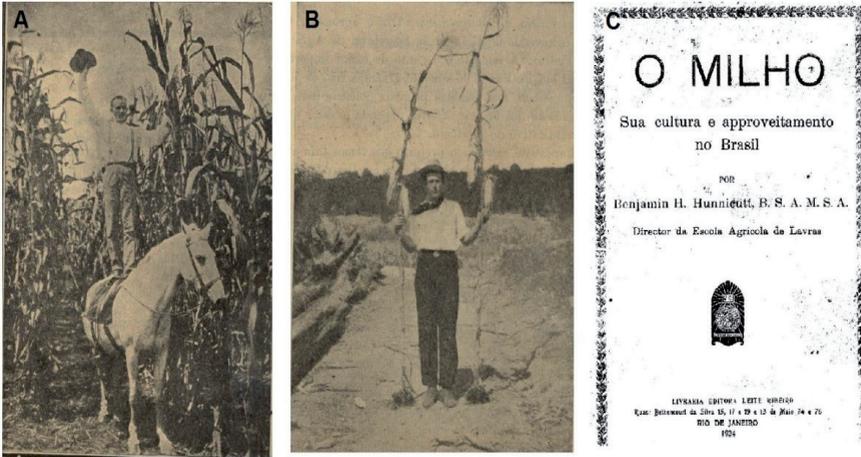


Figura 2. A e B: Benjamin H. Hunnicutt ao lado de variedades de milho características da década de 1920. C: Capa do livro publicado por Benjamin H. Hunnicutt no ano de 1924.

Em 1939, foi lançado o primeiro híbrido duplo de milho obtido pelo IAC, com produtividade, em média, 50% superior à das variedades locais. No início da década de 1960, pesquisadores e professores da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP realizaram diversos estudos utilizando seleção recorrente para o melhoramento populacional e também coletaram e organizaram germoplasma de milho para a formação de um banco de germoplasma que serviu de base para vários programas de melhoramento de milho.

Após o lançamento dos primeiros híbridos na década de 1940, a mudança na base genética do milho no Brasil foi significativa. Inicialmente utilizavam-se variedades que posteriormente foram substituídas por híbridos duplos.

Na **Figura 3** está apresentada a evolução da produtividade de grãos de milho no Brasil, a partir de 1976, com dados obtidos

pela empresa Pioneer Sementes (OLIVEIRA, 2013), oriundos de agricultores considerados de médio a alto investimento. Observa-se que houve um incremento médio de 65 sc ha⁻¹, em média de dois sacos por hectare por ano. A produtividade evoluiu de 120 sc ha⁻¹ em 1976 para 185 sc ha⁻¹ em 2009. Essa mudança ocorreu em função da substituição de híbridos duplos, que eram maioria na década de 1970, por híbridos triplos nas décadas de 1980 e 1990 e posteriormente, por híbridos simples e transgênicos na primeira década dos anos 2000.

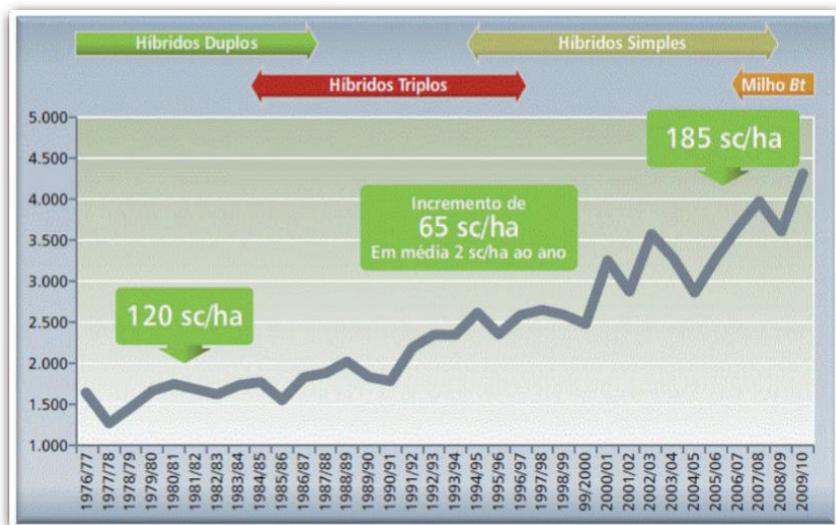


Figura 3. Produtividade média de grãos de milho e tipos de híbridos brasileiros, no período de 1976/1977 a 2009/2010. Fonte: Oliveira (2013).

Pela **Figura 4**, na qual foram utilizados dados obtidos da Conab, que contemplam todos os sistemas de produção de milho no Brasil, ou seja, desde o pequeno até o mais alto investimento, é possível constatar a evolução da produtividade de grãos nos últimos 30 anos. O incremento da produtividade foi de 94,6 kg

ha⁻¹ ano⁻¹, passando de 1.632 para 4.841 kg ha⁻¹. Este valor está dentro do intervalo obtido para os ganhos genéticos médios estimados em outros trabalhos que foram conduzidos no Brasil com esta finalidade (**Tabela 1**).

Tabela 1. Estimativas do ganho genético para a produtividade de grãos e espigas de milho no Brasil, obtidas por diversos autores.

Anos	Aumento de produtividade (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Autores
1964-1983	72-109 (PE) ^{1/}	Vencovsky et al. (1986)
1946-1986	60 (PG)	Paterniani (1990)
1970-1990	31-51 (PG)	Araújo (1995)
1964-1993	123 (PE)	Fernandes e Franzon (1997)
1998-2002	175 (PG)	Storck et al. (2005)
2002-2010	91 (PG)	Adaptação de dados da CONAB (2016)
2011-2015	147 (PG)	Adaptação de dados da CONAB (2016)

^{1/}PE - peso de espigas; PG - peso de grãos.

Fonte: Adaptado de Reis (2009).

Constata-se ainda que estes ganhos corroboram aos relatados nos EUA (**Figura 1**), sendo que, em algumas situações, estes são até mesmo superiores aos obtidos naquele país. Estes resultados evidenciam o sucesso dos programas de melhoramento públicos e privados nas últimas quatro décadas, no sentido de desenvolver híbridos mais produtivos e adaptados às diferentes condições edafoclimáticas do Brasil.

A mudança dos tipos de híbridos utilizados no Brasil nos últimos quinze anos pode ser melhor visualizada na **Tabela 2**. Em quinze anos, a disponibilidade de híbridos simples duplicou em relação, principalmente, à disponibilidade de híbridos triplos e duplos. Não há dúvida que este fato contribuiu para o aumento de produtividade de grãos de milho neste período, haja vista que os híbridos simples em média possuem um potencial produtivo superior aos outros tipos de híbridos e

variedades. Por outro lado, observa-se que a disponibilidade de variedades que possuem um menor potencial de produção manteve-se praticamente constante, com valores abaixo de 13%. Nota-se também que neste período sempre houve uma reposição das cultivares eliminadas por outras superiores e mais produtivas. Houve também um aumento considerável na disponibilidade de novas cultivares, cuja oferta cresceu mais de 100% nos últimos 15 anos.

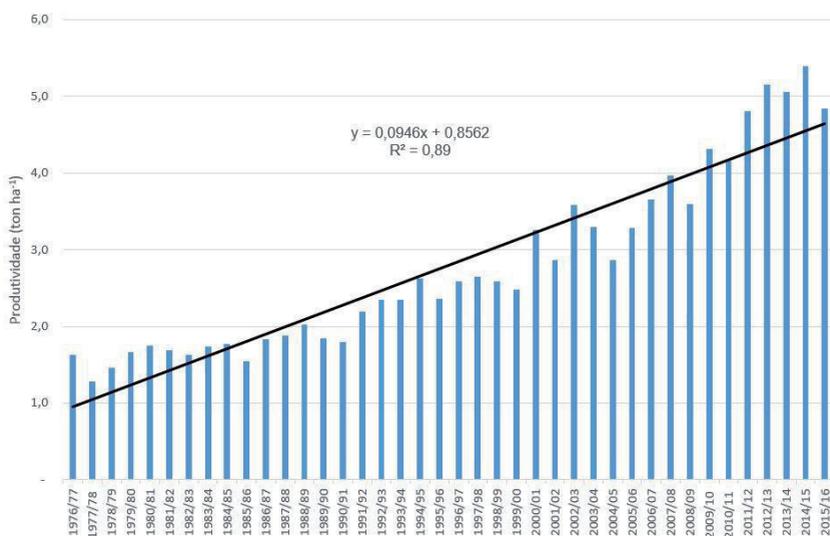


Figura 4. Evolução da produtividade de grãos de milho nos últimos 30 anos. Fonte: adaptação de dados da Conab (2016).

Tabela 2. Distribuição percentual dos diferentes tipos de cultivares de milho disponíveis para comercialização no Brasil.

Tipo de cultivar	2000/01	2003/04	2005/06	2007/08	2015/16
Híbrido Simples	29,6	35,7	40,0	44,0	60,07
Híbrido Triplo	38,3	29,7	25,3	25,1	18,57
Híbrido Duplo	22,8	22,4	22,3	20,5	9,91
Variedades	9,2	12,2	12,4	10,4	11,45
Total de cultivares	206	233	237	278	477
Eliminadas/Novas	-	13/25	22/29	37/36	58/57

Fonte: Cruz et al.(2015).

Para a cultura do sorgo, o crescimento da produção de grãos nas últimas décadas foi expressivo, passando de cerca de 200 mil toneladas para quase 2 milhões de toneladas entre as safras 1980/1981 e 2014/2015. Neste mesmo período, o crescimento de produção foi devido, quase que exclusivamente, ao aumento de área, passando de 97,7 para 723 mil hectares (CONAB, 2016). Desta forma, a produtividade de grãos de sorgo praticamente não se alterou neste período.

Adaptação de Cultivares

A escolha das cultivares que associam alta produtividade de grãos e estabilidade de produção está entre os grandes desafios para a obtenção e recomendação de cultivares superiores. É essencial relatar que a evolução da produtividade de grãos, além de possuir uma relação estreita com a mudança da base genética das cultivares utilizadas comercialmente, também foi consequência do melhoramento genético de características que contribuíram para a adaptação das cultivares de milho e sorgo nas mais diversas regiões de cultivo. A eficiência e a contribuição dos programas de melhoramento são evidentes para o aumento da produtividade dessas culturas. Isto é

ainda mais relevante quando se consideram as dimensões continentais do Brasil, com diferentes ecossistemas e importante amplitude de variação de clima e solo.

É essencial esclarecer as causas das respostas diferenciadas das culturas de milho e sorgo frente às variações previsíveis e imprevisíveis que justificam a ausência de correlação quando genótipos são cultivados em diferentes ambientes. Nesse contexto, instituições públicas e privadas de pesquisa têm envidado esforços para a obtenção de cultivares que, associadas a alta produtividade, apresentem tolerância a estresses bióticos e abióticos, proporcionando adaptações específicas a diferentes regiões de cultivo.

Depreende-se que, dentre as características mais importantes abordadas nos programas de melhoramento, a resistência às doenças que potencialmente ocasionam danos econômicos foi fundamental para a evolução da produtividade de grãos de milho e sorgo em ambientes cuja pressão de patógenos é significativa, incluídas nas duas épocas de cultivo do milho no Brasil.

Na **Figura 5**, é possível observar o percentual das diferentes classes de comportamento, em relação às principais doenças da cultura do milho, das cultivares disponíveis para a safra 2015/2016. Com exceção da reação ao enfezamento, é notório que mais de 70% dessas cultivares apresentam comportamento variando entre medianamente resistente/tolerante até altamente tolerante com relação às principais doenças da cultura do milho no Brasil (CRUZ et al., 2015). Isto evidencia que os programas de melhoramento genético de milho têm sido eficientes

no sentido de disponibilizar cultivares que associam altas produtividades e elevada resistência às doenças.

Figura 5. Percentual das diferentes classes de comportamento das cultivares disponíveis no mercado na safra 2015/16, em relação às principais doenças da cultura do milho. Fonte: Cruz et al. (2015).

Verifica-se que a disponibilidade de cultivares tolerantes à maioria das doenças do milho é um fator fundamental para a obtenção de maior produtividade de grãos. Isto, sem dúvida alguma, tem contribuído para o aumento da produtividade de milho nas últimas décadas.

Existem inúmeros trabalhos publicados no Brasil evidenciando os danos e as alternativas de controle de doenças de milho e sorgo, além dos efeitos genéticos da resistência, visando garantir a produção de grãos (PATERNIANI et al., 2000; VON PINHO et al., 1999a, 1999b, 2001; PEGORARO et al., 2002; BRITO et al., 2011, 2013; PEREIRA et al., 2011, 2015; VEIGA et al., 2012; JULIATTI et al., 2013; SANTOS et al., 2014; 2016a).

A obtenção de híbridos adaptados ao aumento da população de plantas por área, associada à utilização de espaçamento reduzido, também contribuíram significativamente para o aumento da produtividade de milho. A melhor distribuição espacial de plantas diminuindo o sombreamento das plantas na mesma linha e aumentando a interceptação da radiação solar pelas plantas, desde os primeiros estádios fenológicos, permite a obtenção de produtividades mais elevadas. Além disso, o fechamento mais rápido das plantas nas entrelinhas reduz a evaporação de água no solo e a infestação tardia de plantas

daninhas. Estudos evidenciando a importância do incremento da densidade de plantas para o aumento da produtividade de grãos de milho podem ser constatados no trabalho conduzido por Almeida et al. (2000). Nas últimas décadas houve avanços em programas de melhoramento no Brasil, no sentido de aumentar a população de plantas por área, permitindo a obtenção de maior produtividade de grãos.

A redução no porte das plantas foi significativa nas últimas décadas, o que permitiu o aumento considerável do número de plantas por área. Araújo (1995) estimou o progresso genético obtido em híbridos e variedades de milho representativos das décadas de 1970, 1980 e 1990. Houve redução da altura de plantas de 11,77 cm e 13,43 cm de 1970 a 1980 e de 1980 a 1990, respectivamente. Houve tendência linear de redução da altura de plantas com o passar das décadas, sendo que, quando se considerou os híbridos, constatou-se um ganho genético de $-1,26 \text{ cm planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Neste sentido, a redução da altura das plantas permitiu o aumento na população de plantas por área. Há aproximadamente 30 anos, de modo geral, recomendava-se uma população de 40 a 50 mil plantas ha^{-1} . Atualmente existem híbridos que já são cultivados com populações de plantas acima de 70 mil plantas ha^{-1} . Este fato, sem dúvida alguma, tem permitido o aumento da produtividade de grãos de milho no Brasil.

A maior eficiência no uso de fósforo e nitrogênio, e também no uso da água e a tolerância a altas concentrações de alumínio no solo, proporcionaram a expansão do cultivo de milho para regiões de cerrado, que se caracteriza por apresentar diversos

fatores limitantes a obtenção de bons rendimentos de colheita. A atenção a esses fatores isoladamente ou em conjunto também contribuíram para o aumento da produtividade de grãos de milho e sorgo.

De maneira geral, os solos tropicais apresentam baixa disponibilidade de fósforo e alta saturação por alumínio. Em diversos trabalhos buscou-se elucidar a influência destes fatores na produtividade de grãos de milho e sorgo (CANIATO et al., 2007; PARENTONI; SOUZA JÚNIOR, 2008). É importante ressaltar que estudos desta natureza auxiliaram na identificação, seleção e recombinação de genótipos que proporcionaram a obtenção de híbridos comerciais adaptados a regiões cujos elementos são limitantes para a produção (CAMBRAIA; CAMBRAIA, 1995; MAZZOCATO et al., 2002; PATERNIANI; FURLANI, 2002; FERNANDES; MURAOKA, 2002; FERNANDES et al., 2005; MENEZES et al., 2014; RODRIGUES et al., 2014).

No Brasil, o milho é cultivado em duas épocas distintas. Na primeira, a semeadura se estende do final de setembro até meados de dezembro (safra de verão). Na segunda época de cultivo, conhecida como milho de segunda safra ou milho safrinha, a semeadura é realizada na maioria das vezes entre os meses de fevereiro e março. Os efeitos dos estresses bióticos e abióticos na cultura do milho ganham ainda mais importância na obtenção de boas produtividades de grãos na segunda época de cultivo. A falta de chuvas pode determinar o insucesso dos cultivos de milho safrinha, principalmente em etapas críticas como o florescimento e enchimento de grãos (SCHUELTER, 2009). A baixa disponibilidade hídrica nesta época reduz a absorção de nutrientes pela planta (SILVA et al., 2015a).

Deste modo, é evidente que os desafios dos programas de melhoramento para esta época de cultivo são muitos, pois além da ênfase em várias características importantes no cultivo de verão, várias outras, como por exemplo a tolerância a estresse hídrico e a maior eficiência na absorção de nutrientes, possuem mais relevância.

Todavia, é importante enfatizar o sucesso dos programas de melhoramento de milho principalmente na última década, por meio do lançamento de novos híbridos específicos para a segunda época de cultivo. Dezenas de cultivares mais precoces, resistentes às principais doenças, com maior eficiência na absorção de nutrientes, com adaptabilidade e estabilidade adequadas e mais produtivas, foram disponibilizadas para os agricultores brasileiros.

O reflexo direto deste fato é que, desde a safra 2011/2012, o milho de segunda safra representa a principal safra de milho, correspondendo a quase 65% da produção total de grãos de milho produzidos no Brasil. Isto representa uma produção de 52,9 milhões de toneladas frente a 31 milhões produzidos na primeira safra (AGROCONSULT, 2014). Também é notável a expansão da área de cultivo de milho safrinha, que passou de 3,4 para 9,6 milhões de hectares, representando 62% da área cultivada com milho no Brasil na safra 2015/ 2016 (CONAB, 2016).

O cultivo de milho safrinha constitui uma transformação significativa, pois a possibilidade de suceder a soja fez com que ele se consolidasse nos últimos anos, com ganhos em rendimento de grãos na ordem de $94,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (CONAB, 2016). O surgimento de programas de melhoramento

específicos para essa condição tem permitido a obtenção de híbridos comerciais que, associados ao alto nível tecnológico dos produtores, resultem em produtividades de grãos, em muitas situações, maiores do que quando comparado ao milho produzido no verão.

Figueiredo et al. (2015) relatam a participação significativa da interação quando os mesmos híbridos são utilizados em condições de primeira safra e também de safrinha. Isto reflete no aumento da importância dos programas de melhoramento para diferentes condições de cultivo e permite a identificação e capitalização de interações positivas de genótipos com ambientes utilizados por ocasião de cultivo.

Todos estes fatores, aliados ao nível tecnológico dos produtores de milho safrinha, contribuíram para a evolução do potencial produtivo dos híbridos adaptados a essas condições. O estudo e a ênfase em características, por ocasião da seleção, como a precocidade e o dry down , auxiliaram no direcionamento de híbridos com adaptação e estabilidade de produção, especificamente nas condições de safrinha (PEREIRA et al., 2009). Hoje há mais disponibilidade no mercado de híbridos de milho precoces e superprecoces, em relação aos que apresentam ciclo normal (**Tabela 3**). Este fato é fundamental para o sucesso do cultivo de milho safrinha.

Tabela 3. Distribuição porcentual dos híbridos e variedades atualmente disponíveis no mercado de sementes com suas respectivas classificações quanto ao ciclo.

	Disponibilidade 2015/2016	Disponibilidade 2016/2017
Híbridos superprecoce	24,29%	23,84%
Híbridos precoces	65,30%	65,62%
Híbridos de ciclo normal (Variedades)	9,10% (1,31%)	9,62% (0,62%)
Total	100%	100%

Fonte: Cruz et al. (2015).

A retomada da produção de sorgo no mundo é evidente nos últimos anos com a demanda crescente da China e em outros países. Este fato pode ser confirmado pelo aumento na produção de 5,4 para 11 milhões de toneladas nos Estados Unidos, entre as safras de 2011 e 2016 (USDA, 2016).

A adaptação de cultivares de sorgo é boa em uma amplitude que varia entre 30° de latitude norte até 30° de latitude sul (RIBAS, 2008). Por causa disso, cultivares desenvolvidos no sul e sudoeste dos Estados Unidos tiveram boa adaptação no Brasil. No entanto, outras características agrônômicas como a resistência a doenças, resistência a insetos-pragas, tolerância à seca, tolerância à acidez do solo e finalidade de uso é que verdadeiramente têm orientado a recomendação de cultivares para os diferentes sistemas de produção de sorgo no Brasil.

Entretanto, os programas de melhoramento de sorgo no Brasil são restritos a um pequeno número de empresas. Os investimentos neste setor são pequenos e bem menores do que os realizados nos programas de melhoramento de milho. Nas últimas décadas, um pequeno número de novas cultivares

de sorgo foi disponibilizado aos agricultores. Isto fica muito evidente quando se faz essa comparação com o milho. O reflexo disso é que o aumento na produtividade de grãos de sorgo no Brasil tem sido insignificante nas últimas décadas. Assim, nos últimos 35 anos, a produtividade média de grãos no Brasil praticamente não se alterou, ou seja, está próxima de 2.700 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016).

Deste modo, é importante enfatizar que para os próximos anos os esforços em programas de melhoramento do sorgo no Brasil deverão ser maiores, visando atender à demanda por cultivares mais produtivas e adaptadas às diferentes regiões de cultivo.

Novas tecnologias aliadas às novas técnicas de análises de dados também têm contribuído para o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas e produtivas. A condução de experimentos de forma mecanizada e a coleta de dados informatizada permitiram obter dados com mais precisão e controle ambiental. O uso de computadores com capacidade de processamento simultâneo de grande volume de dados possibilitou a utilização de metodologias estatísticas sofisticadas. Diversos trabalhos têm sido publicados utilizando estas novas abordagens estatísticas, o que tem permitido realizar a seleção, predição e recomendação de cultivares de maneira mais segura (FERREIRA et al., 2010; CROSSA et al., 2011; PEREZ-ELIZALDE et al., 2011; BALESTRE et al., 2011, 2012; JOSSE et al., 2014; FIGUEIREDO et al., 2015; SILVA et al., 2015b; BERNARDO JÚNIOR, 2016; CANTELMO et al., 2016; SANTOS et al., 2016a, 2016b).

Vale ressaltar que especialmente nas últimas duas décadas, várias pesquisas foram conduzidas no Brasil na área de

genética e melhoramento do milho e sorgo, sobre os mais diversos temas, como resistência a doenças, seleção de genótipos, obtenção de linhagens e híbridos, adaptação e estabilidade de cultivares, predição do comportamento de híbridos, entre outros. Resultados dessas pesquisas têm contribuído direta ou indiretamente para proporcionar o aumento da produtividade de grãos dessa cultura no País (PATERNIANI, 1990; VON PINHO et al., 1999a, 1999b; MONTEIRO et al., 2000; MELO et al., 2001, 2013; VASCONCELOS et al., 2002; STEOLA et al., 2006; BALESTRE et al., 2008, 2009; REIS, 2009; OLIVEIRA et al., 2010, 2014; MENDES et al., 2011; BATTISTELLI et al., 2013; COUTO et al.; 2015; FIGUEIREDO et al., 2015; CANTELMO et al., 2016; SANTOS et al., 2016a, 2016b).

Milho Transgênico

Uma expressiva contribuição da genética para a produção de milho foi a introdução dos transgênicos, que modificou todo o manejo da cultura. O primeiro evento transgênico para milho foi liberado no Brasil em 2007, e a partir daí vários outros foram lançados. Estes eventos rapidamente se consolidaram no mercado, atingindo 82,6% das cultivares utilizadas no país na safra 2014/2015 (CÉLERES, 2015). Atualmente já estão disponíveis 18 eventos transgênicos diferentes para a cultura do milho, totalizando 1.178 registros (BRASIL, 2016).

Os benefícios diretos e indiretos fornecidos pelo uso dos transgênicos no Brasil e no mundo são indiscutíveis. O manejo é simplificado por causa da redução do número de aplicações de inseticidas e a possibilidade de realizar o controle de plantas daninhas com herbicidas, permitindo obter um aumento de produtividade de grãos por causa dos menores danos causados

por insetos e da menor competição com plantas daninhas. A importância do uso de híbridos que contenham mais de um evento transgênico é evidenciada pelo aumento do número das cultivares transgênicas disponíveis no mercado de sementes do Brasil nos últimos anos. Na safra 2012/2013, estavam disponíveis 38 cultivares transgênicas de milho para controle de lagartas e resistência à herbicidas, enquanto que na safra 2015/2016 foram disponibilizadas no mercado 115 cultivares de milho com eventos estaqueados (CRUZ et al., 2015).

De acordo com dados divulgados por Cruz et al. (2015), e obtidos diretamente de empresas produtoras de sementes de milho, foram disponibilizadas 477 cultivares de milho para o uso na safra 2015/16, sendo 284 cultivares transgênicas e 193 cultivares convencionais. Entretanto, dentre as 477 opções, 323 são materiais genéticos diferentes e os demais 154 são variações de eventos transgênicos.

Shi et al. (2013) avaliaram o efeito de eventos transgênicos nos Estados Unidos, que conferem resistência a insetos e/ou herbicidas, na produtividade e no risco de produção. Os resultados evidenciaram que os eventos transgênicos, principalmente quando estaqueados, têm impacto positivo na produção, e a não adoção desta tecnologia tem um risco maior do que uma eventual queda de rendimento por causa da introdução do gene.

Desta forma, além das contribuições diretas no sentido de facilitar o manejo de pragas e plantas daninhas, com a adoção dos transgênicos, ocorreu claramente uma pressão para mudança da base genética dos híbridos comerciais utilizados, com mais utilização dos híbridos simples, que apresentam um

maior potencial produtivo quando comparado ao de outros tipos de híbridos.

A adoção de milho transgênico no Brasil também contribuiu para a melhoria do sistema de produção de sementes, principalmente no que se refere à melhoria dos processos de manejo, produção e beneficiamento de sementes. Desta forma, a partir da introdução do milho transgênico houve mais preocupação das empresas produtoras de sementes em adotar procedimentos para garantir o máximo de pureza genética, física, e qualidade fisiológica e sanitária das sementes produzidas.

Contribuições da Ciência e Tecnologia de Sementes na Evolução da Produtividade de Grãos

É inegável a contribuição que o setor de sementes proporciona à agricultura brasileira, especialmente para a produção de milho. A organização do setor sementeiro brasileiro, em relação às normas e padrões para a produção de sementes de milho, teve início no Estado de São Paulo. Em 1956, foi criado neste estado o serviço de milho híbrido, coordenado pela Secretaria de Agricultura, visando a produção de sementes híbridas de milho.

Em 1965 foi aprovada a primeira Lei Nacional de Sementes, Lei 4.727, por meio da qual foi instituída a fiscalização do comércio de sementes e mudas no Brasil. Os testes de germinação e de pureza física tornaram-se obrigatórios para o controle de qualidade das sementes comercializadas em todo o país. Após

a aprovação da primeira Lei de Sementes houve incentivos, pelo Governo Federal, para a implantação de estruturas visando o aumento da produção e da qualidade das sementes comercializadas.

Embora os impactos da aprovação desta lei tenham sido importantes para o desenvolvimento do setor sementeiro no país, havia a necessidade do estabelecimento de normas e padrões de campo para o aprimoramento da qualidade das sementes comercializadas. Estas normas e padrões foram definidos, em nível nacional, por meio da aprovação da segunda Lei Nacional de Sementes (Lei 6.507), em 1977. Na sequência, foram definidos os sistemas de certificação e fiscalização de sementes, assim como as classes de sementes.

Importante ressaltar que concomitante a essas ações, empresas de pesquisa investiram em programas de melhoramento de plantas visando o desenvolvimento de novas cultivares de milho e sorgo que permitiu o crescimento do setor sementeiro do país.

Principalmente a partir da década de 1990 aconteceram importantes mudanças do setor de sementes no Brasil. Multinacionais do setor investiram na produção de sementes no Brasil, com destaque para a de milho. Como consequência, houve a valorização de germoplasma tropical e a instalação no país de outras empresas de diferentes regiões do mundo. Esta década foi marcada por importantes fusões e aquisições de empresas, as quais investiram muito na área de biotecnologia. Muitas dessas empresas também atuam na área de defensivos.

Ainda na década de 1990, pela aprovação da Lei nº 9.279, foi possível patentear genes modificados por meio de processo inventivo e microrganismos transgênicos (BARBOSA, 1997).

Em 1997, foi instituído o Registro Nacional de Cultivares (RNC), que estabeleceu a exigência de inscrição prévia das cultivares a serem habilitadas para a produção e comercialização de sementes e mudas no país. A inscrição da cultivar ficou condicionada à determinação do seu Valor de Cultivo e Uso (VCU), o que representou uma importante modificação no sistema de indicação de novas cultivares para a agricultura brasileira. O sistema constituiu-se num marco para a dinamização do setor, pois criou condições para que os avanços obtidos por meio dos programas de melhoramento e o desenvolvimento de cultivares de milho e sorgo, tanto públicos como privados, fossem mais rápidos e amplamente colocados à disposição do agricultor.

Neste contexto, o milho é um bom exemplo, pois passou de cerca de 300 cultivares registradas em 1998 para aproximadamente 1.600 no ano de 2015 (BRASIL, 2015). Já o sorgo passou de 65 cultivares registradas em 2009 para 114 em 2016 (BRASIL, 2016).

Diante do exposto, observa-se que mudanças importantes ocorreram no setor sementeiro no País nas últimas décadas, o que demandou avanços do arcabouço legal. Neste contexto, em agosto de 2003 foi aprovada a “Nova Lei de Sementes”, Lei 10.711, com o objetivo principal de garantir a identidade e a qualidade do material de multiplicação e de reprodução vegetal produzido, comercializado e utilizado no território nacional. O Registro Nacional de Sementes e Mudas (RENASEM) foi

instituído para a inscrição obrigatória das pessoas físicas e jurídicas que exercem atividades nas diversas etapas do sistema, compreendendo a produção, beneficiamento, embalagem, armazenamento, análise, comércio, importação e exportação de sementes e mudas, e para o credenciamento de responsáveis técnicos, entidade certificadora, certificador de produção própria, laboratório de análise e amostrador de sementes e mudas. Por meio desta lei é possível rastrear pessoas envolvidas no processo de produção de sementes, assim como a produção de sementes em todo o país.

Outra legislação importante, aprovada em 2005, com o objetivo de atender um novo cenário da produção de sementes no país, foi a Nova Lei de Biossegurança, Lei nº 11.105. Este tema ganhou relevância com os avanços das pesquisas e aplicações relacionadas à técnica de transgenia. Esta lei estabelece as normas de segurança e mecanismos de fiscalização sobre a construção, o cultivo, o transporte, a manipulação, a transferência, a importação, a exportação, o armazenamento, a pesquisa, a comercialização, o consumo, a liberação no meio ambiente e o descarte de organismos geneticamente modificados e seus derivados, tendo como diretrizes o estímulo aos avanços científicos na área de biossegurança e biotecnologia, a proteção à vida e à saúde humana, animal e vegetal, e a observância do princípio da precaução para a proteção do meio ambiente.

Desta forma, infere-se que as alterações no arcabouço legal relacionado à produção e comercialização de sementes nas últimas décadas foram necessárias para atender a um cenário dinâmico do setor sementeiro. Concomitantemente à necessidade de um melhor controle de qualidade externo, feito

por meio do governo, aconteceram também mais investimentos das empresas em relação ao controle de qualidade interno. Por meio de adoção de tecnologias relacionadas aos processos de produção, colheita, secagem, beneficiamento, armazenamento e análise de sementes, busca-se a comercialização de sementes com alta qualidade, considerando os atributos físicos, fisiológicos, sanitários e genéticos. Neste cenário torna-se importante atender as demandas de agricultores que cultivam milho e sorgo, os quais têm investido cada vez mais em novas tecnologias de produção. Conseqüentemente, a oferta de sementes com alta qualidade é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Os sistemas de produção de sementes de milho e sorgo no Brasil têm evoluído substancialmente nas últimas décadas. Esta evolução é decorrente em grande parte do aprimoramento do manejo fitotécnico, bem como das contribuições da genética e suas aplicações no sistema de produção de sementes dessas culturas. Desse modo, tem sido possível a utilização de macho-esterilidade, duplo-haploides, máquinas para o despendoamento mecanizado, colheita e outros tratamentos culturais, bem como a oferta de um amplo portfólio de defensivos agrícolas para o manejo de plantas daninhas, insetos praga e doenças.

Além disso, as etapas de pós-colheita, atualmente realizadas em modernas unidades de beneficiamento de sementes, permitem a recepção, secagem, debulha, classificação, tratamento, ensaque e armazenamento dessas sementes utilizando-se de técnicas avançadas visando garantir um produto de alta qualidade.

Nas últimas décadas, houve um aumento considerável nos investimentos realizados pelas empresas para a melhoria do sistema de produção de sementes. Atualmente, essas empresas possuem laboratórios de análise de sementes que desempenham atividades sistemáticas durante todas as fases do processo produtivo, podendo averiguar a qualidade fisiológica, genética, física e sanitária para identificar e corrigir possíveis problemas para manter um padrão de qualidade que garanta a competitividade no mercado. Diante da necessidade de atendimento dos padrões de qualidade estabelecidos pelo Governo Federal, Estadual e os do controle de qualidade interno, da própria empresa, tem sido observado a implementação de tecnologias cada vez mais avançadas nos laboratórios de análises de sementes. Vale destacar os testes conduzidos no controle de qualidade interno das empresas por meio de marcadores moleculares de DNA e proteínas para avaliar e assegurar a pureza genética das sementes.

Importante destacar que o desenvolvimento de tecnologias que têm sido utilizadas na indústria sementeira de milho e sorgo requer a realização de pesquisas, que envolvem vários profissionais que atuam nas áreas de melhoramento de plantas e de produção e tecnologia de sementes.

Várias pesquisas conduzidas no Brasil nestas áreas, por instituições privadas e principalmente por instituições públicas, têm contribuído para a melhoria do sistema de produção de sementes de milho e sorgo e, conseqüentemente, para o aumento na produtividade de grãos (VON PINHO et al., 1996a, 1996b, 1997; SILVA et al., 1999; GOMES et al., 1999, 2000a, 2000b; ROSA et al., 2000; IMOLESI et al., 2001; SALGADO et al., 2001, 2006; FARIA et al., 2002, 2004; JOSE et al., 2004a, 2004b;

LOBATO et al., 2005; SILVA et al., 2008; TIMÓTEO et al., 2010; COUTO et al., 2015; DUTRA et al., 2015; SILVA NETA et al., 2015; ABREU et al., 2016).

É importante reconhecer que o setor sementeiro contribui sobremaneira para o desenvolvimento do agronegócio brasileiro, uma vez que a semente é o principal insumo da agricultura. O arcabouço legal supracitado, associado às tecnologias adotadas nos processos de produção e nos de pós-colheita, é um fator importante para garantir a oferta de sementes com alta qualidade e a maior produtividade de grãos.

Como reflexo disso, pode-se citar as altas taxas de adoção de sementes melhoradas de milho e sorgo, que foram de aproximadamente 90 e 95% na safra 2015/16, valores estes, superiores ao de outras culturas de importância para o país (**Figura 6**). Observa-se que nos últimos 14 anos houve um aumento consistente na taxa de adoção de sementes melhoradas para ambas as culturas. Com certeza este fato contribuiu para o aumento da produtividade de grãos neste período, especialmente para a cultura do milho.

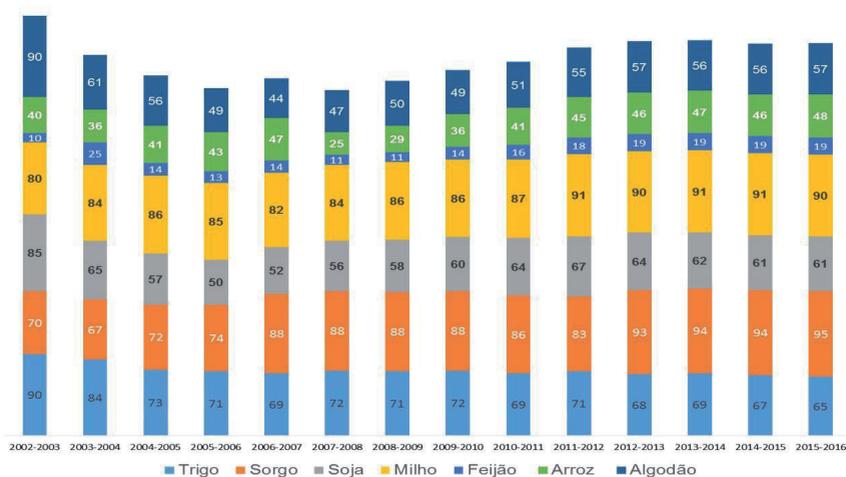


Figura 6. Taxa de adoção de sementes melhoradas nos últimos 14 anos das principais culturas cultivadas no Brasil. Fonte: International Seed Federation (2015).

Considerações Finais

As contribuições das áreas de genética e ciência e tecnologia de sementes foram significativas para o aumento de produtividade de grãos de milho e sorgo no Brasil nas últimas décadas. A produtividade média de grãos de milho aumentou quase 3,5 vezes nos últimos 40 anos.

Acredita-se que cerca de 60% deste aumento possa ser atribuído às tecnologias desenvolvidas por meio destas áreas. A redução no uso de variedades de polinização aberta, híbridos duplos, híbridos triplos e conseqüentemente o aumento da utilização de híbridos simples com alto potencial produtivo e com adaptação às diferentes condições edafoclimáticas do Brasil contribuíram muito para este fato. A utilização do milho transgênico contribuiu indiretamente para o aumento

da produtividade de grãos de milho no Brasil, pois, com a adoção do milho transgênico, houve melhoria significativa dos processos relacionados à produção de sementes e também dos adotados nos diferentes sistemas de produção de milho no Brasil. Isto refletiu no aumento de produtividade de grãos.

Nos próximos anos e décadas, a contribuição das áreas de genética e ciência e tecnologia de sementes continuará sendo muito expressiva, principalmente nas novas regiões do Brasil ainda pouco exploradas e também para a sustentabilidade do cultivo do milho safrinha, especialmente nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil. Para o sorgo, os desafios são muitos, o que exige investimentos em programas de melhoramento visando atender a demanda por cultivares mais produtivas e adaptadas às diferentes regiões de cultivo.

Referências

ABREU, V. M.; SILVA NETA, I. C.; VON PINHO, E. V. R.; NAVES, G. M. F.; GUIMARÃES, R. M.; SANTOS, H. O.; VON PINHO, R. G. Heat-resistant protein expression during germination of maize seeds under water stress. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, p. 1-9, 2016.

AGROCONSULT. Consultoria e Projetos Ltda. **Base de dados**. Florianópolis, 2014.

ALMEIDA, M. L. de; MEROTTO JÚNIOR, A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 23-29, 2000.

ARAÚJO, J. S. **Ganhos genéticos obtidos em híbridos e variedades de milho representativos de três décadas de melhoramento no Brasil.** 1995. 64 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BAKER, W. E. The social structure of a national securities Market. **American Journal of Sociology**, Chicago, v. 89, p. 775-811, 1984.

BALESTRE, M.; VON PINHO, R. G.; SOUZA, J. C.; LIMA, J. L. Comparison of maize similarity and dissimilarity genetic coefficients based on microsatellite markers. **Genetics and Molecular Research**, v. 7, n. 3, p. 695-705, 2008.

BALESTRE, M.; VON PINHO, R. G.; SOUZA, J. C.; OLIVEIRA, R. L. Genotypic stability and adaptability in tropical maize based on ammi and gge biplot analysis. **Genetics and Molecular Research**, v. 8, p. 1311-1322, 2009.

BALESTRE, M.; VON PINHO, R. G.; SOUZA J. C. Prediction of maize double-cross hybrids using the best linear unbiased prediction with microsatellite marker information. **Genetics and Molecular Research**, v. 10, p. 25-35, 2011.

BALESTRE, M.; VON PINHO, R. G.; SOUZA JÚNIOR, C. L.; BUENO FILHO, J. S. Bayesian mapping of multiple traits in maize: the importance of pleiotropic effects in studying the inheritance of quantitative traits. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 124, p. 1-15, 2012.

BATTISTELLI, G. M.; VON PINHO, R. G.; JUSTUS, A.; COUTO, E. G. O.; BALESTRE, M. Production and identification of doubled

haploids in tropical maize. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, p. 4230-4242, 2013.

BARBOSA, D. B. **Uma introdução à propriedade intelectual: teoria de concorrência, patentes e signos distintivos**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 1997.

BERNARDO JÚNIOR, L. A. Y. **Estabilidade e adaptabilidade de híbridos de milho utilizando a abordagem AMMI-Bayesiano**. 2016. 84 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cultivares protegidas**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registros-autorizacoes/protecao-cultivares/cultivares-protegidas>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registro Nacional de Cultivares - RNC**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registros-autorizacoes/registro/registro-nacional-cultivares>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

BRITO, A. H.; VON PINHO, R. G.; SANTOS, A. O.; SANTOS, S. Reação de híbridos de milho e comparação de métodos para avaliação da cercosporiose e mancha branca. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, DF, v. 36, n. 1, p. 35-41, 2011.

BRITO, A. H.; VON PINHO, R. G.; PEREIRA, J. L. A. R.; BALESTRE, M. Controle químico da cercosporiose, mancha-branca e dos grãos ardidos em milho. **Ceres**, Viçosa, MG, v. 60, n. 5, p. 629-635, 2013.

CAMBRAIA, J.; CAMBRAIA, M. C. Avaliação de híbridos de milho quanto à tolerância ao alumínio, em solução nutritiva. **Ceres**, Viçosa, MG, 42, n. 241, p. 297-307, 1995.

CANIATO, F. F.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; ALVES, V. M. C.; KOCHIAN, L. V.; BORÉM, A.; KLEIN, P. E.; MAGALHÃES, J. V. Genetic diversity for aluminum tolerance in sorghum. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 114, n. 5, p. 863-876, 2007.

CANTELMO, N. F.; VON PINHO, R. G.; BALESTRE, M. Genomic breeding value prediction for simple maize hybrid yield using total effects of associated markers, under different imbalance levels and environments. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 1, p. 1-16, 2016.

CÉLERES. **Levantamento de adoção da biotecnologia agrícola no Brasil, safra 2015/16**: relatório técnico. Uberlândia, 2015. Disponível em: <<http://www.celeres.com.br/1o-levantamento-de-adoacao-da-biotecnologia-agricola-no-brasil-safra-201516/>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Conjuntura Mensal**: sorgo: fevereiro 2015. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_03_17_08_44_51_sorgofevereiro2015.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

COUTO, E. G. O.; VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; VEIGA, A. D.; BUSTAMANTE, F. O.; DIAS, K. O. G. *In vivo* haploid induction and efficiency of two chromosome duplication protocols in tropical maize. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, p. 435-442, 2015.

CROSSA, J.; PEREZ-ELIZALDE, S.; JARQUIN, D.; COTES, J. M.; VIELE, K.; LIU, G.; CORNELIUS, P. L. Bayesian estimation of the additive main effects and multiplicative interaction model. **Crop Science**, Madison, v. 51, n. 4, p. 1458-1469, July 2011.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E.; SIMÃO, E. **P. Quatrocentas e setenta e sete cultivares de Milho estão disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2015/16**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 28 p.

DUTRA, S. M. F.; VON PINHO, E. V. R.; SANTOS, H. O.; LIMA, A. C.; VON PINHO, R. G.; CARVALHO, M. L. M. Genes related to high temperature tolerance during maize seed germination. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 4, p. 18047-18058, 2015.

DUVICK, D. N. Maize breeding: past, present and future. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., 1994, Goiânia. **Centro-Oeste: cinturão do milho e sorgo no Brasil: resumos**. Goiânia: ABMS: EMGOPA; Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1994. p. 1-19.

FARIA, M. A. V. R.; VON PINHO, R. G.; VON PINHO, E. V. R.; GUIMARÃES, R. M.; FREITAS, F. E. O. Qualidade fisiológica de sementes de milho colhidas em diferentes estádios de linha de

leite. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 1, p. 93-104, 2002.

FARIA, M. A. V. R.; VON PINHO, R. G.; VON PINHO, E. V. R.; GUIMARÃES, R. M.; FREITAS, F. E. O. Germinabilidade e tolerância à dessecação em sementes de milho colhidas em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 2, p. 276-289, 2004.

FERNANDES, J. S. C.; FRANZON, J. F. Third years of genetic progress in maize (*Zea mays* L.) in a tropical environment. **Maydica**, Bergamo, v. 42, n. 1, p. 21-27, 1997.

FERNANDES, C.; MURAOKA, T. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de cerrado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 781-787, 2002.

FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005.

FERREIRA, D. V.; VON PINHO, R. G.; BALESTRE, M.; OLIVEIRA, R. L. Prediction of maize hybrid performance using similarity in state and similarity by descent information. **Genetics and Molecular Research**, v. 9, p. 2381-2394, 2010.

FIGUEIREDO, A. G.; VON PINHO, R. G.; SILVA, H. D.; BALESTRE, M. Application of mixed models for evaluating stability and adaptability of maize using unbalanced data. **Euphytica**, Wageningen, v. 202, n. 3, p. 393-409, 2015.

GOMES, M. S.; VON PINHO, E. V. R. V.; VON PINHO, R. G.; VIEIRA, M. G. G. C. Estimativas da capacidade de combinação de linhagens de milho tropical para qualidade fisiológica de sementes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, p. 41, 1999.

GOMES, M. S.; VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; VIEIRA, M. G. G. C. Efeito da heterose na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 21, n. 2, p. 7-17, 2000a.

GOMES, M. S.; VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; VIEIRA, M. G. G. C. Estimativas da capacidade de combinação de linhagens de milho para a qualidade fisiológica de sementes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, p. 41-49, 2000b.

IMOLESI, A. S.; VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; VIEIRA, M. G. G. C.; CORRÊA, R. S. B. Influência da adubação nitrogenada na qualidade fisiológica das sementes de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1119-1126, 2001.

INTERNATIONAL SEED FEDERATION. 2015. Disponível em: <<http://www.worldseed.org/>>. Acesso em: 01 maio 2016.

JOSE, S. C. B. R.; VON PINHO, E. V. R.; SALGADO, K. C. C.; VON PINHO, R. G. Identificação de cultivares de milho por meio de marcador molecular de proteínas resistentes ao calor. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 1, p. 1-9, 2004a.

JOSE, S. C. B. R.; VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; SILVEIRA, C. M. Tolerância de sementes de linhagens de milho a alta temperatura de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1107-1114, 2004b.

JOSSE, J.; EEUWIJK, F. V.; PIEPHO, H. P.; DENIS, J. B. Another look at Bayesian analysis of AMMI models for genotype-environment data. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, v. 19, n. 2, p. 240-257, 2014.

JULIATTI, F. C.; PEDROSA, M. G.; JULIATTI, B. C. M.; BELOTI, I. F.; FIGUEIRÓ, A. A. Identificação de QTLs associados à resistência parcial à mancha branca do milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1163-1178, 2013.

LOBATO, P. N.; VON PINHO, R. G.; VON PINHO, E. V. R.; RAMALHO, M. A. P. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de híbridos duplos de milho utilizando a geração F_1 e F_2 de híbridos simples. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 1, p. 54-64, 2005.

MAZZOCATO, A. C.; ROCHA, P. S. G.; SERENO, M. J. C. M.; BOHNEN, H.; GRONGO, V.; BARBOSA NETO, J. F. Tolerância ao alumínio em plântulas de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 19-24, 2002.

MELO, W. M. C.; PINHO, R. G. V.; FERREIRA, D. F. Capacidade combinatória e divergência genética em híbridos comerciais de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 821-830, 2001.

MELO, W. M. C.; BALESTRE, M.; VON PINHO, R. G.; BUENO FILHO, J. S. Genetic control of the performance of maize hybrids using complex pedigrees and microsatellite markers. **Euphytica**, Wageningen, v. 4, p. 1-14, 2013.

MENDES, M. C.; VON PINHO, R. G.; MACHADO, J. C.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FALQUETE, J. C. F. Qualidade sanitária de grãos de milho com e sem inoculação a campo dos fungos causadores de podridões de espiga. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 5, p. 931-939, 2011.

MENEZES, C. B.; CARVALHO JÚNIOR, G. A.; SILVA, L. A.; BERNARDINO, K. C.; MAGALHÃES, J. V.; GUIMARÃES, C. T.; GUIMARÃES, L. J. M.; SCHAFFERT, R. E. Selection of sorghum hybrids grown under aluminum saturation. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 5964-5973, 2014.

MONTEIRO, M. A. R.; CRUZ, J. C.; OLIVEIRA, A. C.; RAMALHO, M. A. P.; VON PINHO, R. G. Desempenho de cultivares de milho para produção de grãos no Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 881-888, 2000.

OLIVEIRA, R. L.; VON PINHO, R. G.; BALESTRE, M.; FERREIRA, D. V. Evaluation of maize hybrids and environmental stratification by the methods AMMI and GGE biplot. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, p. 247-253, 2010.

OLIVEIRA, R. L.; VON PINHO, R. G.; FERREIRA, D. F.; PIREZ, L. P. M.; MELO, W. M. Selection index in the study of adaptability and stability in maize. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1-6, 2014.

OLIVEIRA, M. **A evolução da produtividade no Cerrado**. 2013. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/media-center/artigos/160/a-evolucao-da-produtividade-no-cerrado>>. Acesso em: 26 maio 2016.

PARENTONI, S. N.; SOUZA JÚNIOR, C. L. Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency in tropical maize genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 7, p. 893-901, 2008.

PATERNIANI, E. Maize breeding in the tropics. **Critical Reviews in Plant Science**, Boca Raton, v. 9, n. 2, p. 125-154, 1990.

PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; SAWAZAKI, E.; DUDIENAS, C.; DUARTE, A. P.; GALLO, P. B. Diallel crosses among maize lines with emphasis on resistance to foliar diseases. **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, n. 2, p. 381-385, 2000.

PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; FURLANI, P. R. Tolerância à toxicidade de alumínio de linhagens e híbridos de milho em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 1, p. 11-16, 2002.

PEGORARO, D. G.; BARBOSA NETO, J. F.; DAL SOGLIO, F. K.; VACARO, E.; NUSS, C. N.; CONCEIÇÃO, L. D. H. Herança da resistência à mancha-foliar de feosféria em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 3, p. 329-336, 2002.

PEREIRA, J. L. A. R.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, A. M. A. R.; LIMA, T. G. Cultivares, doses de fertilizantes e densidades de semeadura no cultivo de milho safrinha. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 676-683, 2009.

PEREIRA, I. S.; SILVA, D. D.; CASELA, C. R.; TARDIN, F. D.; ABREU, M. S. Resistência de linhagens genitoras e híbridos simples de sorgo a *Colletotrichum sublineolum*, agente causal

da antracnose. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 46-51, 2011.

PEREIRA, G. S.; CAMARGOS, R. B.; BALESTRE, M.; VON PINHO, R. G. C.; MELO, W. M. Indirect selection for resistance to ear rot and leaf diseases in maize lines using biplots. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, p. 11052-11062, 2015.

PEREZ-ELIZALDE, S.; JARQUIN, D.; CROSSA, J. A. General bayesian estimation method of linear Bilinear Models Applied to Plant Breeding Trials With Genotype x Environment Interaction. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, v. 17, n. 1, p. 15-37, 2011.

REIS, M. C. **Viabilidade da seleção recorrente recíproca em populações derivadas de híbridos simples de milho**. 2009. 91 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RIBAS, P. Importância econômica. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 4. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 2). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35318/1/Importancia-economica.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

RODRIGUES, F.; MAGALHÃES, J. V.; GUIMARÃES, C. T.; TARDIN, F. D.; SCHAFFERT, R. E. Seleção de linhagens de sorgo granífero eficientes e responsivas à aplicação de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 8, p. 613-621, 2014.

ROSA, S. D. V. F.; VON PINHO, E. V. R.; VIEIRA, M. G. G. C.; SANTOS, C. D.; VEIGA, R. D. Qualidade fisiológica e atividade enzimática em sementes de milho submetidas à secagem artificial. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 22, n. 1, p. 177-184, 2000.

SALGADO, K. C.; VIEIRA, M. G. G.; VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; VIANA, L. S. Certificação da pureza genética em sementes híbridas de milho por meio de marcadores isoenzimáticos. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 23, p. 232, 2001.

SALGADO, K. C. C.; VIEIRA, M. G. G. C.; VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; GUIMARÃES, C. T.; VIANA, L. S. Genetic purity certificate in seeds of hybrid maize using molecular markers. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 28, n. 1, p. 169-175, 2006.

SANTOS, G. R.; GAMA, F. R.; RODRIGUES, A. C.; BONIFÁCIO, A.; CARDON, C. H.; MOURÃO, D. S. C. Severidade da antracnose e produtividade de sorgo granífero em resposta a doses crescentes de nitrogênio. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 4, p. 1070-1076, 2014.

SANTOS, J. P. R.; PIRES, L. P. M.; VASCONCELLOS, R. C. C.; PEREIRA, G. S.; VON PINHO, R. G.; BALESTRE, M. Genomic selection to resistance to *Stenocarpella maydis* in maize lines using DArTseq markers. **BMC Genetics**, v. 17, p. 1-10, 2016a.

SANTOS, J. P. R.; VASCONCELLOS, R. C. C.; PIRES, L. P. M.; BALESTRE, M.; VON PINHO, R. G. Inclusion of dominance

effects in the multivariate GBLUP model. **Plos One**, San Francisco, v. 11, n. 4, p. e0152045, 2016b.

SCHUELTER, A. R. **Precocidade na safrinha**: o mito e a realidade. 2009. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/media-center/artigos/95/precocidade-na-safrinha-o-mito-e-a-realidade>>. Acesso em: 04 jul. 2016.

SHI, G.; CHAVAS, J. P.; LAUER, J. Commercialized transgenic traits, maize productivity and yield risk. **Nature Biotechnology**, New York, v. 31, n. 2, p. 111-114, 2013.

SHULL, G. H. A pure-line method in corn breeding. **American Breeders Association**, v. 5, p. 51-59, 1909.

SILVA, E. A. A.; VON PINHO, E. V. R.; VIEIRA, M. G. G. C.; MACHADO, J. C.; CARVALHO, M. L. M. Padrões eletroforéticos de proteínas tipo zeína em sementes de milho inoculadas com *Aspergillus flavus*, *Fusarium moniliforme* e *Penicillium* spp. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 21, n. 1, p. 258-263, 1999.

SILVA, N. O.; RAMALHO, M. A. P.; BRUZI, A. T.; VON PINHO, E. V. R. Genetic control of traits associated with maize seed quality. **Maydica**, Bergamo, v. 53, p. 55-62, 2008.

SILVA, A. G.; DUARTE, A. P.; PIEDADE, R. C.; COSTA, H. P.; MEIRELES, K. G. C.; BORGES, L. P. Inoculação de sementes de milho safrinha com *Azospirillum* e aplicação de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, n. 3, p. 358-370, 2015a.

SILVA, C. P.; OLIVEIRA, L. A.; NUVUNGA, J. J.; PAMPLONA, A. K. A.; BALESTRE, M. A Bayesian shrinkage approach for AMMI models. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 10, n. 7, 2015b.

SILVA-NETA, I. C.; VON PINHO, E. V.; VEIGA, A. D.; VON PINHO, R. G.; GUIMARÃES, R. M.; CAIXETA, F.; SANTOS, H. O.; MARQUES, T. L. Expression of genes related to tolerance to low temperature for maize seed germination. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, p. 2674-2690, 2015.

STEOLA, A. G.; VON PINHO, R. G.; PEREIRA, J. L. A. R. Seleção de progênies $S_{0:1}$ de milho em diferentes densidades de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 75-82, 2006.

STORCK, L.; BISOGNIN, D. A.; CARGNELUTTI FILHO, A. Ganho genético decorrente da substituição anual de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 9, p. 881-886, 2005.

TIMÓTEO, T. S.; VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; GUIMARÃES, R. M.; CHALFUN, M. Z. H.; TIMÓTEO, T. J. Condicionamento, qualidade de sementes e sincronismo do florescimento em campo de produção de sementes do milho híbrido GNZ 2004. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 719-726, 2010.

TROYER, A. F. Adaptedness and heterosis in corn and mule hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 528-543, 2006.

USDA. **Word agricultural supply and demand estimates.**

Disponível em: <<http://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/agronegocio/144234-crop-tour-pro-farmer-contagem-de-vagens->

de-soja-e-produtividade-de-milho-acima-do-esperado-no-corn-belt.html#.V6ypt5Mrl_U>. Acesso em: 10 jul. 2016.

VASCONCELOS, R. C. de; VON PINHO, R. G.; REIS, R. P.; LOGATO, E. S. Tecnologias aplicadas na cultura do milho em Lavras-MG na safra 1998/1999. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 117-127, 2002.

VEIGA, A. D.; VON PINHO, R. G.; RESENDE, L. V.; VON PINHO, E. V. R.; BALESTRE, M.; PEREIRA, L. A. Quantitative trait loci associated with resistance to gray leaf spot and grain yield in corn. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 1, p. 31-38, 2012.

VENCOVSKY, R.; MORAIS, A. R.; GARCIA, J. C.; TEIXEIRA, N. M. Progresso genético em vinte anos de melhoramento de milho no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16., 1986, Belo Horizonte. **Anais**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1986. p. 300-307.

VON PINHO, R. G.; RAMALHO, M. A. P.; RESENDE, I. C.; POZAR, G. Controle genético da resistência do milho as ferrugens polissora e tropical. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 3, p. 394-399, 1999a.

VON PINHO, R. G.; RAMALHO, M. A. P.; SILVA, H. P.; RESENDE, I. C.; POZAR, G. Danos causados pelas ferrugens polissora e tropical do milho. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 3, p. 400-409, 1999b.

VON PINHO, R. G.; RAMALHO, M. A. P.; RESENDE, I. C.; SILVA, H. P.; POZAR, G. Reação de híbridos comerciais de milho às

ferrugens polissora e tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 439-445, 2001.

VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; CÍCERO, S. M.

Consequências da autofecundação indesejável em campos de produção sobre a qualidade fisiológica de sementes híbridas de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 18, p. 251-255, 1996a.

VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; CÍCERO, S. M. Efeito da contaminação genética em campos de produção de sementes sobre o comportamento de diferentes híbridos de milho (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 18, p. 256-261, 1996b.

VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; CÍCERO, S. M. Utilização de características morfológicas como marcadores para avaliação da pureza genética em lotes de sementes híbridas de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, p. 941-949, 1997.

Capítulo 9

Novas Tecnologias no Melhoramento de Plantas

Marcos A. Machado

Introdução

O avanço científico e seu potencial tecnológico nas áreas de genética, biologia molecular e genômica têm disponibilizado novas abordagens para o melhoramento de plantas. Se a transgenia foi a temática dominante nos últimos vinte anos, transformando-se em assunto de ordem política, legal e até ideológica, as novas tecnologias aplicáveis ao melhoramento de plantas deixam prever que novos avanços deverão acelerar muitas frentes de trabalho, com grande potencial de uso para todo e qualquer tipo de programa, democratizando e reduzindo custos de aplicação e regulamentação.

Como toda e qualquer tecnologia, sua aplicabilidade estará intrinsecamente associada com estágio de desenvolvimento do programa de melhoramento. O desafio principal sempre será a genética e o programa de melhoramento no qual a técnica venha ser aplicada. Elas podem resultar em avanços e ganhos se aplicadas quando e onde for possível.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias para agregar aos programas de melhoramento, a questão que se coloca é se essas tecnologias resultam em organismo geneticamente modificado (OGM) permanentemente ou temporariamente? Como essas tecnologias se enquadram na legislação atual de biossegurança? Como será regulamentada? A resposta a tais questões é crítica para decisão de investimentos em novas pesquisas e nas tecnologias.

Existe uma preocupação mundial quanto ao enquadramento dessas tecnologias em normatização de biossegurança, nas quais está somente equacionado o conceito de organismo geneticamente modificado. Na legislação brasileira, a Lei 11.105 de 24 de março de 2005 define em seu art. 3º, item III, as moléculas de ADN/ARN recombinante como *“as moléculas manipuladas fora das células vivas mediante a modificação de segmentos de ADN/ARN natural ou sintético e que possam multiplicar-se em uma célula viva, ou ainda as moléculas de ADN/ARN resultantes dessa multiplicação; consideram-se também os segmentos de ADN/ARN sintéticos equivalentes aos de ADN/ARN natural”*. Portanto, é evidente que esse conceito remete aos primórdios da biologia molecular, quando clonagem de segmentos de DNA em outros vetores passou a técnica rotineira.

O fato é que os avanços nos estudos de genética genômica, com o acesso às informações do genoma, bem como de processos de interação planta com seus desafios bióticos e abióticos, ampliaram sobremaneira o conhecimento de processos de regulação genética e molecular, permitindo interferir mais diretamente em etapas desses processos de interação.

O texto a seguir é um resumo dos principais aspectos dessas novas tecnologias no melhoramento de plantas. Não tem a pretensão de ser uma revisão sobre os diferentes assuntos. De modo geral, todas as tecnologias apresentadas aqui são relativamente jovens (menos que 10 anos), sendo que muitas delas foram confirmadas com provas de conceito utilizando-se plantas GM para alterar resistência a herbicidas ou a insetos. As seguintes tecnologias serão abordadas aqui: cisgenia, intragenia, porta-enxertos geneticamente modificados, agroinfiltração, agroinoculação, *floral dip*, *early flowering*, melhoramento reverso, metilação de DNA dependente de RNA (RdDM), mutagênese dirigida por oligonucleotídeos (ODM), edição de genomas por nucleases, tecnologia de RNA interferente, vetor viral e biologia sintética.

Cisgenia e Intragenia

Referem-se a modificações genéticas em um organismo utilizando-se de genes e sequências reguladoras sem quaisquer modificações, da própria espécie ou de espécie sexualmente compatível (cisgenia), ou de sequências modificadas de genes ou de sequências reguladoras da própria espécie (intragenia). Desse modo, a cisgenia assemelha-se, para efeito de resultado, ao melhoramento clássico, porém em menor prazo de tempo. Como procedimento tanto a cisgenia quanto a intragenia seguem os mesmos protocolos de obtenção de transgênicos, isto é, construção de vetor, transformação via *Agrobacterium* ou biolística, seleção de eventos, etc. No entanto, o produto resultante (a planta geneticamente modificada) não é um transgênico, no sentido de ter tido modificação no genoma com genes de outra espécie. As técnicas são utilizadas em plantas de propagação vegetativa (batata, macieira), principalmente

para introdução de genes de resistência a doenças. Deve ser ressaltado que tanto na cisgenia quanto na intragenia a inserção das bordas do T-DNA de *Agrobacterium* pode ocorrer e, nesse sentido, o produto resultante não seria absolutamente livre de DNA exógeno.

São técnicas que visam ‘atenuar’ o conceito de transgênico e, com isso, serem mais aceitas. A regulamentação é a mesma da aplicada a transgênicos.

Porta-enxertos GM

O uso de porta-enxertos geneticamente modificados é uma estratégia para evitar a utilização de modificações genéticas na cultivar utilizada como copa da planta. O princípio é promover modificações genéticas em plantas da espécie utilizada como porta-enxerto na expectativa de aumentar resistência a fatores bióticos ou abióticos, seja do próprio porta-enxerto seja da copa, admitindo-se que ocorra translocação do produto gênico (peptídeos, proteínas ou RNAs). A técnica tem sido utilizada com macieiras, pereiras e citros, espécie lenhosas perenes que são utilizadas com porta-enxertos.

O porta-enxerto GM deve ser regulamentado de acordo com a legislação de biossegurança. No entanto, a cultivar copa não é considerada transgênica, mesmo que produtos translocados do porta-enxerto atuem na fisiologia da parte área da planta.

Agroinfiltração, Agroinoculação e Floral Dip

São todas técnicas baseadas na transferência de genes mediada por *Agrobacterium tumefaciens*, resultando em expressão temporária (agroinfiltração e agroinoculação), localizada e não sistêmica (agroinfiltração) ou sistêmica (agroinoculação e *floral dip*), nas quais a modificação genética não passa para a descendência (agroinfiltração e agroinoculação). Na agroinfiltração, *A. tumefaciens* com o vetor desejado é inoculada em tecidos vegetativos, usualmente folhas, e ocorre a transformação de células desse tecido e expressão do gene de interesse. A transformação fica restrita ao tecido vegetativo e, portanto, não haverá transferência para a geração seguinte.

A agroinoculação usa o mesmo procedimento, mas introduz um vetor viral com capacidade de dispersão sistêmica em toda a planta, expressando assim sistemicamente o gene de interesse. Também não há normalmente transferência para a geração seguinte. A não ser, é claro, se o vírus for transmitido via horizontal.

A perspectiva de uso de vetores virais para expressar proteínas em plantas ampliou sobremaneira as possibilidades de usar a tecnologia na indústria farmacêutica, especialmente na produção de antígenos para vacinas. Inicialmente a tecnologia foi desenvolvida com vírus ativos, isto é, com todas suas funções, como replicação, translocação, capacidade de ser transmitido por vetores, etc. Com a evolução da técnica, vetores virais passaram a ser construídos com funções parciais (vírus desconstruídos), potencializando função com replicação

e acumulação de modo a favorecer altas concentrações da proteína e reduzir risco de biossegurança.

Tanto agroinfiltração quanto agroinoculação resultam em tecidos geneticamente modificados, restritos ao indivíduo que foi transformado. Não há transferência para a descendência. Portanto, não podem ser consideradas tecnologias que produzam OGM. Evidentemente que se o tecido vegetativo por propagado por qualquer técnica de propagação vegetativa, os clones resultantes serão GM. Agroinfiltração é mais utilizada em estudos de interação planta-patógenos e na produção massal de proteínas ou peptídeos para uso em vacinas.

A técnica de *floral dip* é maneira de acelerar a transformação genética de *Arabidopsis thaliana*, na qual o tecido floral jovem é imerso em suspensão de *A. tumefaciens* resultando em alguns embriões GM que serão selecionados com o agente de seleção do vetor utilizado. É uma modificação do protocolo de transformação genética *in vitro*, portanto, de produção de plantas GM.

Melhoramento Reverso

A técnica de melhoramento reverso baseia-se na inibição do *crossing over* durante a meiose I. Para tanto, é necessário silenciar por tecnologia de RNAi, siRNA com silenciamento pós transcricional ou silenciamento induzido por vírus, de genes importantes associados ao processo de *crossing over*, entre eles o PAIR2 envolvido na sinapse de cromossomos homólogos da meiose I de milho ASY1 de Brassica ou Dmc1 de *Arabidopsis thaliana*. Aparentemente, ortólogos podem ser utilizados na construção do cassete de silenciamento, não

sendo absolutamente necessário o conhecimento do gene-alvo na espécie em estudo. Alternativamente, o silenciamento do gene-alvo poderá ser feito com o uso de porta-enxertos que produziram compostos que inibiriam o *crossing over* ou com o uso de substâncias químicas inibidoras desse processo. Nessas duas últimas abordagens o duplo haploide resultante não contém transgene.

A eficiência de produção de eventos sem *crossing over* não é 100%. Parece que sempre ocorrerão alguns eventos de recombinação, mas que de fato serão regenerados. Portanto, é importante o monitoramento dos indivíduos resultantes para a confirmação de homoziguidade ou heteroziguidade através de marcadores moleculares.

É importante destacar que o sucesso da tecnologia de melhoramento reverso dependerá da capacidade da espécie em estudo em regenerar plantas duplo haploides. Ela não se aplica em espécies com grande número de cromossomos (> 12) ou poliploides, em função da reduzida probabilidade de eventos de inibição de *crossing over*.

As principais etapas da técnica de melhoramento reversa são seleção de genótipo heterozigoto; transformação genética do genótipo heterozigoto com iRNA para inibir a formação de *crossing over*; produção de micrósporos haploides do genótipo heterozigoto e cultivo dos micrósporos *in vitro* para produção de duplos haploides; regeneração dos duplos haploides em linhagens do genótipo; seleção das linhagens que não contêm o transgene introduzido para iRNA.

O uso da tecnologia de melhoramento aplica-se principalmente na *reconstrução de germoplasma heterozigoto* em espécie altamente heterozigotas para as quais o processo de obtenção de linhagens homozigotas ainda não é possível ou muito demorado. E no *melhoramento ao nível de cromossomo*, substituindo cromossomos e produzindo linhagens distintas das originais.

Ao utilizar a tecnologia de silenciamento gênico para silenciar genes envolvidos no *crossing over*, o genótipo resultante pode ser considerado GM, se a expressão do RNA interferente for permanente. Caso seja temporária, como no silenciamento obtido por compostos produzidos no porta-enxerto GM ou por substâncias químicas aplicadas na planta, esse genótipo não pode ser considerado GM.

Metilação de DNA Dependente de RNA (RdDM)

RdDM é um mecanismo epigenético conservado entre os organismos cuja função é bloquear a invasão dos genomas por sequências estranhas (vírus), inibir a expressão de elementos móveis, degradar transcritos aberrantes de genes e transgenes e promover regulação da expressão de genes. As regiões do genoma mais sujeitas a metilação são regiões de hetero e eucromatina com transposons e sequências gênicas dispersas. No entanto, a metilação do DNA regula a transcrição gênica principalmente por bloquear sítios de ligação do fator de transcrição ao DNA.

É uma técnica que não manipula a sequência gênica diretamente. A alteração genética, que resulta em silenciamento

do gene-alvo é resultado da metilação de bases do promotor desse gene. Genes com regiões homólogas ao promotor do gene-alvo são fornecidos à célula por alguma metodologia de transformação. Essas sequências originam fitas duplas de RNA (dsRNA) que após processamento irão induzir a metilação de citosinas no DNA da região promotora, silenciando o gene-alvo. Essas regiões metiladas são herdadas na progênie (=característica epigenética), com a consequente manutenção da característica ligada ao gene silenciado. A técnica, embora use metodologia usual de fornecimento inicial da sequência do promotor, permite produzir plantas que não contêm DNA exógeno, sem alteração no genoma e somente com silenciamento do gene-alvo.

A metilação de DNA dependente de RNA (RdDM) em plantas é direcionada por pequenos RNAs interferentes (siRNAs) que iniciam o processo que leva à metilação de regiões promotoras homólogas às suas sequências. Esse processo ocorre em três fases distintas: síntese de siRNAs, produção do RNA arcabouço (*scaffold*) e reconhecimento e ligação do siRNA no complexo Argonauta (AGO) que direciona a metil transferase RDM2 (Domain Rearranged MethylTransferase 2) ao sítio de metilação do DNA.

Dupla fita de RNA (dsRNA) com homologia com sequências de DNA, particularmente em regiões promotoras de um determinado gene, induzem a metilação de citosina, promovendo assim o silenciamento da transcrição desse gene. A metilação da citosina tem três padrões distintos: simétrico, quando a ocorre em CG e CHG, H é qualquer base, menos G, e assimétrico se ocorre em CHH. A metilação simétrica é mantida mesmo após a replicação do DNA, enquanto a

metilação assimétrica deve ser refeita após a replicação do DNA. A cada nova cópia do DNA a metilação deve ser mantida pela Methyltransferase1 (MET1). A metilação de sequência CG é mantida pela Chromomethylase3 (CMT3), enquanto a metilação da sequência CHH persiste pela atividade *de novo* da enzima Domains rearrange methyltransferase2 (DRM2). Ao longo do genoma, somente sequências CG, CHG e CHH podem ser metiladas.

Além das RNA polimerases I, II e III dependentes de DNA, responsáveis pela transcrição de RNA mensageiros (mRNA) e RNA transportadores (tRNA), as plantas têm duas outras RNA polimerases (Pol IV e Pol V), envolvidas no silenciamento transcricional dependente de genes, através da metilação de DNA dependente de RNA (RdDM). A Pol IV inicia a síntese de pequenas moléculas interferentes de siRNA, a partir de sequências repetitivas e de transposons. Os transcritos produzidos pela Pol IV são utilizados pela RNA polimerase dependente de RNA (RDR2) para a síntese de dupla fita de RNA (dsRNA). O dsRNA é degradado pelo complexo de endonucleases DICERDCL3 com produção de pequenos siRNAs de 24 nucleotídeos.

Embora grande parte das etapas envolvidas no silenciamento gênica via metilação do DNA dependente de RNA já esteja demonstrada, principalmente em *Arabidopsis thaliana*, alguns passos ainda não foram completamente esclarecidos. A comprovação da funcionalidade desse mecanismo em outras espécies deixa supor que ele é universal.

A supressão da transcrição de um gene por metilação do DNA do seu promotor não introduz nenhuma alteração de sequência

no genoma. O processo de metilação insere-se nos mecanismos gerais de silenciamento gênico induzido por pequenas moléculas interferentes de RNAs (iRNAs). A introdução da sequência-alvo a ser silenciada pode ser feita por transfecção ou transformação genética levando à produção de dsRNA que iniciará o processo via Dicer-like3 até a metilação do DNA pelas enzimas metil transferases.

Esse mecanismo epigenético é relativamente estável e é herdado nas gerações seguintes. Partes do sistema inicial de transformação (vetores, genes de seleção ou outras sequências) será segregada na F1, de modo que esses descendentes, mesmo mantendo essas alterações, não podem ser considerados geneticamente modificados.

Mutagênese Dirigida por Oligonucleotídeos (ODM)

A técnica utiliza os mecanismos naturais de reparo de DNA para introduzir modificações direcionadas no genoma, isto é, em alvos gênicos específicos e conhecidos. Pode ser usada para correção de bases (substituição, adição ou deleção) em um gene-alvo utilizando-se de sequência sintéticas homólogas a esse gene. Assemelha-se à recombinação homóloga que ocorre em genomas de bactérias, na qual um fragmento carreando uma região diferente ao parear com a região homóloga no genoma promove a troca de bases por reparo no DNA-alvo. Normalmente é uma técnica de baixa eficiência de obtenção de mutantes, principalmente porque a sequência mutada do gene-alvo deve ser fornecida via protoplastos isolados via eletroporação, uso de polietileno glicol (PEG) ou biolística e regeneração.

O uso de ODM pressupõe o conhecimento prévio da sequência-alvo que se quer modificar. Nesse sentido é uma técnica poderosa para obtenção de plantas geneticamente modificadas sem que sejam transgênicas. Tem sido utilizada na obtenção de plantas resistentes a herbicidas por correção de genes da própria espécie, como canola da empresa Cibus (recentemente liberada nos Estados Unidos). No entanto, a técnica deverá ser progressivamente utilizada à medida que o conhecimento sobre genes e processos regulatórios seja mais conhecido. Seu apelo apoia-se principalmente na produção de plantas geneticamente modificadas sem serem transgênicas.

Vetor Viral

O uso de vetores virais para inserir genes em organismos superiores é a base da tecnologia de agroinoculação, na qual parte ou o genoma integral de um vírus é modificada geneticamente e inoculada por *Agrobacterium tumefaciens* de volta na planta hospedeira, onde será funcional como patógeno viral, expressando o gene inserido ou silenciando genes alvos no hospedeiro. A introdução de alterações genéticas em vírus é uma poderosa ferramenta para o entendimento da funcionalidade de genes em processos importantes como replicação, movimentação, proteção cruzada, transmissão por vetores, desenvolvimento de sintomas no hospedeiro, etc.

Um adequado vetor viral deverá ter especificidade para o hospedeiro, manter funções importantes, como replicação, ser sistêmico, ser propagado junto com tecidos do hospedeiro (propagação vegetativa), não ser transmitido por sementes, não ser transmitido por vetores a outras plantas, não sofrer processos de recombinação com outros haplótipos não

geneticamente modificados (estabilidade), apresentar reduzida patogenicidade, ser estável em diferentes condições ambientais (temperatura, diferentes hospedeiros), poder ser eliminado com facilidade por técnicas de termoterapia, microenxertia ou sementes (caso ele seja transmitido por sementes). Falta de estabilidade, reduzida capacidade de aceitar sequências longas, ser transmitido por vetores, o que poderá levar à sua disseminação a outras plantas da espécie, expressão sistêmica na planta (muitos vírus são restritos ao floema), ainda são fatores limitantes ao uso de vetor viral. Por outro lado, como um vírus, não deve ser desconsiderado que sua introdução deveria ser limitada a condições onde a raça selvagem já esteja presente.

Outra importante característica de um vetor viral em plantas lenhosas é a possibilidade de ser introduzido em qualquer fase do desenvolvimento da planta uma vez que a grande maioria dessas espécies pode ser propagada vegetativamente. Portanto, a enxertia de tecidos infectados com um vetor viral seria uma forma de introduzir esse vetor na planta hospedeira. Assim, seria possível introduzir uma estratégia de controle de acordo com a necessidade daquela ocasião, sem necessidade de renovação de todas as plantas.

Pelas características do vetor viral ele se aplica principalmente a planta perenes. Se a propagação dessa espécie se dá preferencialmente por propagação vegetativa, fica garantida a infectividade do vetor viral nos clones resultantes. A aplicação de vetor viral para espécies anuais, nas quais não há transmissão do vírus por sementes, deve ser assegurada por procedimentos que garantam a infecção viral a cada ciclo de produção.

O uso de vetores virais para introdução de características em plantas ainda é muito reduzido, muito embora tenha potencial de ampliação, principalmente em plantas perenes e lenhosas, como fruteiras e outras árvores. Para tais espécies o melhoramento tradicional é um longo e incerto programa, principalmente devido ao longo ciclo de seleção, ocorrência de apomixia (produção de sementes sem polinização) e juvenildade, alta heterozigozidade e, muitas vezes, ausência de características genéticas na população para seleção. Por outro lado, muitas dessas espécies são difíceis de serem transformadas geneticamente por sistemas usuais, como *Agrobacterium* e biobalística. Acresce-se a isso o fato de que a percepção e aceitação pública da tecnologia em produtos de consumo humano direto, como frutas e derivados, pode comprometer todo o processo de geração de genótipos geneticamente modificados.

Vetores virais têm sido experimentalmente utilizados em algumas fruteiras, como citros, maçã, ameixa, cereja e videira. Em citros, o vetor viral mais comum é o vírus da tristeza dos citros (CTV, *Citrus tristeza vírus*) endêmico em quase todas as plantas de citros no mundo. Outras referências de vetores virais incluem o *Plum pox potyvirus* (PPV), *Apple latent spherical virus* (ALSV), *Grapevine leafroll associated virus-2* (GLRaV-2).

Edição de Genomas

A tecnologia de edição de genomas compreende o uso de nucleases capazes de reconhecer sequências específicas no genoma do organismo, podendo alterá-las (mutação), retirá-las completamente (deleção), ou substituí-las por outra, de modo semelhante ao reparo por recombinação homóloga.

Quatro grupos de nucleases são usadas na edição de genomas: *zinc fingers nucleases* (ZFNs), nucleases tipo efetor-ativador da transcrição (TALENs, *transcription activator-like effector nucleases*), meganucleases e CRISPR/Cas9 (sistema de nuclease em repetições regulatórias em palíndromos interespaçados/ Cas9).

Edição de genomas deve ser tornar a principal tecnologia para o melhoramento nos próximos anos. No entanto, deve ser destacado que ela só se aplica a alvos conhecidos, isto é, genes que sejam conhecidos em suas funções e regulação. Admite-se que a edição de genomas será extremamente útil no melhoramento de plantas modificando alelos homozigotos e assim prevenindo a segregação do alelo modificado na progênie derivada, eliminando a produção de mRNA alvo do tipo selvagem, e aumentando a dosagem do alelo modificado. É importante assegurar que componentes do cassete Cas9 ou TALEN não sejam mantidos na progênie selecionada, uma vez que o sistema poderá continuar produzindo mutações e modificar vários alelos de uma família gênica, por exemplo. Isso poderá ser indesejável para características fenotípicas importantes. Caso o sistema de edição de genoma seja mantido pode ser estabelecido o que é conhecido como *gene drive system*, no qual a frequência de um alelo na população é alterada afetando o equilíbrio de ligação com o qual esse alelo é herdado. Assim, nessas circunstâncias, o sistema de *gene driver* continuará a editar os alelos na descendência. Isso pode ser evitado assegurando-se que a construção gênica codifica para os dois cassetes de Cas9 e RNA guia não esteja presente na planta geneticamente modificada, seja por segregação da F1 seja por processamento direto do sistema de edição com proteínas e RNAs sejam introduzidos na célula.

Biologia Sintética

Compreende um termo extremamente amplo que envolve biologia e princípios de engenharia e bioinformática para o planejamento e produção de novos ‘circuitos biológicos’ para a produção de compostos de interesse. Ela pode envolver todas as tecnologias de biologia molecular, porém atua de modo mais amplo em várias etapas de rotas bioquímicas e moleculares, desde a expressão gênica até a engenharia de proteínas. Pressupõe conhecimento detalhado das rotas que se quer alterar, mas encontra-se ainda no início de expansão na área vegetal. Exemplos de produtos de biologia sintética em plantas incluem os biosensores para monitorar a degradação de auxina (IAA), modificação de via metabólica para redução de lignina em fibras de madeira, produção de sesquiterpenos, como ácido artemisinico em levedura, síntese *de novo* de genomas.

Do ponto de vista de melhoramento de plantas, a biologia sintética pode ainda estar muito longe de ser aplicada. No entanto, como estabelecimento de processos para produção de produtos de interesse seu potencial é ilimitado. Várias de suas abordagens envolvem a produção de organismo geneticamente modificados, não necessariamente transgênicos e deverão ser regulados.

Tecnologia de Produção de Sementes (SPT)

É uma tecnologia desenvolvida pela DuPont Pioneer que utiliza macho esterilidade nuclear para produzir híbridos de milho e de outras plantas de polinização cruzada. Na produção de sementes híbridas utilizam-se linhas macho doadoras de pólen

e uma linha feminina que receberá o pólen, sendo necessário evitar que a linha feminina se autopolinize, retirando-se mecanicamente a inflorescência masculina das plantas receptoras de pólen. Isso pode ser também obtido com o uso de macho esterilidade citoplasmática, mas que pode sofrer efeitos ambientais e permitir a produção de pólen.

Assim, ao se utilizar linhagens femininas com macho esterilidade há grande otimização no processo de produção de semente híbrida. A tecnologia envolve o uso de uma linhagem GM com expressão de três genes, *Ms45*, o *zm-aa1*, e o *DsRed2(Alt1)1*. A fertilidade do macho estéril mantenedor é restaurada com a proteína MS45 e, em consequência, essa linhagem produz pólen fértil, porém como ele é hemizigoto somente metade dos grãos de pólen terá o gene *Ms45*, na outra metade os grãos serão inférteis pois a enzima alfa-amilase codificada pelo gene *zm-aa1* destrói o amido. Assim o pólen GM *Ms45/zm-aa1/dsRed2* é infértil. O marcador de fluorescência da proteína *dsRed2* é usado para selecionar sementes com o gene marcador.

O processo é basicamente para a produção de linhagens fêmeas macho estéreis para a produção de milho, reduzindo a autopolinização pela linhagem fêmea. As sementes da linhagem fêmea não contêm os genes introduzidos, portanto não são transgênicas.

Tecnologia	Processo de obtenção	Produto resultante
Cisgenia e intragenia	Semelhante a transgenia	Não é transgênico
Porta-enxerto GM	O mesmo da transgenia	É transgênico
Agroinfiltração e agroinoculação	Semelhante a transgenia	Não é transgênico
Floral dip	O mesmo da transgenia	É transgênico
RdDM	Pode ser o mesmo da transgenia. dsRNA do promotor do gene-alvo	Não é transgênico
Mutagenese oligo dirigida	Protoplastos	Não é transgênico
Vetor viral	Protoplastos	Não é transgênico
Edição de genomas	Semelhante a transgenia	Pode ser transgênico
SPT	O mesmo da transgenia	Não é transgênico

Referências

ARMSTRONG, S. J.; CARYL, A. P.; JONES, G. H.; FRANKLIN, F. C. H. *Asy1*, a protein required for meiotic chromosome synapsis, localizes to axis-associated chromatin in *Arabidopsis* and *Brassica*. **Journal of Cell Science**, Cambridge, v. 15, p. 3645-3655, 2002.

ASHWANI, J.; SHANKER, R. miRNAting control of DNA methylation. **Journal of Biosciences**, v. 39, p. 365-380, 2014.

BÖHMDORFER, G.; ROWLEY, M. J.; KUCI SKI, J.; ZHU, Y.; AMIES, I.; WIERZBICKI, A. T. RNA-directed DNA methylation requires stepwise binding of silencing factors to long non-coding RNA. **Plant Journal**, Oxford, v. 79, p. 181-191, 2014..

BUNING, T. de C.; BUEREN, E. T. L. van; HARING, M. A.; VRIEND, H. C. de; STRUIK, P. C. ‘Cisgenic’ as a product designation. **Nature Biotechnology**, New York, v. 24, p. 1329-1331, 2006.

CHEN, M.; SHAOLEI, L. V.; MENG, Y. Epigenetic performers in plants. **Development, Growth & Differentiation**, Tokyo, v. 52, p. 555-566, 2010.

CIGAN, A. M.; UNGER-WALLACE, E.; HAUG-COLLET, K. Transcriptional gene silencing as a tool for uncovering gene function in maize. **Plant Journal**, Oxford, v. 43, p. 929-940, 2005.

CONNER, A.; BARRELL, P.; BALDWIN, S.; LOKERSE, A.; COOPER, P.; ERASMUSON, A.; NAP, J. P.; JACOBS, J. Intragenic vectors for gene transfer without foreign DNA. **Euphytica**, Wageningen, v. 154, p. 341-353, 2007.

COUTEAU, F.; BELZILE, F.; HORLOW, C.; GRANDJEAN, O.; VEZON, D.; DOUTRIAUX, M. P. Random chromosome segregation without meiotic arrest in both male and female meicytes of a *dmc1* mutant of *Arabidopsis*. **Plant and Cell**, Rockville, v. 11, p. 1623-1634, 1999.

DIRKS, R.; DUN, K.; SNOO, C. B.; BERG, M.; LELIVELT, C. L. C.; VOERMANS, W.; WOUDEBERG, L.; WIT, J. P. C.; REININK, K.; SCHUT, J. W.; ZEEUW, E.; VOGELAAR, A.; FREYMARK, G.; GUTTELING, E. W.; KEPPEL, M. N.; DRONGELEN, P.; KIENY, M.; ELLUL, P.; TOURAEV, A.; MA, H.; JONG, H.; WIJNKER, E. Reverse breeding: a novel breeding approach based on engineered meiosis. **Plant Biotechnology Journal**, Oxford, v. 7, n. 9, p. 837-845, 2009.

JACOBSEN, E.; SCHOUTEN, H. J. Cisgenesis: an important sub-invention for traditional plant breeding companies. **Euphytica**, Wageningen, v. 170, p. 235-247, 2009.

LUSSER, M.; PARISI, C.; PLAN, D.; CERESO, E. R. **New plant breeding techniques. Brussels:** European Commission: Joint Research Centre: Institute for Prospective Technological Studies, 2011. 220 p.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Genetically engineered crops: experiences and prospects.** Washington, DC: The National Academies Press, 2001.

PATTANAYAK, D.; AMOLKUMAR, U.; SOLANKE, P.; A KUMAR, A. Plant RNA interference pathways: diversity in function, similarity in action. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 31, p. 493-506, 2013.

PYOTT, D. E.; MOLNAR, A. Going mobile: non-cell-autonomous small RNAs shape the genetic landscape of plants. **Plant Biotechnology Journal**, Oxford, v. 13, p. 306-318, 2015.

ROMMENS, C. M. Intragenic crop improvement: combining the benefits of traditional breeding and genetic engineering. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 55, p. 4281-4288, 2007.

ROMMENS, C. M.; HARING, M. A.; SWORDS, K.; DAVIES, H. V.; BELKNAP, W. R. The intragenic approach as a new extension to traditional plant breeding. **Trends in Plant Science**, v. 12, p. 397-403, 2007.

SAURABH, S.; VIDYARTHI, A. S.; PRASAD, D. RNA interference: concept to reality in crop improvement. **Planta**, Berlin, v. 239, p. 543-564, 2014.

SCHMITZ, R. J.; ZHANG, X. High-throughput approaches for plant epigenomic studies. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 14, p. 130-136, 2011.

SHIBA, H.; TAKAYAMA, S. RNA silencing systems and their relevance to allele-specific DNA methylation in plants. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, Tokyo, v. 71, p. 2632-2646, 2007.

URICH, M. A.; NERY, J. R.; LISTER, R.; SCHMITZ, R. J.; ECKER, R. J. MethylC-seq library preparation for base-resolution whole-genome bisulfite sequencing. **Nature Protocols**, London, v. 10, n. 3, p. 475-483, 2015.

WIJNKER, E.; KEES, D.; SNOO, S. B.; LELIVELT, C. L. C.; KEURENTJES, J. J. B.; NAHARUDIN, N. I. S.; RAVI, M.; CHAN, S. W. L.; JONG, H.; DIRKS, R. Reverse breeding in *Arabidopsis thaliana* generates homozygous parental lines from a heterozygous plant. **Nature Genetics**, v. 44, p. 467-471, 2012.

ZHANG, H.; ZHU, J. K. RNA-directed DNA methylation. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 14, p. 142-147, 2011.

Capítulo 10

Irrigação como Estratégia de Estabilidade do Rendimento de Milho

Everardo Chartuni Mantovani

Glaucio Luciano Araújo

Enoque Pereira da Silva

Resumo

A agricultura moderna tem por finalidade a sustentabilidade, em que a produtividade e rentabilidade devem estar associadas à preservação ambiental e a responsabilidade social. A demanda presente e futura da produção de alimentos tem sido uma preocupação, e diversas estratégias para mitigar o problema têm sido apresentadas e nem sempre a ampliação da agricultura irrigada tem sido considerada de forma adequada, apesar de ser uma das mais importantes para ampliar a produção e produtividade. Deve envolver adoção de processos de manejo e gestão da irrigação que possibilitem o uso eficiente da água, energia, mão de obra e outros insumos, sem prejuízos à produtividade agrícola. Nesse sentido é importante avaliar e discutir estratégias de sucesso na área de manejo da irrigação, que tem o foco nos sistemas de decisão da irrigação no dia a dia e, da gestão da irrigação, onde o foco é ampliado para trabalhar a irrigação dentro do contexto do sistema de produção na agricultura irrigada. Também é importante considerar o uso da irrigação em sistemas de integração

lavoura-pecuária-floresta (iLPF), tão importantes para agricultura sustentável. Por outro lado, estamos vivendo um período de grande desenvolvimento tecnológico, em que novas tecnologias são disponibilizadas de forma cada vez mais rápida, simples e com custos acessíveis, como é o caso da automação e sensoriamento remoto. A possibilidade de controle à distância dos sistemas de irrigação e o uso de imagens de satélites estão revolucionando as estratégias de manejo e gestão da irrigação em nível de campo, e a ampliação da utilização dessas novas tecnologias é fundamental para estabilidade do rendimento da cultura do milho e demais.

Introdução

A cultura do milho é de grande importância no cenário agrícola brasileiro, e informações sobre área plantada, produtividade e produção são de grande importância para o agronegócio. No levantamento de agosto de 2016 da CONAB (CONAB, 2016) consolidou-se a queda de área do milho primeira safra e uma ampliação de 10,2% na segunda safra, com diminuição da produtividade de 22% em função do estresse hídrico causado pela diminuição e má distribuição das chuvas. As estimativas indicam que a produção total (primeira e segunda safra) deve atingir 68,4 milhões de toneladas de milho, sendo 19,1% menor que a anterior, embora a área total cultivada com milho tenha crescido 1,5% em relação à safra anterior totalizando cerca de 15,9 milhões de hectares.

A redução da produtividade do milho na segunda safra, como citado, é explicada pela forte ação climática ocorrida durante o ciclo desta cultura, fortemente afetada pela estiagem que, no ano de 2016, iniciou-se em abril, antecipando o período seco e

prejudicando sobremaneira a cultura (CONAB, 2016). O ocorrido reafirma a dependência da cultura do milho em relação a fatores climáticos, principalmente se tratando do suprimento de água para a cultura, desta forma a irrigação se torna um componente essencial para a mitigação de fatores climáticos, como a estiagem, implicando na não ocorrência de quebras de produção e produtividade.

Segundo Andrade et al. (2006), o milho é considerado uma cultura que demanda muita água, mas também é uma das mais eficientes no uso da água, isto é, produz uma grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida. O milho de variedade de ciclo médio cultivado para a produção de grãos secos consome de 400 a 700 mm de água em seu ciclo completo, dependendo das condições climáticas. O período de máxima exigência é na fase do embonecamento ou um pouco depois dele. Por isso déficits de água que ocorrem nesse período são os que provocam maiores reduções de produtividade. Déficit anterior ao embonecamento reduz a produtividade em 20 a 30%, no embonecamento em 40 a 50% e após em 10 a 20%. A extensão do período de déficit também é importante.

Em razão da tendência no decréscimo da disponibilidade de água para a agricultura e do aumento dos custos de energia, além da crescente preocupação mundial com os recursos hídricos, torna-se necessária a adoção de estratégias de manejo e gestão que possibilitem economia de água sem prejuízos à produtividade agrícola. Uma boa estratégia de manejo da irrigação é fundamental para economizar água, sem pôr em risco o rendimento da cultura. Saber quando e quanto aplicar

de água, é primordial e pode ser o fator determinante quanto ao lucro da propriedade agrícola.

Além do efeito direto da disponibilidade de água para as plantas, outros fatores contribuem para que a irrigação proporcione um aumento na produtividade da cultura, fatores como, o uso mais eficiente de fertilizantes, a possibilidade de emprego de uma maior densidade de plantio e a possibilidade de uso de variedades que respondem melhor à irrigação (ANDRADE et al., 2006). Não restam dúvidas que um dos caminhos para a maximização da produção é a irrigação, no entanto o manejo da irrigação deve ser minucioso, visando melhores índices produtivos e lucratividade.

Andrade et al. (2006), demonstram em 22 materiais de milho, o efeito da irrigação na cultura, estes pesquisadores encontram variações entre 38 e 84% de redução da produtividade do milho, entre áreas irrigadas e não irrigadas. Dada a importância do suprimento de água para a cultura, planejar a irrigação antes mesmo do cultivo se torna essencial, sendo que em algumas localidades, o sucesso da produção será condicionado a aplicação de água por meio da irrigação. A irrigação se faz presente nos cultivos de maior tecnologia e esta técnica se traduz em maiores índices produtivos, melhor qualidade dos produtos e independência do fator precipitação, propiciando acréscimo na produtividade. Desta forma, a técnica da irrigação no milho está em plena expansão no Brasil.

De acordo com dados periódicos dos Censos Agropecuários realizados pelo IBGE entre 1960 e 2006 e da ANA (Agência Nacional de Águas) em 2014, a irrigação brasileira tem crescido a taxas médias anuais entre 4,4% e 7,3% desde a década

de 1960. Partindo de 462 mil hectares irrigados em 1960, ultrapassamos a marca de 1 milhão de hectares na década de 1970 e de 3 milhões de hectares na década de 1990. Estima-se que em 2014 foi superada a marca de 6,1 milhões de hectares sob irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016).

Dentre as principais culturas em outorgas válidas da ANA em pivôs centrais, destacam-se milho (24,0% da área total), cana-de-açúcar (21,3%), feijão (20,5%), soja (14,7%), café (6,2%) e algodão (3,1%) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016), perfil similar ao apresentado pelo Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2007). Considerando a área total irrigada por aspersão como sendo a soma da área irrigada por pivôs centrais e da área irrigada por aspersão em outros métodos, temos uma área total de 2,605 milhões de hectares, mantendo a proporcionalidade das outorgas válidas da ANA de 24% da área cultivada com milho, estima-se que a área irrigada cultivada com milho esteja em torno de 625 mil hectares.

Também é importante considerar que a demanda de alimentos no mundo não para de crescer. Estudos da FAO estimam uma população de cerca de nove bilhões de habitantes para 2050 e uma necessidade de expandir a produção de alimentos entre 60% e 70%, sendo que 90% desse valor deverão vir do aumento de produtividade e apenas 10% do aumento da área plantada. Neste contexto, existe o consenso de que a expansão da agricultura irrigada brasileira e mundial é a base para que estas demandas sejam atendidas.

A evolução da agricultura irrigada brasileira permitiu avançar do total de 1,5 milhões de hectares em meados de 1980 até cerca de 6,0 milhões de hectares atuais. Tão importante

quanto multiplicar por 4 a área irrigada foi a evolução de uso de sistemas com maior eficiência no uso de água, energia, mão de obra e operacionalidade de maneira geral. Sistemas pressurizados de irrigação por aspersão convencional e mecanizados e de irrigação localizada por gotejamento e microaspersão ocupavam 10% do total no mesmo período e hoje evoluíram para cerca de 70% do total irrigado, com destaque para o sistema pivô central.

Diferentemente da situação atual, o crescimento do passado que ampliou a área irrigada brasileira se deu em um cenário de pouca disponibilidade técnica, operacional, industrial e de recursos financeiros. Em 1986, quando do lançamento dos planos nacional e do nordeste de irrigação no evento anual da ABID (Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem) em Brasília, a análise crítica dos envolvidos no setor era a seguinte: como seria possível atingir aquela meta ambiciosa, em apenas cinco anos, se o país apresentava tantas limitações, associadas aos elevados custos dos sistemas de irrigação na época? Se, por um lado, todas estas dificuldades foram empecilho para um desenvolvimento mais rápido da agricultura irrigada brasileira, por outro, foram sendo pouco a pouco superadas, implicando em um grande ganho de qualificação dos setores de conhecimento, serviços e produtos relacionados à irrigação e à agricultura irrigada.

Hoje a situação do Brasil é totalmente diferente de 30 anos atrás. Ampliamos nossa capacidade de implantar de forma sustentável novas áreas irrigadas, multiplicaram-se os grandes projetos em diversas regiões, e a eficiência do sistema de produção irrigada tornou-se rotina no agronegócio brasileiro. A partir de 1990, ampliamos nossa capacidade industrial e de

importação nas áreas dos sistemas de irrigação convencionais, mecanizados e localizados. A área comercial e de serviços vem a cada dia se profissionalizando, relacionado ao planejamento, implantação e operação de áreas irrigadas nas mais diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. Por fim, evoluímos muito no conhecimento e formação técnica dos profissionais de nível superior, técnico e operacional.

É importante lembrar que todo esse desenvolvimento da agricultura irrigada, nos últimos quase 20 anos, se deu dentro da nova política nacional de recursos hídricos, criada com a lei federal n 9.433 de 08/01/1997, uma das mais modernas do mundo e condizente com o novo status da água, que traz, em resumo: “A água é um bem de domínio público, um recurso natural limitado e dotado de valor econômico, sendo seu uso prioritário, em condições de escassez, para consumo humano e dessedentação de animais”.

Metodologias técnicas de manejo da irrigação no dia a dia tem sido disponibilizadas, mas é importante considerar a operacionalidade das mesmas que devem apresentar distintos níveis de complexidade facilitando a adoção pelos diferentes produtores irrigantes, desde a agricultura familiar com pequenas áreas e normalmente sem apoio técnico adequado, à empresarial com grandes áreas irrigadas e equipe técnica própria. Esta análise poderá ajudar a nortear e ampliar ações e políticas de sustentabilidade na agricultura irrigada.

Irrigação

A agricultura irrigada se destaca dentre os diversos usos dos recursos água e solo, pois, apesar de todos os benefícios

econômicos e sociais a ela associados, demanda grande quantidade de água, com aproximadamente 70% da água no planeta (CALZADILLA et al., 2010), além de muitas de suas práticas preconizarem o uso excessivo de produtos que podem contaminar o solo e as próprias fontes de água, inviabilizando seus usos para as futuras gerações. Assim, a constante diminuição da qualidade e da disponibilidade dos recursos hídricos tem se tornado cada vez mais agravante.

De acordo com Mukherji et al. (2009), cerca de 80% dos produtos necessários para satisfazer as necessidades da população mundial, nos próximos 25 anos, serão providos pelos cultivos irrigados. A irrigação é uma prática que beneficia o aumento da produção de alimentos, fixa o homem no campo, gera empregos diretos e indiretos e contribui para o crescimento econômico. Por outro lado, quando não praticada corretamente ocasiona prejuízos ao ambiente dentre os quais se destacam a captação excessiva de água de mananciais, desperdício de energia, lixiviação de solutos e salinização dos solos.

A expansão da agricultura irrigada se tornará uma questão preocupante, por causa do elevado consumo e das restrições de disponibilidade de água. A nível mundial, a expansão da área agrícola sem irrigação é restrita, pela dificuldade de se encontrar solos que não apresentem riscos ambientais e até mesmo pela inexistência de solos aptos. Para a agricultura irrigada, a expansão da área no mundo torna-se mais difícil em razão das restrições de disponibilidade de recursos hídricos, das mudanças climáticas, das dificuldades econômicas e da degradação dos solos (MANTOVANI et al., 2009). Sendo assim, o manejo racional da água deve ser considerado

prática importante para o uso eficiente deste recurso, evitando desperdícios e otimizando a produção agrícola. Além disso, conservar os recursos hídricos contribui para a sustentabilidade do meio produtivo e minimiza os danos causados ao meio ambiente.

Um dos parâmetros importantes para o correto manejo da água é o conhecimento sobre o consumo hídrico das culturas, obtido com base na estimativa da evapotranspiração, principalmente em que ocorre forte conscientização popular em relação aos recursos hídricos (CAMPOS et al., 2008). A determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. Sua quantificação pode ser obtida por meio de um balanço hídrico da camada do solo ocupada pelo sistema radicular da cultura, o qual tem, na “evapotranspiração” e na precipitação pluvial, seus principais componentes (BERNARDO et al., 2006).

A metodologia de monitoramento do clima vem sendo mais utilizada em virtude da possibilidade de utilização de medidas de algumas de suas variáveis para estimar a evapotranspiração de uma cultura irrigada, que irá definir o consumo de água pela planta. Considerando uma disponibilidade inicial de água no solo, a determinação da evapotranspiração da cultura permite, a qualquer momento, definir a quantidade de água utilizada, possibilitando a identificação do momento da irrigação e a lâmina de água necessária (MANTOVANI et al., 2009).

Manejo da Irrigação

O uso da irrigação proporciona vários benefícios para a agricultura moderna, como: aumento de produtividade, maior eficiência no uso de insumos como na prática de adubação, calagem e gessagem; como também evita a falta de água em fases fenológicas críticas para a cultura, minimizando o risco de perdas econômicas (BERNARDO et al., 2006). A quantificação correta da demanda hídrica das culturas é de fundamental importância para o manejo, sendo que uma das metodologias mais utilizadas para isso é a estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc), pois apresenta flexibilidade em atender a diversas culturas e em distintas fases fenológicas. Essa estimativa depende das condições do local, cultura, solo e sistema de irrigação. As características climáticas da localidade são expressas pela evapotranspiração de referência.

A ETc se insere em um balanço hídrico, em que temos a chuva e irrigação como entrada e evapotranspiração, percolação e escoamento como saída. Para identificação dos itens de entrada é necessário avaliar o sistema de irrigação para acompanhar a quantidade de água aplicada (mm) e também a medição da chuva através de pluviômetro ou pluviógrafo. Para os itens de saída temos duas categorias, a primeira representada pela ETc que representa a água útil e que será usada para o processo produtivo, possibilitando a planta desenvolver seus processos fisiológicos que possibilitam a produção e produtividade adequada. A segunda categoria, representada pelas saídas que representam as perdas por escoamento totalmente inaceitável e que causam diversos problemas e a percolação que é a parte da água que vai além da capacidade de extração do sistema

radicular, tratando-se de um erro de tempo excessivo e/ou desuniformidade de irrigação (MANTOVANI et al., 2009).

Doorenbos e Pruitt (1977) foram os primeiros a apresentarem uma metodologia completa e com uma visão de aplicação em nível mundial, definiram de forma científica e objetiva uma metodologia com diferentes níveis tecnológicos para a estimativa da ET_c através do uso da evapotranspiração de referência (ET_0) que representa a demanda hídrica da região e diretamente através de coeficientes definidos em função da cultura e sua fase de desenvolvimento, bem como sugeriu correções em função da estratégia e forma de aplicação da água.

Em 1990, uma estratégia de atualização do documento FAO 24 foi conduzida pela FAO com a participação de diversos especialistas e incluíram novos conceitos e processos visando estimativas mais confiáveis, gerando a publicação FAO 56 (ALLEN et al., 1998). Nessa metodologia foi proposto um novo modelo de estimativa de coeficientes conhecida como “ Kc_{dual} ”, que resumidamente utiliza coeficientes distintos para quantificar a evaporação do solo e a transpiração da planta.

Paralelamente ao desenvolvimento da metodologia FAO 56, em 1995 foi proposta a metodologia FAO ajustada dentro do sistema inovador denominado de SISDA (Sistema de suporte à decisão agrícola), criado para criar uma alternativa nova de gestão da irrigação, lançado em 1997 (MANTOVANI; COSTA, 1998). Trata-se também de uma atualização da metodologia original proposta por Doorenbos e Pruitt (1977), incluindo e definindo de forma objetiva os coeficientes necessários para estimativa da ET da cultura, assim descritos:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \cdot K_s \cdot K_l \quad (1)$$

A ET_c e a ET_0 são respectivamente a é a evapotranspiração da cultura e da cultura de referência (mm d^{-1}), K_c , K_s e K_l são os coeficientes adimensionais referentes a cultura, ao estresse hídrico e a localização da aplicação de água, respectivamente. Alguns resultados mostram que a utilização desse método para estimativa da evapotranspiração da cultura, apresenta excelentes resultados, em parte devido a sua facilidade de manejo e também pelos resultados obtidos. Esta metodologia ficou conhecida mais tarde com Método GESAI em referência ao Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada do DEA/UFV.

Trabalho realizado na Universidade Federal de Viçosa, que teve por objetivo avaliar o desempenho de metodologia de estimativa da ET_c do milho sobre diferentes aspectos técnicos e operacionais, comparando as metodologias FAO 56 e GESAI. Foi realizado no ano agrícola 2014/15, em área experimental no município de Coimbra MG e foram utilizadas nessa avaliação a cultivar DKB 330 PRÓ-II da Dekalb, semeado em espaçamento de 0,80 m entre linhas com densidade de semeadura de seis plantas por metro linear e, população aproximada de 75.000 plantas ha^{-1} com tratamento de aplicação de água correspondente a 50, 100 e 150% dos valores ideais. A evapotranspiração diária da cultura foi estimada utilizando-se dados obtidos por meio de uma estação meteorológica presente no local, sendo que para a metodologia GESAI foi utilizado o software Irriplus e para a metodologia FAO 56 a planilha eletrônica fornecida no próprio site da organização (SILVA, 2016).

Na figura 1 apresenta-se a evapotranspiração da cultura estimada pelas duas metodologias, os valores obtidos pela metodologia FAO 56 foram superiores a método GESAI, sendo que na fase inicial esse distanciamento é mais notório. Observa-se, ainda, que o método FAO 56 apresenta maiores valores médios de evapotranspiração da cultura, principalmente nas fases um e dois, quando o componente de evaporação de água no solo apresenta maior influência no cálculo da ET_c, fases essas que menos importantes para o desenvolvimento da produção, desde que não seja prejudicado a formação do stand final de plantas.

Outro ponto importante é que as irrigações realizadas nos estádios iniciais, foram mais frequentes, sendo assim o cálculo do fator de molhamento do solo se difere nas duas metodologias, o que levou a essa diferença.

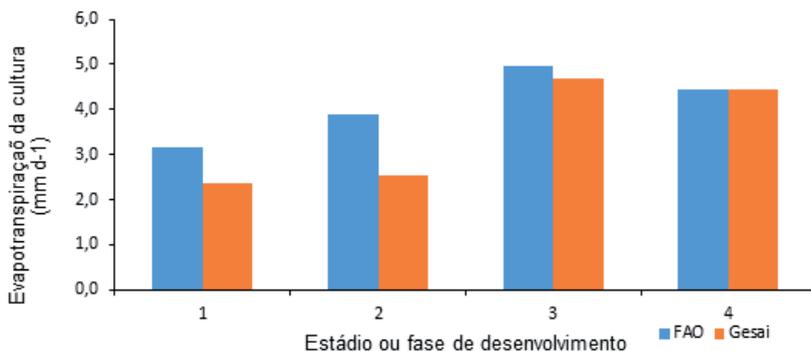


Figura 1. Valores de evapotranspiração da cultura médio por estádio de desenvolvimento, obtido pelas duas metodologias, FAO 56 e GESAI para os tratamentos ideais de aplicação de água (tratamento 100%).

Na Tabela 1 apresenta-se um resumo comparativo entre resultados das evapotranspirações calculadas pelas

metodologias FAO 56 e GESAI para o tratamento de aplicação de água ideal (100%).

Tabela 1. Valores de evapotranspiração da cultura obtido por meio das duas metodologias, proporção e índices comparativos do erro padrão da estimativa (SEE) e índice de concordância de Wilmont (d) analisadas para o tratamento de 100% (aplicação ideal).

Metodologia	FAO 56	GESAI	GESAI/FAO
Evapotranspiração (mm/safra)	509,5	462,1	
Proporção (%)	100	90,6	
SEE (mm/dia)			0,72
d (adimensional)			0,85

Observa-se que as duas metodologias apresentaram valores próximos na estimativa da evapotranspiração da cultura, com valores da metodologia FAO 56 superando a metodologia GESAI em cerca de 10%. Segundo Jamieson et al. (1991), com o índice de Wilcott próximo da unidade (0,85), e o erro padrão da estimativa de 0,72 mm dia⁻¹, os valores podem ser considerados adequados.

Na Tabela 2 apresenta-se o resumo comparativo entre resultados das lâminas aplicadas nos tratamentos, da precipitação, da drenagem e produtividade para as metodologias FAO 56 e GESAI nos diferentes tratamentos de aplicação de água. É possível observar que, as lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos variaram de 161 mm até 414 mm, e lâminas totais inserindo a chuva efetiva foram de 433,7 e 642,8 mm, corroborando com resultados de Araújo et al. (1999), que encontrou valores variando entre 409,8 e 519,8

mm trabalhando com lâminas de 50 % e 100 % da lâmina recomendada para a cultura do milho.

Tabela 2. Resumo comparativo entre resultados das lâminas aplicadas nos tratamentos, da precipitação, da drenagem e produtividade para as metodologias FAO 56 e GESAI nos diferentes tratamentos de aplicação de água.

Tratamento	Irrigação		Chuva mm	Drenagem chuva mm	Chuva Efetiva mm	Excesso Irrigação mm	Lâmina Total		Produtividade t ha ⁻¹
	mm	%					mm	mm	
FAO 56									
50%	161	56	428,3	155,8	272,5	0,7	0,7	433,7	10,9
100%	287	100	428,3	205,3	223,0	7,7	7,7	510,4	
150%	414	144	428,3	198,9	229,4	128,9	128,9	642,8	
GESAI									
50 %	163	57	428,3	112,6	315,7	6,0	6,0	478,2	11,2
100 %	293	102	428,3	190,0	238,3	10,9	10,9	530,9	
150 %	393	137	428,3	278,3	150,0	88,0	88,0	542,9	

Todos os tratamentos, apresentaram lâminas totais dentro dos limites recomendados para a cultura do milho por Doorenbos e Kassan (1994). Vale ressaltar que em alguns tratamentos houve excesso de irrigação, devido a lâmina superior a demanda da cultura e a aplicação da irrigação na fase inicial, em que o objetivo foi a facilitação da germinação, com isso aplicava-se a lâmina mínima do pivô, no entanto a cultura não necessitava dessa lâmina, ocorrendo o excesso nessa fase.

Os valores de produtividade obtidos utilizando-se os dois métodos para o cálculo da evapotranspiração da cultura e conseqüentemente geraram distintas estratégias de irrigação foram apresentados em forma de valor médio para o tratamento 100%. A decisão foi em função de considerar a estratégia adequada, observando-se uma pequena diferença não significativa, com as áreas irrigadas considerando o cálculo

da ETc GESAI superiores em 2,9% a que utiliza a metodologia FAO-56.

Deve-se ressaltar que a principal diferença no cálculo das lâminas pelas duas metodologias ocorre com maior intensidade na fase inicial da cultura, sendo assim a lâmina recomendada pelo método FAO é maior nas duas fases iniciais. Essa alta umidade do solo na fase inicial possivelmente não estimulou a cultura a aprofundar as raízes, visto que existe alta disponibilidade de água no solo. No entanto, o não aprofundamento das raízes tem como consequência a redução do volume de solo explorado pela cultura, que pode ser uma das razões da redução da produtividade.

Assim, procurando ajustar a situação em que, por um lado temos a importância da agricultura irrigada na produção de alimentos, fibras e agroenergia e, por outro, a necessidade de insumos de alto valor ambiental e estratégico como a água e energia e, finalmente por exigir investimentos elevados na implantação da infraestrutura necessária, como comentado anteriormente, o crescimento e desenvolvimento da agricultura irrigada só pode ocorrer em bases sustentáveis, sendo economicamente viável, ambientalmente responsável e socialmente justa. Entende-se que o equilíbrio nesse processo passa sem dúvida, não só pelo manejo da irrigação, mas por um processo mais amplo que a gestão da irrigação.

A importância de uma boa gestão de irrigação está disseminando, ela inclui o aspecto relacionado ao manejo (cálculo da lâmina e data da irrigação), além da maior conscientização da importância ambiental do uso eficiente da água, influenciam muito os fatores econômicos relacionados

ao custo da energia, mão de obra e outros insumos, além dos aspectos legais relacionados à lei das águas, e a outorga tem sido um importante instrumento de gestão e controle.

A experiência de longo tempo trabalhando no tema permite pontuar que o sucesso da implantação de um programa de gestão da irrigação e a sua continuidade ao longo dos anos, depende de alguns requisitos básicos, destacando-se: avaliação e ajuste do sistema de irrigação, levar em consideração as condições locais de solo, planta e clima e, a disponibilidade de água, equipamento e energia, considerando em todo processo a estratégia da condução da lavoura da propriedade, o sistema de produção, as metas de produção e produtividade, com a adequada conscientização e treinamento do pessoal envolvido. Fecha-se o ciclo com o acompanhamento periódico e um foco em resultados, a serem comprovados no final da safra.

Trata-se de um processo que exige tecnologia, dedicação e foco, sendo que o ideal é uma implantação em etapas, permitindo a incorporação gradativa dos processos e benefícios e, quanto mais pontos sejam atingidos, maiores os benefícios econômicos e ambientais relacionados a maior produtividade, menor consumo de água, energia, mão de obra e do equipamento. O sucesso na implantação e continuidade depende de que o processo de manejo seja feito pelo próprio pessoal da fazenda, o que exige um sistema técnico e ao mesmo operacional, capaz de ser conduzido nestas condições. Como interage solo, água, planta, sistema de irrigação e fatores operacionais, é fácil concluir que não existe uma receita e o uso de sistemas que prometem soluções simples e de fácil implantação e sem um acompanhamento técnico, podem até ser bem-intencionadas, mas são despreparadas tecnicamente

e são frequentemente abandonadas em um curto espaço de tempo.

Em propriedades com grandes áreas irrigadas a gestão técnica da irrigação, tem sido implantada com grande sucesso, além da conscientização citada anteriormente, o tamanho da área e a capacidade de investimento tem possibilitado a contratação de consultorias que implantam e promovem o funcionamento do sistema de gestão, treinando o pessoal técnico da fazenda na condução do processo no dia a dia.

Nesse cenário destaca-se normalmente os processos via assessoria externa, em que se distinguem, no Brasil, a Irriger[®] (www.irriger.com.br) e o Sistema Irriga[®] (www.sistemairriga.com.br), que vem atuando por muitos anos no cenário brasileiro e no exterior, desenvolvendo qualidade dos serviços prestados, utilizando alta tecnologia e trabalhando com ética nas relações empresariais e comerciais.

Uma preocupação tem sido a seguinte questão: Em áreas irrigadas de pequeno e médio porte, como anda a situação? Nestas propriedades observam-se as maiores deficiências em utilização de sistemas técnicos de controle da irrigação e sem dúvida necessitam de soluções que sejam ao mesmo tempo técnicas e operacionais, viabilizando a sua implantação. A grande limitação tem sido sistemas pouco operacionais, que exigem permanentemente grande quantidade de medidas diárias, sensores de alto custo e pessoal especializado, o que dificulta a adoção da tecnologia.

Visando atender as especificidades das pequenas e médias propriedades existem diversos sistemas propostos, que

variam na forma de trabalhar a simplificação e precisam ser criteriosamente avaliados para ver a relação à precisão e a simplificação. Neste contexto desenvolvemos um sistema simples e eficiente a ser utilizado por técnicos qualificados que atuem na assistência técnica. Trata-se do sistema Irrisimples®, uma ferramenta que permite gerar tabelas que definem a quantidade de água evapotranspirada pela cultura, ou seja a quantidade de água retirada do solo pela planta e que deve ser reposta, em mm ou em tempo de irrigação em cada área irrigada. Utiliza como base medidas de temperaturas máximas e mínimas como entrada para determinação da demanda local ETo em mm/dia na tabela 1, determinação do consumo de água pela planta (mm/dia) e tempo de irrigação para repor o déficit do dia (minutos de irrigação) na tabela 2 e, um ajuste no tempo de irrigação em função da chuva na Tabela 3. As tabelas e um exemplo de uso da mesma e mais detalhes estão disponíveis na página da Irriplus (www.irriplus.com.br), empresa pertencente a Incubadora de Empresas de Bases Tecnológicas do CENTEV/ Universidade Federal de Viçosa.

Toda tecnologia está inserida em um sistema que envolve treinamento, software de simples instalação e uso, utilização de informações técnicas objetivas das culturas e dos sistemas de irrigação e o uso de uma estação meteorológica simples, que pode ser manual (artesanal) ou automática (digital). A tomada de decisão diária na fazenda do tempo de irrigação dos sistemas de aspersão ou localizado, percentímetro a ser regulado no pivô central, etc. é feita com base em tabelas impressas geradas pelo sistema Irrisimples ou utilizando uma planilha eletrônica do próprio software. O sistema tem sido utilizado com sucesso na condução da irrigação de diversas culturas irrigadas, destacando-se o tomate, batata, café, feijão,

soja, milho, pastagem, cana-de-açúcar irrigadas e citros, que utilizam sistemas de irrigação por aspersão por pivô central, convencional, malha, setorial ou carretel e sistemas localizados por gotejamento e microaspersão.

Irrigação na Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

A integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) é uma das mais importantes estratégias de agregação de valores na agropecuária brasileira, com benefícios econômicos, sociais e ambientais amplamente reconhecidos e divulgados, que podem ser resumidos na maior sustentabilidade do sistema de produção.

Dentro dessa estratégia a cultura do milho é um componente importante e o tema iLPF está em grande destaque em diversas reuniões técnicas e foi tema exclusivo do Congresso Mundial sobre sistemas de iLPF em Brasília e em diversos outros eventos. A informação disponível sobre este sistema de produção é muito ampla na internet, como por exemplo, no portal da Embrapa.

Mas, mesmo neste amplo material disponível falta uma análise da aplicabilidade e importância da irrigação no processo iLPF. Este tópico, quando tratado, aparece de forma superficial e sem uma análise adequada, embora trabalhos de pesquisa apresentem aumento de produtividade significativo, como é o caso de pastagem irrigada, com 80 e 150% de aumento na taxa de ocupação (unidade animal/ha) e na produção de carne (Kg/ha/ano), respectivamente, quando comparada a sistemas

de produção de sequeiro, de igual tecnologia, no cerrado do Centro Oeste.

É importante considerar que a agricultura irrigada tem sido importante estratégia para otimização da produção mundial de alimentos, proporcionando desenvolvimento sustentável no campo, com geração de empregos e renda de forma estável, aumentando a produção, a produtividade e a rentabilidade da propriedade agrícola de forma sustentável, preservando o meio ambiente e criando condições para manutenção do homem no campo, através da geração de empregos permanentes e estáveis, estando em perfeita consonância com o sistema iLPF.

A implantação da iLPF não necessariamente exige o uso da irrigação, até porque apresenta características de melhor aproveitamento das chuvas em função da expectativa de maior conservação do solo, maior aprofundamento radicular entre outras. Por outro lado, existem vantagens na utilização da irrigação na iLPF que merecem ser melhor avaliadas pelos que trabalham com o tema:

- Possibilidade de seguir à risca o planejamento de plantio, colheita e rotação. Isso se torna mais importante em uma estratégia de integração que tem “janelas” de produção bem definidas;
- Maior potencial produtivo em função da aplicação da água no momento certo;
- Maior produtividade e melhor qualidade do produto, garantindo os níveis de rentabilidade planejada ou de ocupação dos animais;

- Maior eficiência no programa de fertilização pela possibilidade de aplicação de água no momento certo, facilitando e potencializando a absorção de nutrientes pelas culturas;
- Possibilidade de introdução de culturas caras, minimizando o risco do investimento, como é caso de cultivares de milho e pastagem de maior valor produtivo e nutritivo;
- Necessidade de área menor para atingir a mesma produção e rentabilidade;
- Diversos estudos mostram que a utilização da irrigação na iLPF promove benefícios relacionadas à melhoria dos aspectos como diminuição da erosão, da perda de matéria orgânica e nutrientes e da compactação.

Também é importante citar que existe uma ampla disponibilidade de sistemas de irrigação para atender à demanda da iLPF e, as empresas do setor comercializam sistemas de irrigação por aspersão convencional, carretel, pivô central e localizada cada vez mais modernos, eficientes e acessíveis.

Dentro desse contexto, um questionamento importante é qual a importância da irrigação na integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF)? Porque a irrigação não é citada na maioria das apresentações e discussões sobre o tema? São perguntas importantes a serem respondidas não só por quem trabalha na área de irrigação, mas também pelos usuários e especialistas envolvidos neste importante sistema de produção.

Os resultados citados na literatura, a grande disponibilidade de equipamentos, sistemas de irrigação cada vez mais modernos e acessíveis e as áreas já implantadas, não deixam dúvidas que irrigação permitirá um menor risco e maior ganho de rentabilidade no sistema iLPF. O importante é optar por um bom projeto de irrigação que atenda a demanda parcial ou total do sistema de produção.

Novas Tecnologias

Dentro deste contexto duas linhas de trabalhos têm possibilitado nova perspectiva para o manejo e gestão da irrigação no Brasil e no mundo, tratando-se da automação e do sensoriamento remoto. São tecnologias antigas cuja inovação trata-se da disponibilidade atual e do maior acesso às mesmas pelo desenvolvimento ocorrido nos últimos anos.

Utilização de processos de automação que permitam em tempo real a visualização do funcionamento do equipamento, identificação do déficit de água no solo, do nível de estresse das plantas, que possibilite ligar e desligar cada um dos setores do sistema a distância entre outras possibilidades se tornaram viáveis a um custo possível de ser incorporado ao sistema de produção. E não é só isso, os mesmos se tornam instrumentos de redução de custo de produção a curto e médio prazo pela otimização do uso de mão de obra, diminuição das perdas de produtividade em função da eliminação de problemas de campo em tempo real, pelo potencial de incentivar a implantação de programas de manejo e gestão da irrigação.

A automação, usado de forma parcial nos sistemas localizados, ampliam-se em possibilidades e estendem-se para sistemas

pivô central e aspersão convencional, que são os mais utilizados na irrigação da cultura do milho. Soluções simples e aplicáveis a qualquer marca e modelo de equipamento se proliferam, sendo o grande problema atual a falta de sinal GPRS (sinal de telefonia celular) em muitas fazendas, que complica a adoção da tecnologia pela dificuldade de envio das informações. Trata-se de um problema importante, mas cuja solução via uso de antenas e outros dispositivos estão possibilitando a superação em muitos casos.

Do ponto de vista do monitoramento da cultura, a utilização de imagens de satélites se torna cada vez mais comum para a obtenção de informações do cultivo. Como exemplo temos o grande trabalho de monitoramento das safras que é realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), que promove estimativas da área plantada, da produção e produtividade para os cultivos no território nacional. Em suas estimativas, a CONAB utiliza tanto informações de safras passadas como informações de mercado, informações de variáveis climáticas e informações espectrais orbitais, obtidas de imagens de satélites, fazendo uso de ferramentas do sensoriamento remoto (CONAB, 2016).

A cultura do milho está espalhada por todo o planeta e é plantada em quase todos os países, podendo ser encontrada nas mais variadas condições de clima e manejo, do nível do mar até áreas acima de três mil metros de altitude, de áreas de menos de 600 milímetros de precipitação até áreas com mais de 2.500 milímetros ao ano, em lavouras com menos de 10 mil plantas ha⁻¹ e produtividades menores que 1.000 kg ha⁻¹, até lavouras com mais de 100 mil plantas ha⁻¹ e produtividades maiores do que 15.000 kg ha⁻¹, de sementes de paiol ou de

variedades antigas até sementes transgênicas com tratamentos adicionais. Não diferentemente da produção mundial, a cultura do milho é encontrada em todos os Estados brasileiros. Sendo que existe o contínuo aumento de tecnologias produtivas elevando cada vez mais a produtividade da cultura.

Com o lançamento ao espaço do primeiro satélite da série Landsat, em 1972, nos Estados Unidos da América (EUA) de forma pioneira, pesquisadores passaram a utilizar as imagens de satélite para estimativas da área cultivada e hoje com satélites mais modernos já é possível estimar a evapotranspiração das culturas utilizando imagens de satélites. No Brasil, em virtude da grande extensão territorial, a estimativa da área plantada, principalmente se tratando de grandes culturas como o milho, por meio da classificação de imagens orbitais já é uma realidade. Atualmente existe uma gama de satélites em órbita, que possibilitam a obtenção até mesmo de informações diárias dos cultivos em todo o mundo, como exemplo podemos citar o sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo das plataformas Terra e Aqua, no entanto o ganho na resolução temporal, neste caso, tem reflexos na resolução espacial, aumentando o tamanho do pixel, diminuindo a resolução das imagens (ARAÚJO, 2013).

A série Landsat atualmente se encontra no satélite Landsat 8, lançado fevereiro de 2013, pela Empresa de Serviço Geológico dos Estados Unidos da América, U. S. Geological Survey (USGS) em parceria com a Empresa Aeroespacial Norte Americana (NASA). Este satélite foi carregado com dois dos mais modernos sensores espectrais já produzidos. O primeiro sensor se trata do Operational Land Imager (OLI),

que fornece oito bandas espectrais com resolução espacial de 30 m, e uma banda pancromática com resolução espacial de 15 m. O segundo sensor se trata do Thermal Infrared Sensor (TIRS), que fornece duas bandas espectrais da região do espectro infravermelho termal, possibilitando estimativas da temperatura da superfície terrestre. O satélite Landsat 8, possui resolução temporal de 16 dias. É importante salientar que já está previsto o lançamento do Landsat 9, sendo que este novo satélite assim como o Landsat 8 terá resolução temporal de 16 dias, no entanto seu período de revista será desconhecido com o Landsat 8, desta forma usuários de imagens Landsat, caso utilizem os dois satélites, vão poder contar com imagens a cada 8 dias, melhorando consideravelmente a resolução temporal das informações orbitais (ROY et al., 2014).

A associação das imagens de satélite a um sistema de informações geográficas (SIG), possibilita o armazenamento de resultados multitemporais em sistemas cartográficos de rápido acesso o que permitem o acompanhamento visual e quantitativo das áreas plantadas. Deste modo, o uso de imagens de satélite tem ganhado importância, em nível mundial, em função de permitir a realização de estimativas com maior antecedência e precisão e menor custo quando comparado às técnicas tradicionais, além de permitir o planejamento agrícola, no sentido de contornar o problema de escassez ou de excesso de produtos (OLIVEIRA et al., 2016).

Apesar da maior parte dos trabalhos utilizarem imagens Landsat, as imagens CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite) apresentam um desempenho similar para a estimativa de área agrícola e podem representar uma fonte de informação de grande valor para as estimativas agrícolas do país. Foco de

uma parceria entre a China e o Brasil, assinada em julho de 1998, as imagens são distribuídas gratuitamente no Brasil e permitem o acesso a um grande número de usuários (ARAÚJO, 2016).

As culturas agrícolas apresentam uma alta dinâmica temporal, a realização do acompanhamento em múltiplas datas dos índices de vegetação, tem permitido acompanhar a trajetória espectro-temporal das culturas, trazendo informações das condições da vegetação ao longo de seu ciclo fenológico, como demonstram diversos estudos. Portanto, é possível relacionar o perfil espectro-temporal de um índice de vegetação, como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ou NDWI (Normalized Difference Water Index) por exemplo, com as fases fenológicas das culturas, o que permite estimar datas de semeadura, de pico vegetativo (fases de florescimento e frutificação), de colheita da cultura ou picos de déficit hídrico. Estas informações são imprescindíveis quando se objetiva a construção de modelos de produtividade, já que as diferentes condições agrometeorológicas ocorridas, influenciam diretamente na produtividade final das culturas (ARAÚJO, 2016).

Uma única imagem de satélite pode não fornecer informações espectrais suficientes a respeito de um cultivo, no entanto, imagens multitemporais podem prover maiores informações sobre a área cultivada. Desta forma as séries temporais de índices de vegetação são uma das principais formas de se obter conhecimento a respeito da fenologia da cultura, isso porque os índices de vegetação conseguem traduzir o comportamento biológico das culturas em valores físicos, permitindo relacioná-los a expressão fisiológica das plantas, aos aspectos climáticos e ao desempenho produtivo das culturas.

Existem diversas ferramentas para análise de séries temporais de dados de vegetação, incluindo abordagens estatísticas como componentes principais e espectrais (KUPLICH et al., 2013). No entanto, segundo Eklundh e Jönsson (2010, 2012, 2015), apenas um número limitado de métodos existem para explorar e extrair parâmetros de sazonalidade de tais séries de dados, desta forma estes mesmos autores desenvolveram o software TIMESAT.

O principal objetivo do TIMESAT é permitir a investigação da sazonalidade dos dados de satélite, de séries temporais e sua relação com propriedades dinâmicas da vegetação, como a fenologia e o desenvolvimento temporal. Originalmente o TIMESAT foi desenvolvido para manipulação de séries temporais de NDVI do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Atualmente ele permite trabalhar com diferentes tipos de séries temporais, com diferentes resoluções de tempo, como por exemplo, os dados de NDVI obtidos com a banda 1 e 2 do sensor MODIS (JÖNSSON; EKLUNDH, 2004).

Com a expansão das áreas irrigadas a cada ano, a demanda de água para à irrigação vem crescendo, desta forma o sensoriamento remoto deve ser utilizado como uma ferramenta eficaz para monitorar as terras irrigadas por meio da extração de informações das imagens de satélites, combinando a abrangência espacial e a resolução temporal por meio de series temporais para gerar conhecimento. Ferramentas como SEBAL (BASTIAANSEN, 2000), METRIC (ALLEN et al., 2007) e SAFER (TEIXEIRA, 2010), hoje são amplamente utilizadas para a estimativa e a espacialização da evapotranspiração das culturas, sendo que as mesmas utilizam tanto informações orbitais como informações de superfície. Outra aplicação da utilização de

imagens de satélites, intimamente relacionada com a estimativa da evapotranspiração é a determinação de coeficiente de cultivo das culturas, desta forma pode-se promover uma checagem periódica do status de déficit hídrico da cultura.

Outra destinação para as informações espectrais orbitais são as estimativas de produção e produtividade das culturas. Estas estimativas podem ser aprimoradas com a utilização de séries de imagens de satélites, diversas são as pesquisas que tem por objetivo estas estimativas, no entanto a maioria trabalha de forma regional, estadual ou a nível nacional, são poucas as pesquisas que promovem estimativas de produtividade a nível da fazenda. No entanto estimativas locais são perfeitamente possíveis.

Araújo (2016), estudando a estimativa da produção de milho irrigado utilizando imagens do satélite, para três safras de milho na região Oeste da Bahia. Na figura 2, apresenta-se resultados das funções de produção da cultura do milho irrigado, estimadas utilizando imagens do satélite Landsat 8. Para estas estimativas foram utilizadas 22 imagens do satélite, englobando as safras, 2013, 2014 e 2015, apenas foram utilizadas imagens que apresentavam ausência de nuvens. A fazenda utilizada no estudo está localizada no município de São Desiderio - BA, mais precisamente nas coordenadas geográficas, 12°26'58.00" S; 45°41'14.00" O, sendo denominada Fazenda Triflora, e possui 17 pivôs de irrigação sendo que a mesma faz rotação entre milho e soja. A descrição do modelo utilizado para as estimativas de produtividade pode ser encontrada em Araújo (2013).

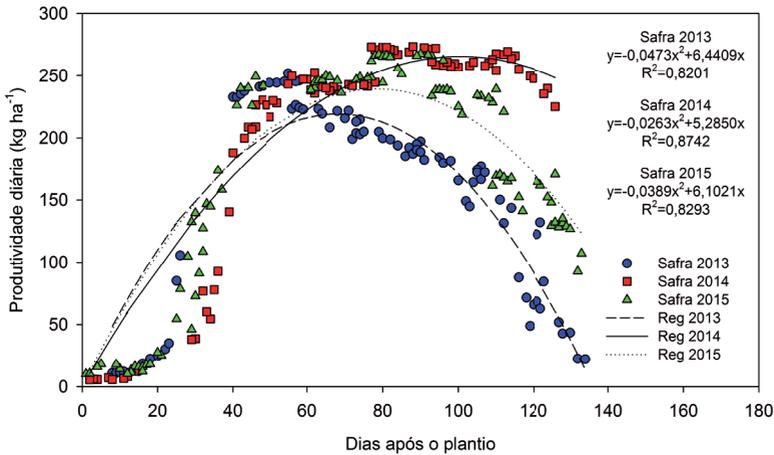


Figura 2. Valores de produtividade diária do milho irrigado, em função dos dias após o plantio, para as safras, 2013, 2014 e 2015, na Fazenda Triflora, São Desidério - BA. Estimativas de produtividade feitas com base em um modelo multiespectral utilizando imagens do satélite Landsat 8.

É possível observar que os incrementos diários de produtividade na cultura, começam baixos e vão aumentando, passando por um rápido desenvolvimento entre o 25º e 50º dias, tendo um período de estagnação e depois diminuindo com a maturidade do cultivo. Estes resultados traduzem o que realmente acontece a campo com a cultura do milho, demonstrando que o modelo tem embasamento físico, que traz robustez e precisão a suas estimativas, mostrando que imagens de satélite podem realmente aprimorar as estimativas de produção e produtividade.

As estimativas de produtividade do milho da Fazenda Triflora, nas safras, 2013, 2014 e 2015, são apresentadas na figura 3 e comparadas com os valores de produtividade observados a

campo. Estas estimativas de produtividade foram realizadas com base em um modelo multiespectral utilizando imagens do Landsat 8, como mencionado anteriormente.

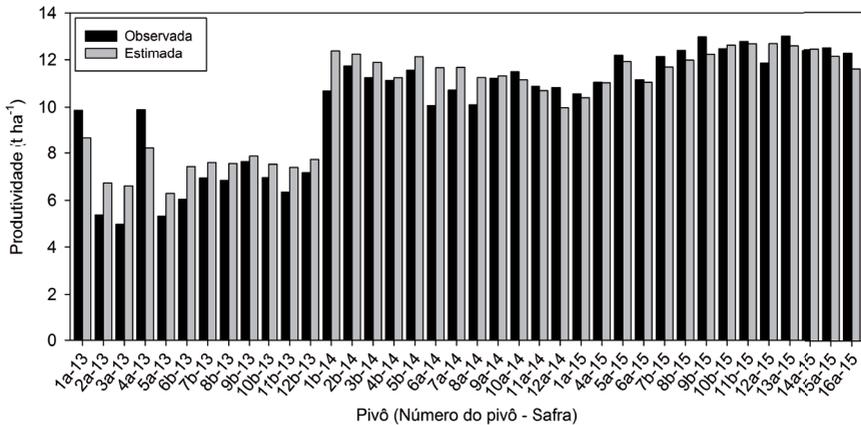


Figura 3. Estimativas de produtividade do milho irrigado confrontadas com valores de produtividade observados a campo, na Fazenda Triflora, São Desidério - BA. Estimativas de produtividade feitas com base em um modelo multiespectral utilizando imagens do satélite Landsat 8. Dados observados para 12 pivôs na safra 2013, 12 na safra 2014 e 14 pivôs na safra 2015.

É possível observar que os valores estimados, são próximos aos valores observados a campo. Analisando as três safras, 2013, 2014 e 2015, simultaneamente o modelo apresentam uma superestimativa média de 0,25 t ha⁻¹, sendo que a maior diferença foi encontrada no pivô 3a da safra 2013, sendo o valor igual a 2,04 t ha⁻¹, o menor valor para diferença foi registrado no pivô 9b na safra 2013, sendo o valor igual a -0,01 t ha⁻¹. Na figura 4 compara-se a produtividade observada e estimada para os três anos de plantio. O modelo em questão,

apresenta elevada concordância entre valores estimados e observados, assim como mostra a figura 4, na figura é apresentada a dispersão entre dados estimados e observados para a produtividade do milho irrigado. A elevada concordância entre valores estimados e valores observados a campo, pode ser comprovado pelo elevado coeficiente de determinação apresentado. A proximidade da linha de tendência com a reta 1:1, é outro indicativo da eficiência do método para a estimativa da produtividade.

As funções de produção apresentadas na figura 2 demonstram a importância de imagens durante todo o ciclo da cultura, pois as taxas diárias de crescimento são extremamente dinâmicas, desta forma a impossibilidade da obtenção de imagens em um dado dia pode levar a estimativas divergentes da realidade. Como exemplo a presença de nuvens por volta dos 60° a 80° dias, que será traduzida em falta de informações destes dias, podem levar a subestimativas de produtividade, pois nestes momentos as taxas de crescimento da cultura se encontram elevadas. Desta forma surge a necessidade de encontrar soluções para contornar este problema.

Áreas com elevada incidência de nuvens, apresentam problemas quanto a obtenção de informações espectrais orbitais, pois os cultivos são omitidos pelas nuvens. Em alguns locais e para alguns tipos de estimativa este problema pode ser contornado com imagens com melhor resolução temporal, no entanto uma melhor resolução temporal está associada a piora na resolução espacial. Outra forma de contornar este problema seria a combinação de mais de um tipo de satélite, desta forma a resolução temporal seria melhorada e a resolução espacial não seria comprometida. Uma rede de satélites que pode

ser utilizada para monitoramento das safras, são os satélites da família Sentinel, atualmente estão em órbita as missões Sentinel 1 e 2, cada uma com 2 satélites, satélite a e b, mas já existem previsões de expansão do programa com as missões Sentinel 3, 4, 5 e 6, sendo que no futuro cada missão será composta por 4 satélites e serão gerenciadas pela agência espacial europeia.

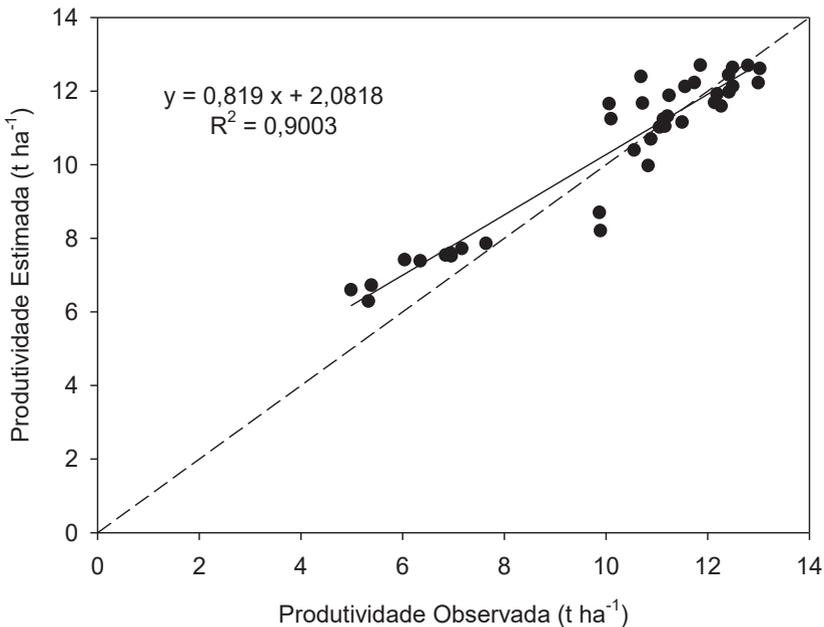


Figura 4. Valores de produtividade estimada do milho irrigado em função de valores de produtividade observada a campo, para as safras, 2013, 2014 e 2015, na Fazenda Triflora, São Desidério - BA. Estimativas de produtividade feitas com base em um modelo multiespectral utilizando imagens do satélite Landsat 8.

Outra possibilidade seria a integração do sensoriamento remoto orbital com o sensoriamento remoto suborbital, onde as imagens podem ser obtidas por meio de VANTS (veículos aéreos não tripulados), desta forma as nuvens não seriam um obstáculo para o imageamento das culturas. O inconveniente deste método é a necessidade da proximidade do operador com a cultura analisada.

Conclusão

O rendimento das culturas em função da quantidade de água aplicada é o indicador final para descrever as respostas da gestão de recursos hídricos na agricultura. A necessidade de acompanhar o crescimento das plantas e avaliar as relações entre o rendimento e os processos hidrológicos é fundamental para melhorar a produtividade por unidade de água aplicada. A produtividade das culturas é um dos elementos chave para o desenvolvimento rural sustentável e é um indicador da segurança alimentar de um País.

A irrigação da cultura do milho se encontra em plena expansão no Brasil e dada a relação entre a área cultivada com milho no Brasil e área cultivada e irrigada, encontramos um enorme potencial de expansão para a irrigação no milho. A tecnologia da irrigação em consórcio com outras tecnologias de cultivo se faz essencial para o alcance de produtividades cada vez mais elevadas. No entanto, como a água representa uma grande fatia do custo de produção, o manejo correto da irrigação se torna primordial para elevar a lucratividade das lavouras.

Os valores de evapotranspiração da cultura (ETc) obtidos pelas metodologias FAO 56 e GESAI obtiveram números

bem próximos, idem com as produtividades médias, que apresentaram valores médios 7,5% maiores nas áreas irrigadas com o controle do método GESAI. Vale ressaltar que na fase inicial a metodologia FAO 56 apresenta valores maiores de ET_c, pois considera a componente evaporação de água no solo de forma mais abrangente. Foi perceptível que a execução da metodologia GESAI é mais simples e requer menor quantidade de ajustes. O software utilizado facilita o procedimento do cálculo do manejo da irrigação em relação a planilha.

Sistemas mais complexos e que exigem equipe técnica são mais recomendáveis para áreas de grande extensão irrigada ou de grande aplicação tecnológica. Para pequenas e médias áreas irrigadas são necessários sistemas técnicos, mas que sejam também operacionais, tanto para o técnico que recomenda (extensão ou assessoria rural) quanto para o usuário.

O potencial de utilização da irrigação na integração lavoura-pecuária-floresta é uma análise importante e que precisa ser melhor tratada nos estudos, na divulgação e na implantação desse importante sistema de produção.

A utilização de novas tecnologias como o sensoriamento remoto orbital, para monitoramento das safras e do cultivo, em estimativas de evapotranspiração e produtividade, se torna essencial para mapear o processo produtivo tanto de forma temporal como espacial. A utilização de imagens de novos satélites e/ou de satélites consorciadas com imagens de VANTS pode contornar o problema da falta de imagens causado pela presença de nuvens que dificultam ou impedem uma análise adequada.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 133, n. 4, p. 380-394, 2007.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil - 2014: relatório síntese**. Brasília, DF, 2016. 33 p.
- ANDRADE, C. de L. T.; PEREIRA, P. E.; BRITO, R. A. L.; RESENDE, M. **Viabilidade e manejo da irrigação da cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 85).
- ARAÚJO, G. L. **Estimativa da produção em áreas irrigadas sob cultivo de cana-de-açúcar utilizando um modelo multiespectral**. 2013. 43 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- ARAÚJO, G. L. **Estimativa da produção de milho irrigado utilizando imagens do satélite Landsat 8**. 2016. 80 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ARAÚJO, W. F.; SAMPAIO, R. A.; MEDEIROS, R. D. Irrigation and nitrogen fertilization of corn. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 909-914, 1999.

BASTIAANSSEN, W. G. SEBAL - based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 229, p. 87-100, 2000.

BERNARDO, S.; SOARES, A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.

CALZADILLA, A.; REHDANZ, K.; TOL, R. S. J. The economic impact of more sustainable water use in agriculture: A computable general equilibrium analysis. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 384, p. 292-305, 2010.

CAMPOS, J. H. B. C.; SILVA, V. de P. R.; AZEVEDO, P. V. de; BORGES, C. J. R.; SOARES, J. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, B. B. da. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n. 2, p. 150-156, 2008.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Observatório agrícola: acompanhamento de safra brasileira: grãos: décimo primeiro levantamento, agosto/2016**. Brasília, DF, 2016. 176 p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage, 24).

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Rome: FAO, 1994. 306 p. (FAO. Irrigation and Drainage, 33).

EKLUNDH, L.; JÖNSSON, P. **Timesat 3.0: software manual**. Lund: Lund University, 2010. 75 p.

EKLUNDH, L.; JÖNSSON, P. **Timesat 3.1: software manual**. Lund: Lund University, 2012. 82 p.

EKLUNDH, L.; JÖNSSON. **Timesat 3.2 with parallel processing: software manual**. Lund: Lund University, 2015. 85 p.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro, 2007.

JAMIESON, P. D.; PORTER, J. R.; WILSON, D. R. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 337-350, 1991.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p.

JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L. TIMESAT - a program for analyzing time-series of satellite sensor data. **Computers & Geosciences**, New York, v. 30, n. 8, p. 833-845, 2004.

KUPLICH, T. M.; MOREIRA, A.; FONTANA, D. C. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p. 1116-1123, 2013.

LU, J.; SUN, G.; McNULTY, S. G.; AMATYA, D. M. A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the Southeastern United States. **Journal of American Water Resources Association**, Herndon, v. 41, n. 3, p. 621-633, 2005.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L, F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. 355 p.

MANTOVANI, E. C.; COSTA, L. C. (Ed.). **Workshop internacional sobre manejo integrado das culturas e dos recursos hídricos**. Brasília, DF: SRH; Viçosa, MG: UFV, 1998. 154 p.

MUKHERJI, A.; FACON, T.; BURKE, J.; DE FRAITURE, C.; FAURÈS, J.-M.; FÜLEKI, B.; GIORDANO, M.; MOLDEN, D.; SHAH, T. **Revitalizing Asia's irrigation: to sustainably meet tomorrow's food needs**. Colombo: International Water Management Institute; Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009.

OLIVEIRA, L. A. M.; AZEREDO, R. A.; ARAÚJO, G. L.; MANTOVANI, E. C. Estimativa de produção em áreas irrigadas sob cultivo da cultura do milho utilizando imagens de satélite. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 1, p. 400-409, 2016.

ROY, D. P.; WULDER, M. A.; LOVELAND, T. R.; WOODCOCK, C. E.; ALLEN, R. G.; ANDERSON, M. C.; HELDER, D.; IRONS, J. R.; JOHNSON, D. M.; KENNEDY, R.; SCAMBOS, T. A.; SCHAAF, C. B.; SCHOTT, J. R.; SHENG, Y.; VERMOTE, E. F.; BELWARD, A. S.; BINDSCHADLER, R.; COHEN, W. B.; GAO, F.; HIPPLE, J. D.; HOSTERT, P.; HUNTINGTON, J.; JUSTICE, C. O.; KILIC, A.; KOVALSKYY, V.; LEE, Z. P.; LYMBURNER, L.; MASEK, J.

G.; MCCORKEL, J.; SHUAI, Y.; TREZZA, R.; VOGELMANN, J.; WYNNE, R. H.; ZHU, Z. Landsat-8 Science and product vision for terrestrial global. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 145, p. 154-172, 2014.

SILVA, E. P. da. **Comparação de metodologias para determinação de evapotranspiração da cultura milho e avaliação de estabilizante de nitrogênio submetido a diferentes lâminas de irrigação**. 2016. 107 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

TEIXEIRA, A. H. C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1287-1319, 2010.

Capítulo 11

Armazenamento e Qualidade de Grãos de Milho e Sorgo

José Boaventura da Rosa Franco

Ricardo Ramos Martins

Introdução

A qualidade dos grãos está intimamente vinculada às decisões e as operações que os mesmos sofrem ao longo da sua produção e guarda. Entre outras, está sob o controle do produtor ou cerealista, a definição do tipo de semente que será utilizada, como será realizado o plantio, os tratamentos culturais, a colheita, às operações de secagem, e fundamentalmente, em que tipo de armazém ou silo e por quanto tempo serão estocados.

Os grãos podem, portanto, em virtude das decisões tomadas, sofrer em maior ou menor grau transformações ou injúrias de ordem mecânicas, biológicas, microbiológicas e bioquímicas, durante a sua produção, pré-processamento e estocagem. O grau de injúria sofrido vai depender da decisão tomada em relação a cada etapa a ser vencida durante a sua manipulação.

No caso do milho, por exemplo, são levantadas algumas decisões e suas consequências, que, entre outras, podem ser citadas:

A decisão de guardar milho na forma de silagem para o gado leiteiro ou a granel seco em um silo envolve diferentes necessidades. Segundo Delalibera et al. (2008), no caso dos volumosos para gado leiteiro, é comum a utilização de silagem de planta inteira de milho, em razão da grande quantidade de grãos, o qual torna a silagem altamente energética. Quando se utiliza este tipo de fonte, o processamento físico é de extrema importância, pois a natureza física do material pode ser alterada, reduzindo a habilidade deste em estimular a ruminação, o fluxo de saliva e a disponibilidade do material ao processo digestivo, diminuindo o aproveitamento do alimento e, conseqüentemente, os rendimentos. Tais problemas normalmente são observados no aproveitamento dos grãos de milho, pois estes são cobertos e protegidos pelo pericarpo, o qual é muito resistente à degradação microbiana e à digestão enzimática no intestino delgado do animal, sendo necessário, então, que os mesmos sofram um processo de fragmentação adequado (JOBIM et al., 2003). Ou seja, produzir silagem envolve a necessidade de fragmentar adequadamente o grão, e isso requer o desenvolvimento de equipamentos adequados para esse fim. Se a decisão for armazenar milho seco a granel em um silo, a fragmentação dos grãos traz como consequência a deterioração, seja, pela ação dos insetos, com o aumento do ataque das pragas primárias e mesmo as secundárias, ou pelo maior desenvolvimento de fungos e possível formação de micotoxinas. A exposição do amido, proteína e óleo, componentes internos dos grãos, facilita os processos degenerativos da qualidade do milho a ser estocado. Segundo

estudo de Lima et al. (2002), a limpeza dos grãos têm sido uma prática recomendada para auxiliar na redução da ocorrência de micotoxinas. Os resultados deste estudo demonstraram a importância da limpeza dos grãos para a melhoria da sua qualidade nutricional, e foi concluído que há uma grande variação no teor de óleo dos híbridos de milho e que a limpeza dos grãos promove maior concentração deste nutriente, sendo uma etapa importante para a melhoria da qualidade destes ingredientes. Neste caso se é necessário limpar, porque fragmentar.

Manter os grãos de milho frios no silo secador ou armazenador diminui a atividade biológica. Grãos fragmentados não podem ser secos em silos secadores que utilizam ar natural na secagem. Em períodos de alta umidade do ar, é possível observar desenvolvimento de fungos nos grãos quebrados, o que não ocorre naqueles grãos que mantiveram sua integridade física. Aerar grãos de milho que contenham excesso de grãos quebrados diminui o volume de ar dos ventiladores, pelo aumento da pressão estática, e cria caminhos preferenciais na massa de grãos criando pontos de maior temperatura e, portanto, de deterioração.

Desta forma, fica evidenciado que a manutenção da qualidade dos grãos (milho, soja, trigo, sorgo, arroz, entre outros), é grandemente dependente do modo como são processados e manipulados, e que requer uma correta engenharia de processos e de fabricação, e do destino final que será dado ao produto. Secar e armazenar com qualidade requer uma urgente avaliação das unidades com um trabalho que pode ser denominado como “caminhos do grão”, amostrando e avaliando o produto quando da sua chegada à unidade e

repetindo esse procedimento na entrada e na saída de cada equipamento e depósito, tais como: transportadores de grãos (roscas helicoidais, elevadores, correias transportadoras, redlers, etc.), máquinas de limpeza e pré-limpeza, secadores, silos. A seguir são elencados alguns aspectos a serem observados nos equipamentos e depósitos, entre outros.

Os Secadores e a Operação Qualitativa da Secagem

Secagem Contínua em Alta Temperatura

A secagem artificial dos produtos agrícolas, particularmente os cereais (milho, arroz, trigo e sorgo), consiste em uma rápida eliminação do conteúdo de água de modo que garanta uma boa conservação (ZANCHE, 1991).

Segundo Portella e Eichelberger (2001), a velocidade de secagem é influenciada pelos seguintes parâmetros: umidade inicial dos grãos, temperatura (do ar de secagem e dos grãos), umidade relativa e fluxo de ar de secagem, fluxo do grão no secador, método de secagem empregado, espécie e cultivar e histórico dos grãos. Os parâmetros que mais influenciam na velocidade de retirada de água dos produtos são o fluxo de ar e a temperatura que atinge o grão no secador durante a secagem.

Uma secagem muito rápida, em decorrência do uso de altas temperaturas e grandes fluxos de ar, resulta num gradiente de umidade muito acentuado entre a superfície do grão e o interior deste, gerando tensões internas. Essas tensões causam o trincamento e posterior quebra dos produtos, com reflexos marcantes sobre a qualidade dos grãos e problemas durante

o armazenamento. Esse fato é particularmente importante em grãos de arroz e de milho e sementes em geral (PORTELLA; EICHELBERGER, 2001). Segundo os mesmos autores, a velocidade de secagem é um fator de ordem econômica muito importante, pois é inversamente proporcional à duração da secagem. Em outras palavras, quanto maior a velocidade de secagem menor será o tempo de permanência dos grãos no secador, potencializando a sua utilização. Por outro lado, quando há insuficiência de ar para a secagem, o produto tem que permanecer longo tempo exposto ao ar quente e muitas vezes como forma de compensação para melhorar o desempenho é comum observar-se o uso de altas temperaturas na secagem.

A grande maioria das instalações utilizam secadores contínuos de fluxo misto, denominados em nosso país como secadores contínuos de cavaletes, sendo que estes equipamentos operam com fluxos de ar entre 45 a 78 m³/min.t e pressão estática (PE) variando de 25 a 51 mmca (BROOKER et al., 1992). Alguns erros de projeto têm dificultado a correta operação destes equipamentos (**Figura 1**).

O equipamento da **Figura 1** foi modificado, uma vez que o projeto original foi previsto com dois ventiladores axiais, mas em virtude do incorreto volume e área de grelha da fornalha, um dos ventiladores foi retirado. Com a retirada de um dos ventiladores, porém, não foi obtido o resultado esperado, como é observado no desenvolvimento da chama da fornalha, indicando excesso de ar entrando por baixo da grelha (ar primário), o que normalmente é chamada de chama de maçarico. Este expediente é utilizado pelos operadores quando a fornalha não consegue atingir temperaturas elevadas, então

eles restringem o ar de mistura o que aumenta a velocidade dentro da fornalha. O fluxo de ar medido ficou em torno de 20 m³/min.t, portanto muito abaixo do mínimo recomendado para esse tipo de equipamento. Com isso, a operação de secagem fica comprometida, o que é verificado pelo baixo rendimento. Neste caso, os operadores do secador muito pouco podem fazer, a menos, que o equipamento seja novamente projetado e reformado adequadamente.



Figura 1. Secador contínuo de fluxo misto de cavaletes com corpo em alvenaria (a) e a fornalha a lenha do mesmo equipamento (b).

A combustão nas fornalhas de fogo direto é um fator determinante na qualidade final do produto. A lenha, largamente empregada para o aquecimento do ar na secagem de produtos agrícolas em nosso país, é um combustível sólido de queima relativamente difícil, e libera durante o processo de combustão quantidade muito grande de produtos químicos,

alguns de periculosidade comprovada (NOLL, 1993). Estes produtos, entre os quais se encontram famílias inteiras de hidrocarbonetos poliaromáticos (HPAs) que são compostos formados em processos de combustão incompleta de todas as espécies de matérias orgânicas, podendo ser encontrados como contaminantes em matrizes complexas do meio ambiente, incluindo os alimentos. Outros componentes conferem cor e cheiro aos produtos secados, numa segura indicação de contaminação física e química. Os HPAs são famílias de produtos com características mutagênicas e carcinogênicas comprovadas. É quase impossível evitar a contaminação dos produtos com fuligem e cinzas volantes, que às vezes causam incêndios em secadores.

Combustíveis gasosos de cadeia curta produzem muito menos HPAs do que o *fuel oil* ou combustíveis sólidos. As fuligens, que são partículas de carbono com superfície ativa, absorvem grandes quantidades dos outros produtos da combustão incluindo os HPAs (HUTT et al., 1978).

Segundo Hutt et al. (1978), que pesquisaram a contaminação dos grãos durante a secagem utilizando aquecimento direto, concluíram não ocorrer um aumento importante na contaminação dos produtos com HPAs carcinogênicos, quando da utilização de combustíveis gasosos (Propano e gás industrial), o mesmo ocorrendo para fornalhas de *fuel oil* de chama azul (alta temperatura). Já as fornalhas de *fuel oil* de chama amarela (baixa temperatura) causam aumentos significativos de HPAs nos produtos principalmente quando se tem um aumento de contaminações com fuligem nos grãos.

Observa-se que vários secadores comerciais fabricados em nosso país apresentam frequentemente algumas incorreções, a saber:

- o incorreto dimensionamento das fornalhas a lenha, principalmente no tocante ao volume e à área da grelha.
- insuficiência de vazão do ventilador.

Assim, fornalhas mal dimensionadas não terão capacidade de produção de todo o calor necessário para a secagem, por outro lado, quando o fluxo de ar do ventilador está baixo do recomendado há necessidade de longo tempo de permanência do produto na câmara de secagem, e geralmente são operados com altas temperaturas.

Dimensionamentos incorretos¹, associados a uma inadequada operação, principalmente com o uso de lenha verde ou úmida ou a falta de regularidade no abastecimento da câmara de combustão resultam em excesso de velocidade do ar na fornalha e combustão incompleta. Estes fatores vêm acompanhados, como se tem observado, por altas contaminações dos grãos com fumaça, tendo sido detectado inclusive a rejeição por suínos, aves e gado leiteiro, de rações produzidas com milho contaminado, por causa da combustão incompleta. O correto dimensionamento do ciclone para evitar sólidos volantes no ar de secagem é, também, fator importante para evitar tais contaminações. Estes fatos tenderão a ser agravados na medida em que se oriente a colheita antecipada dos produtos agrícolas com umidades mais altas.

¹Ocasionalmente pela indústria muitas vezes propositadamente, com a finalidade de racionalizar o seu processo industrial e a montagem dos equipamentos, porém não dando a mesma importância ao processo de secagem que será executado nas propriedades com equivalente grau de qualidade.

Os resíduos depositados nos grãos, gerados pela combustão em fornalhas de fogo direto, estão fortemente vinculados às seguintes condições:

- Emissões na queima, ocasionadas pelo tipo de combustível, tipo de queima e condições de operação;
- Tipo de secador, principalmente em função do tempo de exposição dos grãos;
- A corrente de ar aquecido (tempo de residência na câmara de secagem), e;
- Tipo de grão.

A secagem em secadores contínuos é grandemente influenciada pelos fatores acima enumerados, em virtude de o produto permanecer em contato com o ar de secagem durante todo o processo. Já os secadores intermitentes, esse problema diminui bastante.

Outra questão importante, é que, com a combustão imperfeita das fornalhas a lenha, ocorre uma produção de gases ácidos o que vem colaborando para uma diminuição da vida útil dos equipamentos por excessiva corrosão, tendo-se, inclusive constatado a sua total destruição em poucos anos de uso.

A fim de minimizar os efeitos da queima de combustíveis sólidos (lenha), algumas regras devem ser observadas durante a operação das fornalhas, a saber:

- Manter limpos os cinzeiros abaixo da grelha ou com um mínimo de cinzas. Quando as cinzas se acumulam, naquele local, e se aproximam da grelha, o espaço para a passagem do ar que deve participar da reação de

combustão fica reduzido e com aceleração indesejável. Por outro lado, quando as cinzas chegam a “encostar” na grelha a refrigeração desta fica prejudicada podendo haver danos, pois o excesso de calor mais o peso da lenha podem deformá-la.

- O abastecimento da fornalha deve ser feito de tal forma que não haja altas variações na temperatura. Quando o abastecimento de uma fornalha é feito com espaços de tempo muito grandes, e se coloca muita lenha de cada vez, há muita variação na temperatura, tanto no interior da câmara de combustão da fornalha fazendo com que esta “trabalhe fria” por algum tempo, produzindo com isso fumaça, bem como, do ar para o secador e por consequência uma sensível queda no rendimento e na qualidade da secagem. Para obter-se uma temperatura mais constante é necessário abastecer a fornalha em intervalos de tempo pequenos e regulares e com pouca quantidade de lenha. O intervalo deveria ser no *máximo* de dez minutos, ou seja, seis abastecimentos por hora.
- A lenha para a fornalha não deve ter dimensões muito grandes. O ideal é que se trabalhe com uma lenha homogênea, seca, de boa qualidade e cujo diâmetro esteja na média de 15 a 20 cm. Quando o diâmetro exceder os 20 cm ela deve ser rachada para melhorar a queima. Além disso, o manuseio de lenha grande e pesada induz o operador a jogá-la com certa força para dentro da fornalha podendo vir a danificar as paredes pelo impacto produzido. Hoje já se dispõe de fornalhas parcialmente automatizadas, que utilizam “timers”, para controlar o abastecimento das toras de lenha.

A maior parte da energia da madeira vem da queima dos voláteis, através das seguintes etapas do processo de carbonização:

1. Secagem da madeira (abaixo de 180 °C) ocorre a vaporização de toda a água contida na madeira;
2. Pré-carbonização (entre 180 e 290 °C) processo endotérmico onde se inicia a liberação dos voláteis, a madeira começa a se decompor, liberando CO, CO₂, ácido acético e metanol;
3. Carbonização (entre 300 e 500 °C) o processo torna-se exotérmico e autossustentável. A decomposição térmica acelera, liberando mais calor. Grande eliminação de gases e vapores condensáveis. A liberação de alcatrão e ácido pirolenhoso atinge o seu máximo. O resíduo final dessa fase é o carvão vegetal;
4. Gaseificação (acima de 500 °C) o carvão começa a se degradar termicamente iniciando a gaseificação.

O teor de voláteis na lenha de eucalipto pode variar com as espécies, para o *E. grandis* fica ao redor de 89,9% na madeira e 79,1% na casca, já para o *E. saligna*, estes valores situam-se em 75,5 e 76,1% respectivamente (BRITO; BARRICHELO, 1978).

A temperatura na câmara de combustão da fornalha deve ser mantida bem alta. O ideal é que fique próxima dos 700 °C para que haja uma melhor queima dos gases da combustão diminuindo, desta forma, a ocorrência de fumaça e as contaminações nos produtos. Para a obtenção das temperaturas adequadas à secagem a regulagem deve ser feita abrindo

ou fechando as janelas de mistura de ar frio (entradas de ar de mistura), no duto que conduz o ar ao secador², e nunca baixar a temperatura através da redução no abastecimento com lenha na fornalha. O tempo de retenção dos gases na fornalha é fundamental para uma boa queima. Também a umidade dos materiais orgânicos utilizados no aquecimento do ar é importante, com valores abaixo de 25% há um bom aproveitamento da combustão da madeira.

O trabalho de Camargo e Toledo (1998), que não detectaram benzo(a)pireno (B(a)P) nos grãos secos ao sol e nos grãos úmidos antes da secagem (**Tabela 1**), sugere que no Brasil a poluição atmosférica não é uma fonte importante de contaminação dos grãos de milho, provavelmente pelo fato de a maioria das plantações de milho se localizar em regiões pouco industrializadas e ou distantes do tráfego.

Os dados da **Tabela 1** confirmam a contaminação dos grãos durante a secagem, evidenciando uma maior concentração dos HPAs na superfície do grão, refletida nos níveis elevados de B(a)P determinados na película que se solta do grão durante a secagem.

²Para secadores que utilizam insuflação de ar através de ventiladores centrífugos, as venezianas do ar de mistura podem estar próximas aos ventiladores, para secadores que operam por sucção de ar as venezianas obrigatoriamente devem estar posicionadas antes dos ciclones, para uma perfeita mistura ar quente e ar ambiente.

Tabela 1. Teor de benzo(a)pireno ($\mu\text{g}/\text{kg}$) em amostras de milho submetidos à secagem a lenha^a.

Amostra	Coleta	
	1	2
Milho Úmido ^b	n.d.	n.d.
Milho Seco ^c	6,00	2,82
Resíduo de milho ^d	1,90	1,88
Pele ^e	28,25	12,12

n.d.- não detectado ($< 0,5 \mu\text{g}/\text{kg}$)

^a os valores são média de duas determinações e são expressos em relação à fase oleosa do milho, ^b milho antes da secagem, umidade ao redor de 18%, ^c milho seco, umidade ao redor de 12%, ^d milho seco quebrado ($\emptyset < 5 \text{ mm}$), ^e película em suspensão no secador, retida nos filtros.

A concentração de B(a)P no milho seco e na pele foi relativamente maior na 1^a amostragem, embora ambas as coletas tivessem sido feitas no mesmo secador. Segundo o responsável pela secagem, por ocasião da primeira coleta, a lenha que foi utilizada para queima estava verde (portanto com excesso de umidade), enquanto que na coleta seguinte, a madeira estava seca. Como madeira verde produz mais fumaça que a seca, é maior a chance de fumaça entrar em contato com os grãos de milho e, conseqüentemente, maior a probabilidade de contaminação dos grãos com HPAs.

O resíduo de milho seco, representado principalmente por grãos quebrados, apresentou uma contaminação relativamente menor. Este resíduo, resultado da quebra do grão durante a própria colheita e durante a secagem, é obtido por passagem dos grãos secos em peneira de 5 mm de diâmetro e é utilizado como compostagem, não sendo destinado a extração de óleo.

Embora a maioria dos pesquisadores não concorde que as alterações no valor nutricional do milho ou da soja sejam devidas às altas temperaturas de secagem, eles são unânimes em afirmar que as características físicas e químicas, como consistência, conteúdo de energia, palatabilidade, dureza, cor, umidade e teor de proteínas e aminoácidos, são afetados pela temperatura de secagem (SILVA et al., 2000b).

Tem-se observado, no caso dos moinhos coloniais de milho, que a qualidade da secagem apresenta grande influência no processamento industrial. Milho seco com temperatura elevada e umidade final baixa causa grande interferência no processo de degerminação, pois, ficam extremamente quebradiços e baixam o rendimento de canjica, produto com melhor preço do que o da farinha e está no início do processo, gastando com isso menos energia para ser produzido. Outro fator a ser considerado como da maior importância é a integral retirada do germe, pois se o germe não for retirado completamente poderá haver diminuição do “tempo de prateleira” da farinha em virtude da “rancidez oxidativa³” dos óleos contidos em maior quantidade no germe. A retirada da camada preta na ponta do grão de milho também é dificultada em grãos que sofreram um processo térmico inadequado, deixando a farinha com pequenos pontos negros, o que deprecia sua qualidade.

³Segundo Moretto e Alves (1986), os óleos vegetais são menos suscetíveis à rancidez, isso é atribuído a ocorrência de antioxidantes naturais nas fontes vegetais (os mais conhecidos e difundidos são os TOCOFERÓIS).

Secagem em Silo Secador em Baixa Temperatura

A busca permanente por maior racionalização na secagem dos grãos, fez com que a construção de silos, em meados da década de 2000, buscasse o aprimoramento do sistema de secagem nas propriedades. A secagem com o uso de secador solar que já era uma tecnologia inovadora, introduzida pelo serviço de extensão rural oficial do Rio Grande do Sul através da Emater/RS, e bastante difundida, principalmente no município de Casca/RS e com resultados em outros municípios do Estado, demonstrava ser uma tecnologia simples, eficiente e sustentável. Porém os produtores necessitavam de dois equipamentos: o secador e o silo armazenador. Foi então, a hora de mais uma vez a Emater/RS inovar e difundir o uso de silo secador no Estado para as unidades em nível de propriedade.

Segundo Silva et al. (2000a), na secagem com ventilação forçada pode-se empregar baixa temperatura, alta temperatura, secagem combinada e outros. Secagem em baixas temperaturas é um método artificial de secagem em que se utiliza ar natural ou ar levemente aquecido - até 10 °C acima da temperatura ambiente. A secagem com alta temperatura é aquela em que o ar de secagem é aquecido a uma temperatura superior a 10 °C acima da temperatura ambiente. Naturalmente, esse limite não é rígido, mas esta é a diferença que caracteriza o processo como não sendo mais de baixa temperatura.

A secagem com ar natural em silos segue as seguintes características, de acordo com Hansen et al. (2013): o processo de secagem é lento, geralmente requerendo 4 a 8 semanas⁴; o conteúdo inicial de umidade é normalmente limitado na faixa de 22 a 24%; os resultados de secagem são conseguidos forçando o ar sem aquecimento, através dos grãos, em taxas de fluxo de ar entre 1,13 a 2,26 m³/min.t; a secagem e a armazenagem ocorrem no mesmo silo, minimizando a movimentação do produto; os silos são equipados com fundo totalmente perfurado, um ou dois ventiladores de alta capacidade, um distribuidor de grãos e escadas; e máquinas de limpeza devem ser usadas para remoção de grãos quebrados e finos.

Nas máquinas de limpeza, para o milho, têm sido usados na peneira superior furos redondos de 13 mm de diâmetro e a inferior, com furos redondos com 6,5 mm de diâmetro. É claro que o produto que está sendo colhido deve passar por uma avaliação em termos de tamanho dos grãos, e se necessário diminuir ou aumentar os diâmetros sugeridos, podendo também ser utilizadas com furos de 14 mm e 7 mm, para as peneiras superiores e inferiores respectivamente. Não se operam silos secadores com excesso de impurezas e grãos quebrados, pelos motivos já expostos.

⁴Nas condições do Rio Grande do Sul, a secagem de milho deve ser realizada em no máximo duas semanas e o conteúdo inicial de umidade fica restrito a 22% bu.

Existe ainda a possibilidade da utilização de coletores solares acoplados nos silos secadores para locais com neblina constante ou épocas de maior umidade relativa ou, ainda, propiciar a entrada de milho com maior teor de umidade nos silos. Na **Figura 2**, observa-se as curvas de umidade de equilíbrio para o milho plotadas sobre o gráfico psicrométrico. É comum nos estados do sul do Brasil, umidades relativas acima de 75% na época de colheita do milho dito "safrinha" ou naqueles plantados após a cultura do fumo.

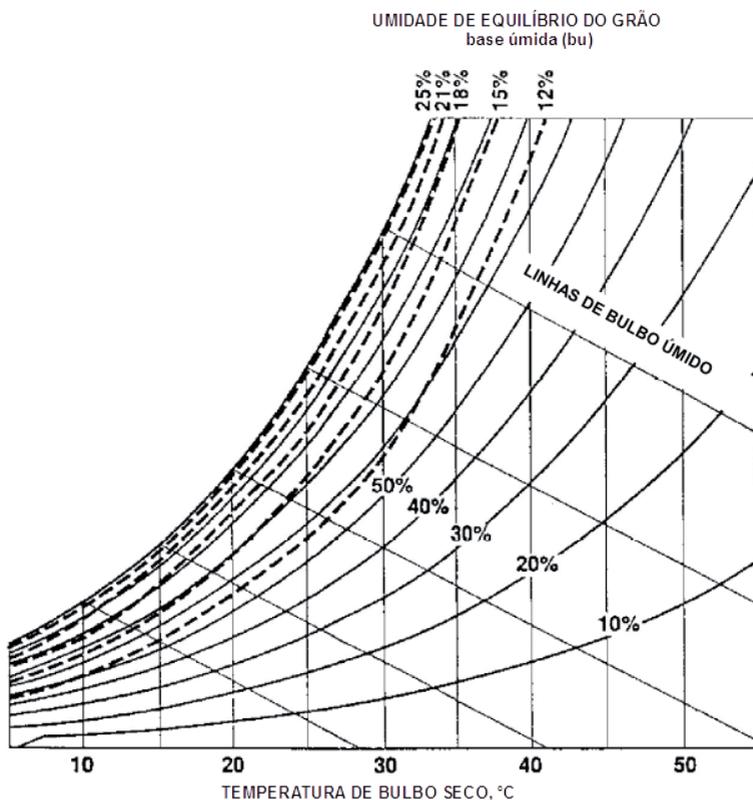


Figura 2. Gráfico psicrométrico e curvas de umidade de equilíbrio (Ue) para milho, adaptado de Brooker et al. (1992).

Em trabalho desenvolvido por Converse et al. (1978) foi testado o uso e o tipo de coletores solares em silos e demonstrado que: o uso de aquecimento suplementar reduziu o consumo de energia elétrica dos ventiladores; o uso de coletores na secagem torna o processo efetivo, nos períodos de menor temperatura e maiores umidades relativas do ar. Todos os testes com coletores acoplados nos silos tiveram o tempo de secagem menor do que os silos que utilizaram somente ar natural, entre outras observações. Na observação do tipo de coletor, aquele que armazenou energia em leito de pedra foi mais eficiente nos períodos mais frios.

No estado, os silos secadores são manejados dependendo do produto e da região; em secagem com enchimento em uma única vez para silos de menor porte, ou em camadas, para silos de maior porte.

A Emater/RS está desenvolvendo uma parceria com a Faculdade de Agronomia da UFRGS, com a finalidade de transferência de tecnologia (Universidade/Extensão), de várias fontes de aquecimento do ar para serem utilizadas em silos secadores, visando à qualidade dos grãos de milho, tais como: trocadores de calor a lenha, queimadores de GLP, coletores solares, uso de processadores de combustível para hidrogênio, entre outras.

Para o milho, o limite de sacos para um silo com secagem em camada única é de 2.500 sacos. Para o arroz, pode ser de até 5.000 sacos, mas é aconselhável que o produtor construa silos de menor porte. Em secagem e armazenagem de qualidade, o melhor é ser pequeno. O estudo da região onde o silo secador vai ser instalado é de fundamental importância, somente após análise técnica detalhada é que se têm condições de definir o

projeto. Cabe salientar também, que durante todo o processo decisório da obra haja participação dos agricultores, pois é deles a opinião do melhor manejo, para um processo mais adequado à suas necessidades. Como o consumo elétrico está diretamente ligado ao volume de ar produzido pelas pás do ventilador e a pressão total a ser vencida pelo ar no sistema, quanto mais alta for a camada de grãos no silo, tanto maior será a pressão estática requerida e maior será o consumo energético.

A partir de 2012, houve inovação no modo de construção no que se refere à elevação dos silos. Há que se destacar a necessidade de avaliar mudanças que impliquem em custo da mão de obra, visto que esta representa algo ao redor de 35% do valor dos materiais para silos pequenos e de até 60% para silos de maior porte. Observando inovações introduzidas no mercado por empresas de construção no município de Lajeado-RS, foi possível identificar o uso de novo material na elevação das paredes internas e externas dos edifícios, as argamassas poliméricas (alvenaria colada).

A partir desta experiência consolidada no mercado imobiliário, a Emater/RS adotou esta tecnologia na elevação dos silos de alvenaria. Um exemplo clássico é o produtor Daniel De Bona, no município de Dois Lajeados-RS, que construiu dois silos de 600 sacos de capacidade e somente necessitou de profissionais especializados para emboçar⁵ as paredes dos silos. Algumas vantagens são apontadas com esta nova prática, sendo: maior rapidez na elevação das paredes de tijolos, realizando o serviço em um terço do tempo do sistema tradicional com argamassa, e não necessidade de profissional especializado; a parede colada é 30% mais leve que a tradicional; usa-se menos cimento - lembramos que a produção de 1 kg de cimento libera 600 gramas de dióxido de carbono (CO₂) para atmosfera; usa-se menos areia, evitando a constante mineração nos leitos dos rios; economia de 30% em relação ao sistema tradicional; sem perdas, diminui o entulho e mantém a obra limpa; não requer cal, água ou betoneira.

Segundo Meneghetti (2010), a possibilidade de construção com material e mão de obra local possibilita ampla difusão no País por tornar o sistema viável para pequenas e médias propriedades. Além disso, o consumo energético para a produção de blocos cerâmicos é consideravelmente menor quando comparado ao do concreto e ao do aço. A energia utilizada para a produção destes materiais se relaciona numa proporção de 1 : 2,5 : 15. Num período em que são discutidos métodos construtivos mais sustentáveis, este menor consumo energético é outro importante fator para utilização de blocos cerâmicos.

⁵Aplicar emboço, ou base do reboco em uma parede. In: <<http://aulete.uol.com.br/>. Acesso em 26 de agosto de 2013.

Todo o silo secador é, potencialmente, um controlador de insetos dos grãos armazenados de alta eficiência (WILKE, 2013). Como os fluxos de ar utilizados na secagem são bastante elevados e para aeração bem inferiores, se for utilizado um fluxo de 2,5 m³/min.t, pode-se secar milho, em aproximadamente 14 dias e completar uma dose de aeração em 10 horas. A Emater-RS tem acompanhado por meio de medições frequentes a campo, temperaturas em silos secadores abaixo de 15 °C, o que leva ao desenvolvimento muito lento dos insetos e, portanto, a um controle com ar natural das pragas dos grãos armazenados.

Como exemplo de sucesso na secagem de milho em baixas temperaturas podem ser citados os irmãos Damo criadores de suínos e os Soccol que possuem um pequeno moinho para produzir farinha de milho, ambos no município de Casca-RS.

Os Damo são criadores de suínos em ciclo completo, com plantel de 350 matrizes. Aproximadamente a uma década e meia enfrentavam sérios problemas de qualidade da ração fabricada na propriedade. Eles colhiam em média 17.000 sacos de milho e terceirizavam a secagem e armazenagem.

Os índices reprodutivos do plantel da propriedade eram alarmantes. O retorno ao cio das matrizes suínas era de 24% e o número de abortos nas fêmeas eram 50 ao ano. A conversão alimentar nas fases de crescimento e terminação estava em 2,73 kg de ração consumida/kg peso vivo, além da necessidade do uso contínuo de sequestrantes de aflatoxinas nas rações. Atualmente, os índices se encontram em um patamar diferenciado: o retorno ao cio está em 6,7% e os abortos são quase inexistentes. Enquanto que a conversão alimentar passou

para 2,30 kg de ração por quilo de peso vivo adquirido e o uso dos sequestrantes está muito reduzido. Os irmãos contam hoje com: dois secadores solares de 500 sacos de carga estática, um silo pulmão com capacidade de 1.000 sacos, dois silos armazenadores de 7.500 sacos cada, e recentemente foram construídos mais dois silos secadores de 2.500 sacos e um de 4.500 sacos de capacidade. Na **Figura 3** é mostrado o milho utilizado nas criações da família Damo.



Figura 3. A qualidade do milho armazenado, com limpeza admirável, após 12 meses de armazenagem.

Já o moinho Soccol produzia farinha de milho em moinho de pedra, secando os grãos em alta temperatura, em um secador de leito fixo. A partir de 2004, construiu o primeiro silo secador com capacidade de 2.000 sacos de milho. Atualmente conta com mais um silo de 3.000 sacos (**Figura 4**). O moinho aumentou significativamente o volume de farinha produzida

e hoje conta com quatro pedras realizando a moagem. Na **Figura 5a** pode-se observar uma polenta feita com a farinha do moinho. A foto ilustra o momento exato em que a polenta foi retirada do cozimento e do prato de vidro que serviu de forma. Nota-se que a polenta não perde o formato original do prato. Na **Figura 5b**, observa-se a sua elasticidade. Além do sabor e odores característicos de um produto de qualidade superior, observa-se que a gelatinização do amido da farinha foi alcançada o que mantém o produto com bom grau de aglutinação. Caso a polenta seja cortada em fatias e colocada para fritar em óleo, os pedaços se mantêm integrais, o que não ocorre com polentas feitas com farinhas oriundas de milhos secos em altas temperaturas e que durante a secagem iniciam o processo de gelatinização. Secar grãos com alta temperatura e umidade pré-gelatiniza o amido e pode ser até bom na nutrição de animais (MARTINS, 1997), porém jamais produzirá farinhas de qualidade. Farinha sem qualidade é produto final sem qualidade. O rendimento de farinha de um milho seco em silo secador é maior que os secos em secadores convencionais. Um saco de 60 kg de milho processado em silos secadores rende de 7 a 10 kg a mais de farinha, e é por isso, que o produtor que seca em silos recebe ao redor de R\$ 5,00 a mais por saco de milho vendido.



Figura 4. Silo secador de alvenaria armada em fase de construção com capacidade estática de 3.000 sacos de milho (moinho Soccol, Casca-RS).



(a)



(b)

Figura 5. Polenta feita com farinha do Moinho Socool, Município de Casca-RS, com o milho seco em silos secadores, logo que foi retirada da forma onde foi processada (a), e a perfeita gelatinização do amido demonstrada pela elasticidade observada (b).

Temperatura Ideal para Secagem dos Grãos

Segundo Marsans (1987), existem alguns valores de temperatura ideal para os distintos tipos de grãos que não devem ser ultrapassados, onde são estabelecidos limites nos quais a qualidade não é afetada. As temperaturas indicadas na **Tabela 2** são orientadoras, porém mostram os níveis nos quais as deteriorações dos grãos são reduzidas ao mínimo. Alguns autores apresentam temperaturas, para esses grãos, menores que as indicadas, como para o caso do girassol e da soja⁶.

Se considerarmos o trigo como exemplo veremos que, ao mesmo tempo, que a secagem malconduzida está retirando água dos grãos, também está deteriorando a qualidade para panificação, ao alterar a estrutura molecular das proteínas que forma o glúten e as enzimas. Temperaturas de secagem que levem o grão a mais de 55 °C produzem a desnaturação das proteínas mencionadas; temperaturas superiores (70 °C) desnaturam a β amilase, e mais de 75 °C o fazem com a α amilase (enzima responsável pela transformação do amido em açúcares solúveis, que servem de alimento para as bactérias da levedura).

⁶No Brasil ocorre o contrário, vários autores especificam temperaturas mais elevadas para a massa de grãos, como 66 °C para trigo (moagem), 60 °C para o sorgo (amido) e 55 °C para o milho (amido).

Tabela 2. Temperaturas ideais para vários tipos de grãos (MARSANS, 1987).

Tipo de grão	Temperatura	
	Ar (°C)	Grão (°C)
Cevada cervejeira	40	30
Trigo pão	60	45
Milho indústria	60-70	40-45
Sorgo granífero	60-70	45
Soja	60	45
Girassol	55-60	40-55

A temperatura do grão tem que ser medida fora da corrente de ar dos secadores, pois a retirada de água do produto leva ao rebaixamento da temperatura, e não fornece a real temperatura do grão. Dependendo do tipo de secador, contínuo, intermitente ou leito fixo, às temperaturas fornecidas ao ar na primeira coluna da **Tabela 2**, necessariamente não levarão as temperaturas do grão constantes na segunda coluna da mesma tabela. O único tipo de secagem que não ultrapassam as temperaturas constantes na tabela é a secagem em silos secadores com ar natural.

Dimensionamento dos Fluxos de Ar do Sistema e a Correta Instalação dos Ventiladores

A qualidade dos grãos de cereais depende fundamentalmente do ar que passa pela massa de grãos, seja durante a secagem ou nos silos e depósitos durante a armazenagem.

É necessário, portanto, o conhecimento aprofundado para dimensionar os fluxos de ar, que fornecerão a vazão compatível com as necessidades de cada equipamento do projeto da unidade de armazenagem. Um erro cometido nessa fase tem

como resultado sérios problemas de qualidade dos grãos ali estocados.

Os ventiladores utilizados nas unidades agrícolas podem ser centrífugos ou axiais, e devem ser fabricados por empresas que detenham tecnologia adequada para que atinjam alto desempenho. Na **Figura 6** observa-se uma curva típica de um ventilador centrífugo com diâmetro de rotor de 630 mm.

É fundamental que os ventiladores sejam dimensionados em termos de consumo elétrico para operarem em toda a extensão da curva a uma determinada rotação. Por exemplo, se o ventilador selecionado operar com 1700 rpm, na parte superior da curva vai apresentar uma vazão de 8.500 m³/h, uma pressão total (PT) de 180 mmca⁷, uma pressão estática de 177 mmca com uma potência absorvida de 10 CV; se operar na parte inferior da curva vai desenvolver uma vazão de 23.000 m³/h, uma pressão total (PT) de 65 mmca, uma pressão estática de 41 mmca com a mesma potência absorvida de 10 CV.

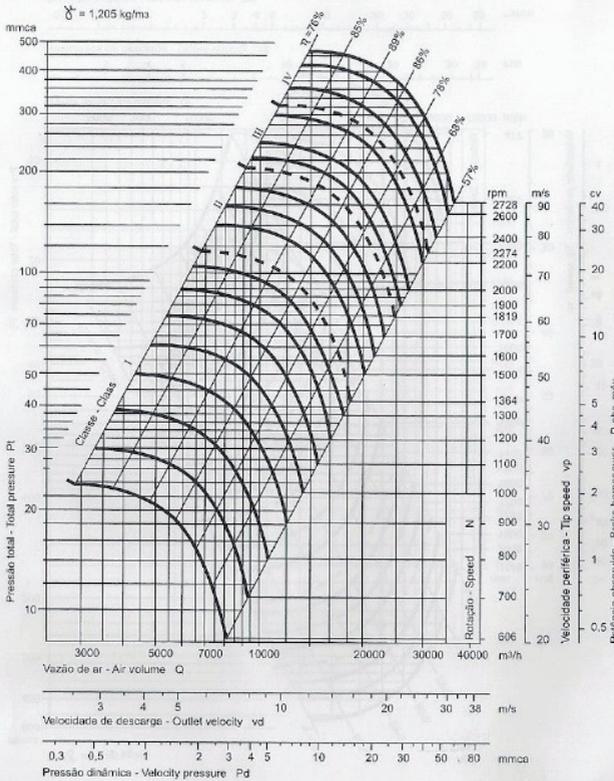
O ponto de operação pode variar, no caso dos silos, em virtude da quantidade de produto no início da safra que é menor, deslocando a curva para direita em pontos de menor pressão, a medida, que os silos vão sendo cheios, ocorre um deslocamento na curva para pontos de maior pressão e menor vazão.

⁷1 mmca – milímetros de coluna de água é igual a 9,8 Pa..

RFS 630



O desempenho mostrado é para instalação tipo B - aspiração livre / descarga atada (ANSI/AMCA Standard 210-35 figure 7). Os dados de desempenho não incluem os efeitos ocasionais por restrições, distúrbios ou acessórios colocados no fluxo de ar. A potência abaixo dada (cv) não inclui as perdas da transmissão.



Diâmetro do rotor Impeller diameter	D = 630 mm	A	630 mm
Momento de inércia Moment of inertia	- CL I e II = 4,092 kg.m ² - CL III = 4,945 kg.m ² GD2 - CL IV = 5,526 kg.m ²	B C	B x C = 500 x 630 mm A = 0,315 m ²

Figura 6. Curva de ventilador centrífugo RFS (tipo air foil) com diâmetro de 630 mm (catálogo OTAM Soler&Palau Ventilation Group).

O efeito sistema também deve ser bem determinado, ele é representado pelo aumento de pressão em virtude do tipo e altura alcançada pelo produto a ser armazenado, bem como todas as demais barreiras a serem vencidas pelo ar em movimento, tais como, mudanças de direção representadas por curvas, comprimento de condutos, rugosidades das paredes destes condutos, entre outros.

Os ventiladores centrífugos tipo “limit load” trocam vazão por pressão e, portanto, se as pressões a serem vencidas não forem bem determinadas ocorrerá uma diminuição na quantidade de ar que passará através do produto diminuindo a eficiência na secagem ou aeração.

Com a finalidade de diminuir a perda de carga, o ventilador deve ser acoplado ao “plenum” do silo por meio de um elemento de transição (difusor). A abertura deste elemento deve ser tal que o ângulo formado com o eixo de simetria do silo esteja compreendido entre 10° e 20°, assim, o comprimento da transição irá depender do ângulo adotado e, mais diretamente, da disponibilidade de espaço coberto para a construção do silo.

Conforme Macintyre (1988), quando ocorre um aumento gradual de área do expensor, à medida que a energia cinética (produzida pelo ventilador) diminui, porque a velocidade diminui, a energia de pressão aumenta. Daí dizer-se que no alargamento ocorre uma “recuperação na energia de pressão”. Simultaneamente, ocorre uma perda de carga, que, dependendo do ângulo de abertura do difusor, é em geral pequena. A transformação gradual de parte da pressão de velocidade em pressão estática é altamente desejável quando o ar está entrando no “plenum”, para que este possa vencer

a camada de produto e com isto proceder a aeração ou a secagem.

Segundo Jayas e Muir (2002), a forma e a área de saída do ventilador não são usualmente as mesmas de entrada do ar no “plenum” ou dutos do silo. Dutos de transição devem transferir o ar da saída do ventilador para o interior do silo, sem perdas por vazamento de ar e atrito excessivo. As transições devem também reduzir a turbulência e a velocidade do ar que sai do ventilador. Um dos principais fatores que afectam a perda por atrito de uma transição parece ser a área da saída do conduto de transição. Perdas por fricção nos dutos de transição foram testadas por Friesen e Huminicki (1986). Na **Figura 7**, são apresentados os modelos de transição testados.

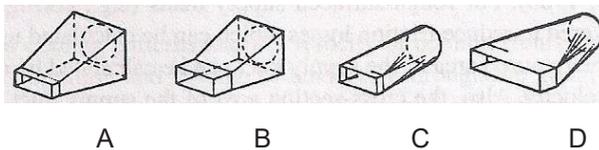


Figura 7. Formas de transições testadas experimentalmente, com área de entrada de $0,164 \text{ m}^2$ e áreas de saída variáveis sendo a Transição A - $0,092 \text{ m}^2$, Transição B - $0,099 \text{ m}^2$, Transição C - $0,094 \text{ m}^2$ e Transição D - $0,20 \text{ m}^2$.

Analisando a **Figura 8**, temos que as linhas contínuas indicam o intervalo de teste, e as linhas tracejadas são extrapolações. A área de saída da transição teve o maior efeito sobre a perda de pressão produzida. A Transição D tinha uma área de saída, ao redor de, duas vezes as outras transições e uma perda de pressão insignificante ao longo da gama de fluxos de ar testados. A forma de transição também teve um efeito, com linhas mais suaves e ausência de ampliações abruptas na

transição C produzindo uma perda de pressão mais baixa do que as transições A ou B.

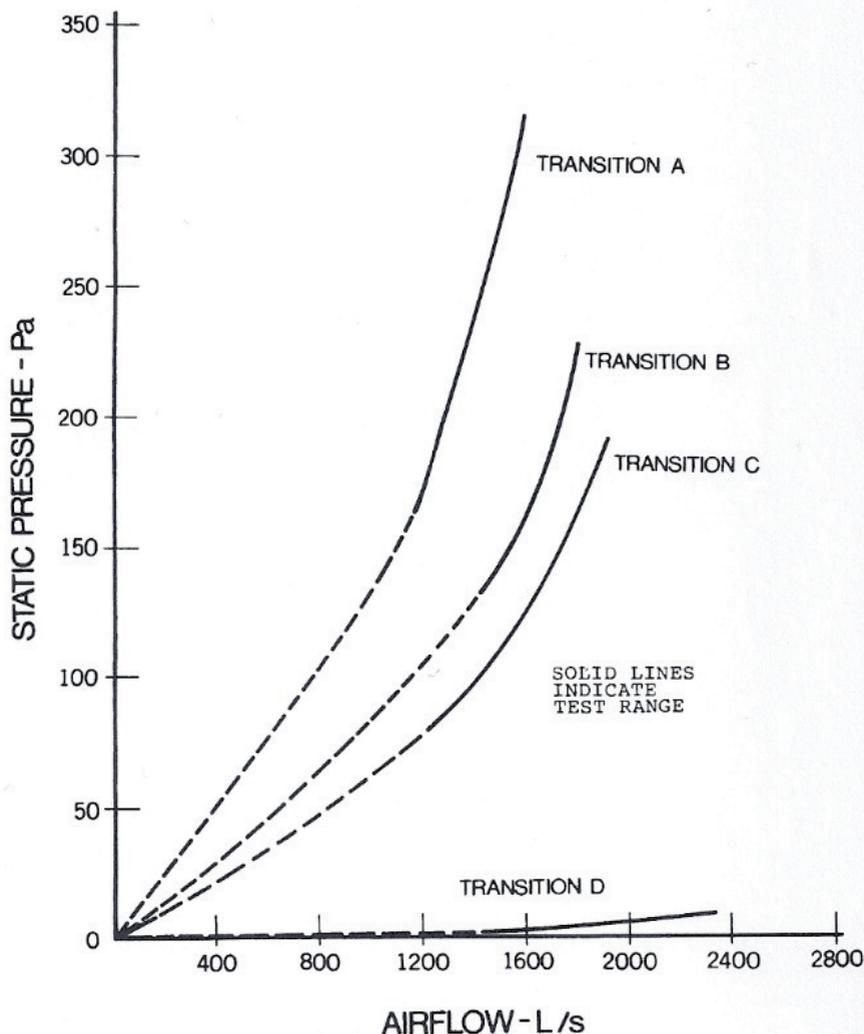


Figura 8. Perda de pressão através de quatro diferentes transições acopladas em ventiladores.

Muitas vezes compra-se um excelente ventilador e a instalação é malfeita e grande parte do fluxo de ar é perdido na forma de pressão, como é observado na **Figura 9**.



Figura 9. Um excelente ventilador a), com uma transição completamente equivocada b)

Já na **Figura 10**, não tem jeito mesmo, um ventilador muito mal projetado e uma instalação que consegue ser pior que o equipamento. Não se usa mais acoplamento do motor ao ventilador através do uso de polias e correias, nesta situação há uma perda de potência desnecessária em virtude desse arranjo.



Figura 10. Ventilador mal projetado e transição muito pior.

Não se muda a direção do ar sem que o conduto represente três vezes o diâmetro equivalente da boca de descarga do ventilador. O cálculo é simples, basta aplicar a seguinte fórmula:

$$\varnothing_e = (1,3 \times ((a \times b)^{5/8}) / ((a + b)^{1/4})) \quad \text{onde,}$$

\varnothing_e = diâmetro equivalente em cm;

a = largura da boca de descarga do ventilador em cm, e

b = altura da boca de descarga do ventilador em cm.

Utilizando a curva da **Figura 6** onde a = 50 cm e b = 63 cm e aplicando a fórmula temos o $\varnothing_e = 61,25$ cm, multiplicado por três é igual a um duto com o comprimento de 184 cm. Ou seja, o duto tem que ter a seção da boca do ventilador com o comprimento de 184 cm, somente após esta distância pode ser mudada a direção, entrada no “plenum” dos silos, entre outros arranjos.

Todo o ar que entra em um silo tem que necessariamente sair. Para cada 18.000 m³/h de vazão de ar de entrada no silo, temos que ter 1 m² de área de exaustão. Ou seja, se eu tiver saídas com seção quadrada de 30 cm de lado, terei que ter para cada 18.000 m³ de ar de aeração aproximadamente 12 saídas. Isso fornece ao ar que está deixando o silo uma velocidade de 5 m/s, que é a ideal para evitar o aumento de pressão.

Conclusões

Os secadores contínuos que operam com altas temperaturas contrapõem-se aos conceitos mais modernos de qualidade exigidos atualmente pelo mercado de produtos agrícolas e,

portanto, recomenda-se muita cautela na determinação da temperatura possível de ser atingida pela massa de grãos. Existe uma urgente necessidade de estudar-se melhor os diferentes parâmetros que interferem na secagem dos equipamentos comerciais nacionais, uma vez que estes secadores são diversos daqueles em uso em outros países e nestes casos, às conclusões oriundas de trabalhos de pesquisa estrangeiros podem ter duvidosa aplicabilidade para as nossas condições, principalmente quando visa-se a manutenção da qualidade dos produtos colhidos.

O mesmo ocorre com os silos secadores que utilizam ar natural para secagem, principalmente do milho. Precisamos de mais pesquisas através de um zoneamento climático para melhor adequar os fluxos a serem empregados e em quais locais são necessários o uso de fonte de aquecimento suplementar.

Precisamos melhorar os estudos de combustão para fornalhas que operam a lenha, que em virtude do custo da energia ainda serão muito utilizadas.

E por fim é necessário melhorar os projetos de instalação de ventiladores em silos para minimizarmos as perdas energéticas através do efeito sistema, principalmente pelo uso de transições mal projetadas.

A melhoria qualitativa dos grãos passa necessariamente por projetos de unidades mais avançadas tecnologicamente e adequadas em termos de equipamentos melhor projetados pela indústria.

Referências

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, Piracicaba, n. 16, p. 63-70, 1978.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinold, 1992. 450 p.

CAMARGO, M. S. F. O. de; TOLEDO, M. C. F. **Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em óleo de milho, margarina, creme vegetal e maionese e efeito do processamento na contaminação**. 1998. 111 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CONVERSE, H. H.; FOSTER, G. H.; SAUER, D. B. Low temperature grain drying with solar heat. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 21, n. 1, p. 170-175, 1978.

DELALIBERA, H. C.; WEIRICH NETO, P. H.; COLET, M. J.; GARBUIO, P. W.; SVERZUT, C. B. Resistência de grãos de milho à ruptura por compressão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2493-2497, dez. 2008.

FRIESEN, O. H.; HUMINICKI, D. N. Evaluation of grain airflow resistance characteristics and air delivery systems. **Canadian Agricultural Engineering**, Ottawa, v. 28, n. 2, p. 107-115, 1986.

HANSEN, R. C.; KEENER, H. M.; GUSTAFSON, R. J. **Natural air grain drying in Ohio**. Disponível em: <<http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0202.html>>. Acesso em: 04 maio 2013.

HUTT, W.; MEIERING, A.; OELSCHLAGER, W. Grain contamination in drying with direct heating. **Canadian Agricultural Engineering**, Ottawa, v. 20, n. 2, p. 103-107, Dec. 1978.

JAYAS, D. S.; MUIR, W. E. Aeration systems desing. In: NAVARRO, S.; NOYES, R. (Ed.). **The mechanics and physics of modern grain aeration management**. Boca Raton: CRC Press, 2002. p. 195-249.

JOBIM, C. C.; BRANCO, A. F.; SANTOS, G. T. dos. Silagem de grãos úmidos na alimentação de bovinos leiteiros. In: SIMPÓSIO GOIANO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE BOVINOS DE CORTE E LEITE, 5., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: CBNA, 2003. v. 1, p. 357-376.

LIMA, G. J. M. M. de; COSTA, C. L.; BELLAVAR, C.; ZANGERÔNIMO, M. G.; KLEIN, C. H. **Rendimento e composição química de híbridos comerciais de milho antes e após a limpeza dos grãos**. Concórdia: Embrapa-CNPSA, 2002. 4 p. (Embrapa-CNPSA. Comunicado Técnico, 312).

MACINTYRE, A. J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 403 p.

MARSANS, G. J. **Manejo y conservación de granos: cuidados durante el secado y almacenamiento**. Buenos Aires: Hemisferio Sur, 1987. 266 p.

MARTINS, R. R. **Secagem intermitente com fluxo cruzado e altas temperaturas e sua influência na qualidade do trigo**

duro (*Triticum durum* L.). 1997. 128 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MENEGHETTI, L. R. C. **Silos circulares em alvenaria de blocos cerâmicos:** análise da influência da forma no comportamento estrutural. 2010. 86 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MORETTO, E.; ALVES, R. F. **Óleos e gorduras vegetais processamento e análises.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1986. 179 p.

NOLL, I. B. **Avaliação da contaminação de carnes por hidrocarbonetos poliaromáticos.** 1993. 104 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PORTELLA, J. A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de grãos.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 194 p.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L. Secagem e secadores. In: SILVA, J. S. (Ed.). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000a. cap. 5, p. 107-138.

SILVA, J. S.; BERBET, P. A.; AFONSO, A. D. L.; RUFATO, S. Qualidade dos grãos. In: SILVA, J. S. (Ed.). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000b. cap. 4, p. 63-105.

WILKE, B. Using aeration to control stored grain insects.

Disponível em: <<http://www.smallgrains.org/techfile/aeration.htm>>. Acesso em: 06 maio 2013.

ZANCHE, C. Secaderos de cereales. Madrid: Mundi-Prensa, 1991. 96 p.

Capítulo 12

Incidência de Doenças Vinculadas aos Sistemas de Produção

Ricardo Trezzi Casa

Introdução

As doenças, causadas principalmente por fungos, afetam a cultura do milho em vários estádios fenológicos de desenvolvimento da planta. Os danos decorrentes do processo de infecção nos diferentes órgãos da planta interferem principalmente em aspectos fisiológicos, com reflexo na produtividade e qualidade de grãos. Os problemas causados pelos patógenos em milho provocam danos do tipo: i) germinação de sementes, emergência e estabelecimento de plântulas; ii) doenças foliares; iii) podridões do colmo; iv) podridões da espiga; e v) podridões radiculares.

A intensidade das doenças é variável em função do genótipo e do ambiente. Esta é uma das razões da diversidade de epidemias de diferentes doenças ocorrentes nas distintas regiões de cultivo do cereal no Brasil. Espera-se que cultivo de um mesmo híbrido em regiões distintas tenha a mesma reação de resistência a doenças, mesmo que o ambiente seja diferenciado do ponto de vista de exigência para obtenção de

período crítico específico para cada patógeno. Na prática isto não está ocorrendo. E as hipóteses para tal fato recaem sobre a realidade de aceitação das informações disponíveis sobre a especificidade da relação patógeno-hospedeiro e/ou sobre o conhecimento da biologia dos patógenos nos diferentes sistemas de cultivo.

O objetivo deste capítulo será abordar alguns pontos importantes em relação ao sistema de produção de milho e sua relação com o Manejo Integrado de Doenças (MID).

Sistemas de Cultivo e Doenças

Qual resposta é mais adequada para conceituar sistema de produção? Ou será que podemos entender como sistema de cultivo? Realmente tratam-se de perguntas que quando feitas para pessoas que atuam em diferentes áreas podem ter significados distintos. Imagine a resposta vinda de um agricultor! Ou de um extensionista! Ou de especialistas, como os que atuam nas áreas de fitotecnia e fitossanidade! Acredito não terem a mesma resposta.

Do ponto de vista da fitopatologia é difícil responder, mas acredito que a linha de raciocínio terá relação com a patogênese, ou seja, buscar esclarecimentos com base no entendimento das relações interespecíficas entre patógeno e hospedeiro. E nesse aspecto o conhecimento dos mecanismos de sobrevivência (fontes de inóculo) dos fitopatógenos do milho é o ponto essencial a ser explorado.

Considerando o local, o modo como sobrevive e o tempo de viabilidade das unidades infectivas dos patógenos, pode-se

aceitar o princípio de que o sistema de cultivo tem influência marcante na ocorrência e na intensidade de doenças.

Os agentes causais classificados como biotróficos (causadores de ferrugens, viroses, espiroplasma, fitoplasma e carvão), principalmente as ferrugens, têm nas plantas voluntárias seu principal mecanismo de sobrevivência. Os agentes necrotróficos (causadores de manchas foliares, deterioração de sementes e podridões de raízes, colmo e espiga) possuem os restos culturais (palha) e solo como as principais fontes de inóculo. Ao analisar essas características dos patógenos do milho, pode-se inferir que o manejo do solo e o sistema de rotação de culturas adotado em cada propriedade agrícola têm fator relevante na densidade e no potencial de inóculo dos agentes necrotróficos.

O cultivo do milho em sistema plantio direto é predominante no Brasil, embora em muitas áreas a semeadura não seja realizada de fato “na palha”. Há impactos do ponto de vista agrônomo e também especificamente fitopatológico. Ao analisar patógenos que sobrevivem na palha verifica-se que a baixa disponibilidade deste resíduo cultural impacta na baixa densidade de inóculo de fitopatógenos. Entretanto, muitos outros atributos são afetados negativamente na presença de pouca palha quando se pensa em estabilidade do sistema plantio direto, especialmente aqueles relacionados à fertilidade do solo e manutenção do equilíbrio biológico que também interferem no manejo integrado de doenças ao considerar o princípio de biocontrole. Assim, não se pode encarar o plantio direto como sendo “problema para doenças”. Devemos assumir que a presença da palha, uma vez infectada, pode garantir a presença e a viabilidade de patógenos na área de cultivo. Nesse

caso, a monocultura de milho em cultivo na safra (primeira safra), predominante em propriedades rurais com produção para própria criação de animais ou destinada à agroindústria regional (predominante em algumas regiões do Sul do Brasil), e considerando a segunda safra (“safrinha”), essa presente em sucessão normalmente ao cultivo da soja, porém ano após ano no mesmo local (típica em regiões no Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil), são situações que têm restringido o potencial de produção no que se refere à epidemia de doenças onde os patógenos têm nos restos culturais do milho a sua principal fonte de inóculo.

A principal estratégia para manejar agentes necrotróficos em áreas com sistema de plantio direto é a adoção da rotação de culturas. A rotação de culturas se constitui na alternância regular de diferentes culturas numa mesma área. Essa troca deve ser efetuada de acordo com um planejamento adequado, no qual devem ser considerados diversos fatores, entre eles a cultura predominante na região, em torno da qual será programada a rotação, além dos fatores de ambiente que influirão nas culturas escolhidas para integrarem o sistema (SANTOS et al., 1993). Da mesma forma, segundo Derpsch (1985), pode ser definida como a alternância ordenada de diferentes espécies de plantas, num espaço de tempo, na mesma área, obedecendo, finalidades definidas, sendo que uma espécie vegetal não é repetida, no mesmo lugar, com intervalo menor que dois e, se possível, três ou mais anos. Sob o ponto de vista fitopatológico, rotação de culturas consiste na semeadura do milho, num mesmo local da lavoura, na mesma estação de cultivo, onde os restos culturais do cultivo anterior do milho foram eliminados biologicamente; ou seja, por rotação entende-se não semear milho, na mesma área da lavoura,

até que ocorra a completa decomposição de seus tecidos ou restos culturais (REIS et al., 2004). Nesta situação, a palha foi eliminada pela ação decompositora dos microrganismos do solo; foi biologicamente degradada de tal maneira que o inóculo dos agentes necrotróficos presentes na palha foi eliminado.

Tecnicamente a rotação de culturas é a estratégia a ser adotada. Porém para muitas pessoas envolvidas com a assistência técnica o cultivo sequencial de diferentes culturas é considerado como rotação, ao menos do ponto de vista fitotécnico. Exemplo disto é o cultivo de soja na safra e de milho na segunda safra, repetindo essa sequência de culturas por mais de um ano. O retorno do milho no mesmo local no ano seguinte caracteriza monocultura. Mesmo havendo condições adafoclimáticas favoráveis para a rápida decomposição dos restos culturais do milho (regiões Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste) praticamente haverá resíduos culturais infectados remanescentes nesta área. Essa condição tem favorecido a ocorrência de manchas foliares (cercosporiose, helmintosporioses, antracnose e mancha-branca) e podridões do colmo e da espiga (diplodia, fusariose e antracnose). Portanto, o cultivo alternado de diferentes espécies, na mesma área, em estações diferentes, constitui a sucessão anual de culturas (REIS et al., 2004), podendo levar ao monocultivo ao considerar os anos subsequentes conforme a espécie vegetal a ser cultivada. Constata-se assim que a monocultura de milho tem sido adotada consciente ou inconscientemente em muitas lavouras brasileiras proporcionando manutenção do inóculo.

Ao analisar a situação de cultivo nas regiões mais frias do Sul do país constata-se que os restos culturais de milho podem

permanecer sobre a superfície do solo por período superior a dois anos após a sua colheita (CASA et al., 2003). Esse seria o tempo mínimo para o cultivo de verão sem a introdução do milho na área, o que de fato vem ocorrendo nas áreas onde há predomínio com monocultura de soja. Nesse caso, o cultivo da soja por duas safras de verão tem propiciado o controle de doenças (diplodia, fusariose, cercosporiose, helmintosporiose) causadas por patógenos específicos do milho ou aqueles que apresentam baixa gama de hospedeiros secundários colheita (REIS et al., 2011). O controle de outras doenças somente não é maior por existirem patógenos do milho que apresentam ampla gama de hospedeiros (*Fusarium graminearum* [teleomorpho = *Gibberella zae*] - giberela) e/ou pela possibilidade de alguns também sobreviverem na forma de estruturas de repouso no solo (*Macrophomina phaseolina* - macrofomina) por período superior a dois anos.

O milho cultivado em sucessão às gramíneas de inverno tem apresentado problemas especificamente com a infecção de *F. graminearum* em colmo e em espiga. O fungo ataca uma ampla gama de plantas cultivadas, como milho, aveia branca (*Avena sativa* L.), aveia preta (*A. strigosa* Scrib.), centeio (*Secale cereale* L.), cevada (*Hordeum vulgare* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), triticale (*X. tritico-secale* Wittmack), arroz (*Oryza sativa* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) e milheto (*Pennisetum typhoides* (Burm.f.) Stapf. & C.E. Hubb). Além destas, o patógeno também é encontrado parasitando espécies nativas e invasoras, como o azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), milhã (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. e papuã (*Brachiaria plantaginea* (Link.) Hitchc. (SUTTON, 1982; PARRY et al., 1995). Em regiões do Centro-Oeste e Sudeste, onde há cultivo de *Panicum* e *Brachiaria*, o fungo pode formar peritécios de

forma abundante nos resíduos culturais destas gramíneas (CASA et al., 2010). Da mesma forma, atenção especial deve direcionada ao sistema de cultivo em consórcio. Um exemplo é o “Sistema Santa Fé”, pois a presença de gramíneas em consórcio pode proporcionar aumento da densidade de inóculo de *F. graminearum* e também de *Colletotrichum graminicola* (antracnose) e *Pratylenchus brachyurus* (nematóide necrosador).

No caso de *F. graminearum*, os ascósporos produzidos nos peritécios formados nos restos culturais dos inúmeros hospedeiros são transportados pelo vento a longa distância (REIS, 1988; PRUSSIN et al., 2014). Tal situação beneficia o fungo e dificulta seu controle por práticas que envolvam a rotação e a sucessão de culturas (CASA et al., 2005; REIS et al., 2011). Assume-se assim que o inóculo de *F. graminearum* está disponível em praticamente todas as situações de cultivo de milho do Brasil. Seus danos no colmo, espiga e grãos (grãos avariados e produção de micotoxinas) serão função da reação de resistência do genótipo e da ocorrência de períodos críticos para satisfazer o processo de infecção. No caso da podridão da espiga, o inóculo deve preferencialmente atingir os estigmas, onde germinam e formam o tubo germinativo, pelo qual ganham o interior da espiga, podendo progredir para a base durante o estágio de enchimento do grão. Temperaturas amenas (24 °C a 26 °C) e períodos de molhamento persistente favorecem a infecção do fungo (REID; HAMILTON, 1996). Muito provavelmente nas regiões mais quentes (Centro-Oeste) o fungo mantém sua viabilidade ano após ano e ainda não estão causando epidemias em função de temperaturas mais altas e menor precipitação após o espigamento do milho ocorrentes no cultivo segunda safra. Por outro lado, nessa região, em locais

de altitude (noites amenas) e no cultivo de milho irrigado (por exemplo, pivô central), o período crítico para o fungo pode ser satisfeito e então conseqüentemente haver danos provocado por giberela. Nessas áreas com irrigação o manejo de podridão de espiga de giberela pode ser realizado evitando o excesso de molhamento no período que compreende a extrusão dos estigmas e a polinização. Independentemente do sistema de cultivo o mau empalhamento da espiga mantendo os grãos expostos e injúria provocada por insetos também favorecem a inoculação do fungo nos grãos

A podridão de raízes e da base do colmo de macrofomina é outra doença muito frequente nas lavouras de grãos em todo território nacional que não tem sido controlada eficientemente por práticas que envolvem a rotação de culturas. Até então se pressupõe que *Macrophomina phaseolina* esteja infectando plantas de milho, sorgo, soja e feijão, nos diferentes sistemas e regiões de cultivo. Isto realmente preocupa, principalmente quando se preconiza o uso do milho em rotação com a soja para controlar a ocorrência e o dano de macrofomina em soja (problema em quase todo território brasileiro). A situação se agrava nas regiões onde há milho segunda safra em sucessão ao cultivo da soja no verão. Esse problema tem sido maior ainda em lavouras onde o solo encontra-se compactado, com baixo teor de matéria orgânica, com deficiência de potássio e temperaturas entre 28 e 32 °C, situações que favorecem o processo de infecção do fungo (MICHHEREFF et al., 2005). Como os sintomas de macrofomina em milho são observados próximos da colheita, a doença e seus danos com certeza estão passando despercebidos para o agricultor e os assistentes técnicos de campo. Tem-se constatado ocorrências frequentes de macrofomina em lavouras de milho do Mato

Grosso (Parecis, Araguaia e norte da BR163), Goiás (sudoeste) e Bahia (noroeste). Nessas regiões, mesmo havendo baixa disponibilidade de palha de milho infectada, a ocorrência do *M. phaseolina* tem sido garantida pela presença dos microescleródios (estruturas de repouso do fungo) livres no solo que recebem estímulo para germinar na presença dos hospedeiros (exemplo: sorgo e soja) e condição edafoclimática favorável. Este patógeno tem sido um grande desafio para a fitopatologia como ciência: não há informação de híbridos resistentes e os fatores de predisposição para o processo de infecção do fungo são facilmente obtidos (exemplo: solos compactados, estresse hídrico, deficiência nutricional).

A resposta do que seria um sistema de produção ou sistema de cultivo visando o MID do milho em parte foi discutida nos parágrafos acima, porém com ênfase somente para dois patógenos (*F. graminearum* e *M. phaseolina*). Mesmo assim parece não ser suficiente, uma vez que há outras práticas de manejo adotadas na cultura do milho que conferem diferentes níveis tecnológicos de produção que também interferem na intensidade de *F. graminearum*, *M. phaseolina* e de outros patógenos, como população de plantas (TRENTO et al., 2002; CASA et al., 2007), equilíbrio nutricional e arranjo de plantas (RIBEIRO et al., 2005), suscetibilidade de genótipos (RIBEIRO et al., 2005; PILETI et al., 2014; NERBASS et al., 2016), controle químico de doenças (PINTO, 2004; JULIATTI et al., 2007; BAMPI et al., 2012; ANDRIOLI et al., 2016), época de colheita (PANISON et al., 2016).

Fica evidente o grau de dificuldade de manejar doenças do milho no que se refere ao uso de práticas culturais que envolvam manejo do solo e sistema de rotação de culturas

como sendo estratégias isoladas de controle de doenças. O manejo de agentes necrotróficos presentes nos restos culturais do milho pela adoção da rotação de culturas passa pelo entendimento conceitual do que de fato entende-se por rotação, sucessão ou sequência e monocultura. E o manejo do solo no sistema plantio direto necessita da rotação e da sucessão visando suprimir o hospedeiro (substrato nutricional = palha, resteva, restos culturais) e desenvolver a supressividade do solo. Há necessidade de alcançar um equilíbrio no sistema de produção para manter a densidade e o potencial de inóculo dos patógenos a um nível aceitável que não provoque danos na cultura do milho. Por isto é importante desenvolver estudos no que se refere à sobrevivência (fontes de inóculo) dos patógenos e sua relação com sistemas de cultivo regionalizados.

Referências

ANDRIOLI, C. F.; CASA, R. T.; KUHNE, P. R.; BOGO, A.; ZANCAN, R. L.; REIS, E. M. Timing of fungicide application for the control of gibberella ear rot f maize. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, DF, 2016. No prelo.

BAMPI, D.; CASA, R. T.; BOGO, A.; SANGOI, L.; SACHS, C.; BOLZAN, J. M.; PILETTI, G. J. Desempenho de fungicidas no controle da mancha-de-macrospora na cultura do milho. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 38, n. 4, p. 319-322, 2012.

CASA, R. T.; BLUM, M. M. C.; FONTOURA, S. M. V. Efeito do pré-cultivo de aveia branca e nabo forrageiro sobre a incidência de podridões do colmo, de grãos ardidos, de fungos nos grãos e sobre o rendimento de grãos de diferentes híbridos de milho.

Summa Phytopathologica, Botucatu, v. 31, n. 3, p. 241-246, 2005.

CASA, R. T.; REIS, E. M.; ZAMBOLIM, L. Decomposição dos restos culturais do milho e sobrevivência saprofítica de *Stenocarpella macrospora* e *Stenocarpella maydis*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 355-361, 2003.

CASA, R. T.; SACHS, C.; AGOSTINETTO, L.; CECCON, G. Produção de peritécios de *Gibberella zeae* em táxons de gramíneas. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 35, p.136, 2010.

CASA, R. T.; MOREIRA, E. N.; BOGO, A.; SANGOI, L. Incidência de podridões do colmo, grãos ardidos e rendimento de grãos em híbridos de milho submetidos ao aumento na densidade de plantas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 33, n. 4, p. 353-357, 2007.

DERPSCH, R. Adubação verde e rotação de culturas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO, 3., 1985, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: Fundação ABC, 1985. p. 85-104.

JULIATTI, F. C.; ZUZA, J. L. M. F.; SOUZA, P. P. de; POLIZEL, A. C. Efeito do genótipo de milho e da aplicação foliar de fungicidas na incidência de grãos ardidos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 34-41, 2007.

KHONGA, E. B.; SUTTON, J. C. Inoculum production and survival of *Gibberella zeae* in maize and wheat residues. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ottawa, v. 10, n. 3, p. 232-239, 1988.

MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRPE, 2005. 388 p.

NERBASS, F. R.; CASA, R. T.; KUHNEM, P. R.; BOGO, A.; SANGOI, L.; FINGSTAG, M. D.; VIERIA JUNIOR, J. A.; STOLTZ, J. C. Evaluation of *Fusarium graminearum* inoculation methods in maize ears and hybrid reaction to Gibberella ear rot under Southern Brazilian environmental conditions. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 144, n. 1, p. 45-53, 2016.

PANISON, F.; SANGOI, L.; CASA, R. T.; DURLI, M. M. Harvest time, stem and grain sensibility of maize hybrids with contrasting growth cycles. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p. 2403-2411, 2016.

PARRY, D. W.; JENKINSON, P.; MCLEOD, L. Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals: a review. **Plant Pathology**, Oxford, v. 44, p. 207-238, 1995.

PILETTI, G. J.; CASA, R. T.; BAMPI, D.; STOLS, J. C.; SANGOI, L.; MICHELUTTI, D. Reação de híbridos de milho à mancha-de-macrospora. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 40, n. 1, p. 24-28, 2014.

PINTO, N. F. J. A. Controle químico de doenças foliares do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 1, p. 34-138, 2004.

PRUSSIN, A.; LI, Q.; MALLA, R. Monitoring the long-distance transport *Fusarium graminearum* from field-scale sources of inoculum. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 98, p. 504-511, 2014.

REID, L. M.; HAMILTON, R. I. Effect of inoculation position, timing, macroconidial concentration and irrigation on resistance of maize to *Fusarium graminearum* infection through kernels. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ottawa, v. 18, p. 279-285, 1996.

REIS, E. M. Quantificação de propágulos de *Gibberella zeae* no ar através de armadilhas de esporos. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 13, p. 324-327, 1988.

REIS, E. M.; CASA, R. T. Sobrevivência de fitopatógenos. In: VALE, F. X. R., JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. (Org.). **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004. p. 337-364.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; BRESOLIN, A. C. R. **Manual de diagnose e controle de doenças do milho**. 2. ed. rev. atual. Lages: Graphel, 2004. 144 p.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; BIANCHIN, V. Controle de doenças de plantas pela rotação de culturas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 37. n. 3, p. 85-91, 2011.

RIBEIRO, N. A.; CASA, R. T.; BOGO, A.; SANGOI, L.; MOREIRA, E. N.; WILLE, L. A. Incidência de podridões do colmo, grãos ardidos e produtividade de grãos de genótipos de milho em diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p.1003-1009, 2005.

SANTOS, H. P. dos, REIS, E. M.; DERPSCH, R. Rotação de culturas. In: PLANTIO direto no Brasil. Passo Fundo. Aldeia Norte, 1993. p. 85-103.

SUTTON, J. C. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ontario, v. 4, p.195-209, 1982.

TRENTO, S. M.; IRGANG, H. H.; REIS, E. M. Efeito da rotação de culturas, da monocultura e da densidade de plantas na incidência de grãos ardidos em milho. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, p. 609-613, 2002.

Capítulo 13

Manejo Integrado de Pragas no Sistema de Produção de Grãos de Terras Baixas

Ana Paula Schneid Afonso da Rosa

Introdução

No Rio Grande do Sul, as áreas de terras baixas abrangem 4,6 milhões hectares correspondendo a 17,27% da área total do Estado. Dos três milhões de hectares estruturados para o cultivo de arroz irrigado aproximadamente um 1,1 milhão é ocupado anualmente com a cultura, contribuindo com mais de 60% da produção nacional do cereal (IBGE, 2016), enquanto o restante da área permanece em pousio, geralmente ocupado com pecuária de corte extensiva atividade que, em geral, apresenta níveis baixos de produtividade. Os resultados obtidos com este sistema de produção agropecuário levaram à necessidade da busca de sistemas alternativos, como o cultivo mínimo para o arroz irrigado e a rotação de culturas com milho e soja.

A rotação entre as culturas de arroz e soja em áreas de várzea, que apresenta como vantagens a redução de plantas daninhas, pela utilização de herbicidas não seletivos, como o glifosato, a interrupção no ciclo de pragas e doenças, possibilidade de implantação do arroz em sistema plantio direto e a incorporação

de nitrogênio (N) ao sistema, pela fixação biológica de N₂ (SILVA; SCHOENFELD, 2013), tem se consolidado nos últimos anos no RS, pois além das vantagens acima citadas, a alternância gramínea-leguminosa abre caminho para recuperar a sustentabilidade financeira das áreas de várzea usadas nos últimos 100 anos para o cultivo exclusivo de arroz irrigado, por inundação. De acordo com o Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA), a soja em rotação com arroz irrigado passou de 11.150 ha na safra 2009/10 para 284.127 ha na safra 2014/15 (INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ, 2016), no entanto, essa área ainda   relativamente pequena, considerando-se o potencial e a disponibilidade de terras baixas no Estado.

O cultivo de milho em terras baixas, tanto para grão, quanto para silagem, se constitui também em uma alternativa de rotação com o arroz irrigado. Além de aportar altas quantidades de palhada (milho grão), o sistema radicular dessa cultura explora camadas mais profundas do solo, trazendo nutrientes   superfície e melhorando a porosidade do solo. Além disso, o cultivo de milho prevê a aplicação de herbicidas com alto controle sobre o arroz vermelho e outras invasoras do arroz (INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ, 2016).

O sistema de produção de gr os em áreas tipicamente de plantio de arroz irrigado, principalmente, no que se refere às culturas de soja e milho promove uma oferta contínua de alimento a insetos pol fagos (SANTOS, 2001). A sucessão de culturas e/ou o plantio escalonado prolongam no tempo a sobrevivência de insetos, aumentando o número de gerações nesse agroecossistema. Essa situação favorece o processo migratório de insetos entre lavouras de espécies vegetais semelhantes ou distintas, implantadas em diferentes épocas,

constituindo a chamada ponte verde (BOREGAS et al., 2013; AFONSO-ROSA et al., 2014). No Rio Grande do Sul, por causa das condições climáticas, de setembro a março, a ocupação da lavoura é com arroz irrigado por inundação, de abril a outubro com trigo, cevada, aveia ou azevém, e nos meses de novembro a março, como milho ou soja, constituindo essa a paisagem agrícola da região Sul do RS. Na metade Sul do RS o plantio   realizado na época recomendada, ou seja, não   realizado cultivo de “safrinha”, por causa das condi oes edafoclimáticas da região.

A sustentabilidade do sistema de produ o agrícola   mensurada através do balanço energético positivo, através da explora o dos recursos naturais e produtividade por longo prazo, em condi oes de manuten o e/ou melhoria do ambiente com o mínimo de impactos negativos, otimiza o da produ o com redu o do uso de insumos externos, no entanto, a ocorrência de insetos não tem contribuído para que esses indicadores sejam atendidos.

Evolu o da Ocorrência de Pragas

A teoria da coevolu o, proposta por Roughgarden (1976), propõe que a adaptabilidade de cada genótipo depende das densidades populacionais e da composi o genética da própria espécie e da espécie com a qual interage, evidenciando que mudanças nas práticas culturais e nas plantas levam a altera oes na ocorrência e intensidade de pragas.

Nesse sentido, a ocorrência de pragas tem uma liga o direta com o sistema de plantio, até a década de 70 predominava a mecaniza o intensiva para preparo de solo, onde era realizada,

na aração, gradagem, semeadura e cultivos subsequentes necessários para o controle de plantas daninhas. Em 1971, o produtor Herbert Arnold Bartz, de Rolândia-PR, começou a buscar alternativas ao sistema convencional, surgindo, então, o plantio direto, que é caracterizado pela manutenção, durante o ano todo, de plantas em desenvolvimento e de raízes vivas. As plantas promovem a cobertura permanente do solo, por meio de sua parte aérea (viva) ou de seus resíduos vegetais (cobertura morta ou palha). Após as mudanças no sistema de plantio, tivemos introdução dos cultivos transgênicos, iniciando pela soja RR em 1994, milho, em 1997, e recentemente, em 2013, soja Bt.

Todas essas mudanças trouxeram consequências na ocorrência de pragas, principalmente em soja e milho. Em soja, desde a implantação da cultura no Brasil, no final da década de 1960, até o início do milênio, a fauna associada à leguminosa aumentou de dez para 37 espécies, entre insetos e outros artrópodes (PANIZZI; CORRÊA-FERREIRA, 1997; HOFFMANN-CAMPO et al., 2003). Em milho, *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) considerada a principal praga do milho nas Américas (WISEMAN et al., 1966), no Brasil é relatada como praga desde 1953 (LEIDERMAN; SAUER, 1953), atualmente mantém seu status de praga, no entanto, *Diabrotica speciosa* (VIANA, 2010), *Dichelops* sp. (WAQUIL; OLIVEIRA, 2009) e *Rhopalosiphum maidis* (WAQUIL et al., 1996) têm se destacado na cultura. O percevejo-barriga-verde ocorre em soja no final do ciclo da cultura e, devido ao não controle, por sua incidência ser baixa, acaba por causar danos em milho, onde se posiciona com a cabeça voltada para baixo, na base do colmo do hospedeiro. Já o pulgão-do-milho era considerado como praga secundária na cultura, mas, com o incremento do cultivo do milho safrinha na

última década, os danos causados por esse inseto aumentaram em importância, observando-se problemas maiores em cultivares de milho-doce, em consequência da transmissão do vírus-do-mosaico-anão (PEÑA-MARTÍNEZ, 1992).

Principais Insetos no Sistema de Produção

A seguir serão apresentados os danos das principais pragas que ocorrem no sistema de produção de grãos de terras baixas no Rio Grande do Sul.

***Spodoptera* spp**

O gênero *Spodoptera* Guenée, 1852, pertence à Noctuidae, que é a família mais numerosa da ordem Lepidoptera (LAFONTAINE; SCHMIDT, 2010). O gênero inclui 30 espécies das quais pelo menos 15 são consideradas pragas-chave de plantas cultivadas (ANGULO et al., 2008). De acordo com Pogue (2002), no Brasil há registro da ocorrência de nove espécies em praticamente todos os Estados, sendo: *Spodoptera albula* (Walker, 1857); *Spodoptera androgea* (Stoll, 1782); *Spodoptera cosmioides* (Walker, 1858); *Spodoptera dolichos* (Fabricius, 1794); *Spodoptera eridania* (Stoll, 1782); *Spodoptera exigua* (Hübner, 4 1808); *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797), *Spodoptera marima* (Schaus, 1904) e *Spodoptera ornithogalli* (Guenée 1852).

O complexo de lagartas está presente e ocorre com frequência no sistema de produção de grãos, arroz irrigado, milho e soja é composto por *S. frugiperda*, *S. cosmioides* e *S. eridania* (MARTINS et al., 2004; BUENO et al., 2010; AFONSO-ROSA et al., 2011; HELLWIG et al., 2014). Os adultos dessas espécies estabelecem um processo migratório entre lavouras formadas

por espécies vegetais semelhantes, mas implantadas em épocas diferentes, como também entre espécies vegetais diferentes (TEODORO et al., 2013).

No RS, já foi confirmada a existência de raças de *S. frugiperda* associadas às culturas do milho e do arroz (BUSATO et al., 2004a), indicando que estes insetos são altamente especializados, entretanto, a especificidade hospedeira não impede que se alimentem de capim-arroz, importante planta daninha da cultura do arroz irrigado e sorgo (BUSATO et al., 2004b). No entanto, a preferência é por plantas de milho, independentemente do biótipo, provavelmente, em razão da presença de aminoácidos tanto essenciais quanto não essenciais em elevados teores, que são estimulantes para a alimentação das lagartas de *S. frugiperda* (HEDIN et al., 1990). Em lavouras de arroz irrigado as lagartas de *S. frugiperda* ou lagarta da folha, como é conhecida pelos produtores, corta os colmos ao nível do solo, desfolha as plantas mais desenvolvidas e causa danos às flores e panículas. O período crítico de ataque está compreendido entre a emergência das plantas e a inundação da lavoura, quando o inseto corta os colmos rente ao solo (**Figura 1**) (MARTINS et al., 2004). De acordo com Grützmacher (1998), para cada lagarta de 3º instar (± 1 cm) encontrada em média/m², é esperada uma redução de 1% na produção de grãos, em áreas infestadas com capim-arroz a incidência do inseto tende a ser maior.



Figura 1. Dano de *Spodoptera frugiperda* em arroz irrigado. Capão do Leão-RS. Safra 2010/2011. Foto: Ana Paula Afonso da Rosa

No milho a lagarta-do-cartucho (**Figura 2**) pode ocorrer desde a fase de plântula até as fases de pendoamento e espigamento, raspando o limbo foliar, ainda quando jovem, causando o sintoma de folhas raspadas. A seguir, ataca todas as folhas centrais da região do cartucho, podendo destruí-lo totalmente (GRÜTZMACHER et al., 2000).



Figura 2. Lagarta de *Spodoptera frugiperda*. Foto: Paulo Lanzetta

Em terras baixas, em híbridos convencionais, o dano à espiga tem sido frequente a partir da fase de pendramento (**Figura 3A**). Quando desaparece o cartucho, que é substituído pelo pendão floral, a lagarta penetra na espiga em busca de proteção e para alimentar-se, podendo impedir a formação dos grãos ou danificá-los diretamente, ou ainda, alimentar-se da ponta da espiga (**Figura 3B**).

No agroecossistema de terras baixas, anualmente, a população de *S. frugiperda* tem ultrapassado o nível de controle econômico, induzindo aplicações sucessivas de inseticidas químicos (cinco a seis na mesma área), a maioria com resultados negativos, devido a inadequações na tecnologia de aplicação, principalmente pulverizações aéreas em época na qual as lagartas já se encontram no interior dos cartuchos. O tratamento de sementes, também utilizado para o controle do inseto (AZEVEDO et al., 2004), no entanto, não tem proporcionado resultados satisfatórios, sendo mais eficaz quando o inseto ocorre logo após a emergência das plantas (CRUZ, 2002).

Estudos conduzidos por Afonso-Rosa et al. (2011) evidenciaram que o tratamento de sementes oferece baixa proteção ao ataque de *S. frugiperda*, sendo eficiente somente com imidacloprido e tiametoxam, até dez dias após a emergência das plantas.



Figura 3. Lagarta de *Spodoptera frugiperda* no pendão (A) e na espiga de milho (B). Fotos: Ana Paula Afonso da Rosa

Quanto ao controle via pulverização foliar, estes autores constataram que flubendiamida e cipermetrina reduziram significativamente o índice de plantas danificadas.

S. frugiperda tem causado danos à soja, em muitas regiões do Brasil. Nessa cultura, alimentam-se das folhas, cortam o caule tenro de plântulas, provocando danos em áreas extensivas, com necessidade de replantio. Também pode consumir a casca na base de plantas de soja, causando sintomas que podem ser confundidos com os de outras pragas (GOMEZ, 2009; VELOSO, 2010).

S. cosmioides e *S. eridania* são consideradas pragas secundárias, no entanto, vêm ocorrendo em lavouras de milho (**Figura 4**) e soja, causando severos danos e elevando

os prejuízos econômicos (BUENO et al., 2010; HELLWIG et al., 2014).



Figura 4. Lagarta de *Spodoptera cosmioides* em milho. Foto: Ana Paula Afonso da Rosa

Em soja, estes insetos, inicialmente, raspam a superfície das folhas e depois passam a se alimentar de toda folha, vagens e grãos, permitindo também a entrada de microrganismos. Os surtos, em algumas regiões, têm sido atribuídos à excessiva aplicação de inseticidas de amplo espectro, que acabam por reduzir ou eliminar os inimigos naturais dessas espécies.

Na cultura do milho, já foi constatado grande ataque dessas lagartas até mesmo em cultivos de milho *Bt* nas regiões de Carira-SE e Paripiranga-BA, na safra 2013. No entanto, o inseto não consegue completar a fase jovem somente com essa dieta. A praga pode se alimentar de outras plantas hospedeiras que se encontram nas lavouras e quando essas plantas entram em senescência (natural ou aplicação de herbicidas) é provável que as lagartas migrem para as plantas de milho na busca de

alimento e assim algum dano pode ser ocasionado (TEODORO et al., 2013).

Helicoverpa armigera

Embora *H. armigera* seja uma praga de recente introdução no País, devido às características biológicas, apresenta elevado potencial de dano às culturas. De acordo com Lammers e Macleod (2007) os danos causados pela *H. armigera* nas diversas culturas que ataca chega anualmente a 5 bilhões de dólares. As lagartas, além de se alimentarem do fruto, causam perfurações visíveis e alimentam-se de sementes em desenvolvimento.

De acordo com Ávila et al. (2013), além da lagarta-do-cartucho as lagartas de *Helicoverpa* spp. têm causado prejuízo nos cultivos de milho. Em Campo Mourão, em 2013, foi constatada alta incidência de lagartas de *H. armigera*, causando danos em plantas de soja safrinha e em plantas de milho Bt. Inicialmente, as lagartas se alimentam na soja tiguera, e, após a dessecação da soja, migraram para as plantas do milho. Em algumas regiões dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, vários produtores de milho safrinha também relataram a ocorrência de lagartas de *Helicoverpa* sp. em lavouras de milho Bt, notadamente na cultivar transgênica Herculex (Hx), sendo também observada certa preferência do inseto por materiais que apresentavam espigas com estigmas claros.

Elasmopalpus lignoselus

No Brasil, o inseto causa sérios danos a várias culturas de importância econômica, como milho, cana-de-açúcar, trigo, soja, arroz, feijão, sorgo, amendoim, algodão, dentre outras. A broca-do-colo corta e broqueia o colo da planta (**Figura 5**), no

início do desenvolvimento da soja, cujo ataque se apresenta de forma irregular e, desse modo, causa redução no estande de plantas (LINK; SANTOS, 1974).



Figura 5. Sintoma de *Elasmopalpus lignosellus* em soja. Foto: Ana Paula Afonso da Rosa

Prefere solos arenosos e, para o seu estabelecimento na lavoura, necessita de um período de seca prolongado durante as fases iniciais da cultura, pois o teor de umidade do solo influencia na intensidade de ataque (HOFFMANN-CAMPO et al., 2000). Silva (2007) relata que para a cultura da soja *E. lignosellus* ocorre praticamente o ano todo, com um pico populacional de janeiro a março.

O tipo e a extensão do dano variam de acordo com a fase de crescimento da soja, visto que na emergência da planta a origem do primeiro trifólio, a presença da broca pode matar a muda. Uma lagarta pode danificar várias plantas, de 3 a 5, pois seu movimento é através do solo e conseqüentemente acaba atacando plantas vizinhas e reduzindo o número por linha de plantio. Se o ataque ocorrer em fases avançadas de

desenvolvimento, as plantas se tornam fracas e vulneráveis sob a ação de chuvas, vento ou implementos agrícolas (MOLINARI; GAMUNDI, 2010).

Em milho, ataques mais severos ocorrem quando a praga já estava presente na lavoura no momento da semeadura, podendo acarretar na necessidade de replantio. Já em situações nas quais as larvas são originárias de posturas feitas no próprio milho na fase de germinação, os danos são menores, mas podem chegar a 30% no caso de períodos prolongados de seca. No Sul do Brasil, em condições normais de clima, a lagarta-elasmó só causa problemas se o milho for semeado na presença da lagarta.

Os fatores que favorecem o aumento populacional de elasmó, causando danos nas culturas, estão associados a altas temperaturas, solos arenosos e de fácil drenagem, e períodos de seca. Práticas culturais também afetam a maior ou menor ocorrência da praga. A umidade alta do solo é o principal fator no manejo de elasmó, atuando negativamente em qualquer estágio do ciclo biológico da praga. Porém, a sua importância é maior no início da fase larval, causando alta mortalidade. À medida que a lagarta se desenvolve, a mortalidade decresce. A alta umidade do solo também afeta negativamente o comportamento dos adultos na seleção do local para oviposição e na eclosão das lagartas. As mariposas preferem depositar os ovos em solos mais secos. Para que a umidade do solo por si só mantenha os danos causados pela praga em níveis abaixo de perda considerada econômica, é necessário que a lavoura esteja no período de suscetibilidade, com a umidade ao redor da capacidade de campo. A lavoura de milho somente é atacada pela lagarta até atingir uma altura média de 35 cm.

Normalmente o agricultor percebe o ataque da praga através das inúmeras falhas na lavoura. O ataque é caracterizado pelo murchamento e seca das folhas centrais, que se destacam com facilidade ao serem puxadas, e em seguida ocorre a morte da planta.

Diabrotica speciosa

No Brasil, a partir da década de 1920, a presença de adultos de *D. speciosa* foi referida em quase todos os estados brasileiros, notadamente atacando a parte aérea das diferentes espécies de plantas cultivadas. Nos EUA, algumas espécies de crisomelídeos, pertencentes ao gênero *Diabrotica*, são consideradas como as principais pragas da cultura do milho.

Fatores como o sistema de produção, novas cultivares, manejo do solo, rotação com outras culturas, baixo índice de parasitismo e a proibição de inseticidas clorados para aplicação no solo, foram determinantes no desenvolvimento e adaptação da praga à cultura do milho e da batata ao longo do tempo. No Brasil, ainda não foram quantificados os prejuízos que esta praga causa às lavouras.

A população de adultos de *D. speciosa* tem aumentado muito nos últimos anos, obrigando os agricultores a realizarem frequentes aplicações de agroquímicos, no sentido de minimizar o problema. A falta de estudos básicos, relacionados à bioecologia e danos deste inseto, tem dificultado o estabelecimento de estratégias visando o seu controle em condições de campo.

A larva de *D. speciosa* pode causar danos severos ao sistema radicular das plantas. O consumo de raízes reduz a capacidade

da planta em absorver água e nutrientes, tornando-a menos produtiva como também mais suscetível às doenças radiculares e ao tombamento, levando a perdas na produção (KHALER et al., 1985). O prejuízo causado pelas larvas para as culturas do milho, trigo, outros cereais e batatinha tem sido expressivo nos estados da região Sul do Brasil e em algumas áreas das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. No Sul, em áreas onde os solos são geralmente ricos em matéria orgânica e maior retenção de umidade, a biologia das larvas é favorecida. São registradas perdas no milho variando entre 10% e 13%, quando ocorre alta infestação desta praga (VIANA, 2010). O incremento da área de milho “safrinha”, as larvas do inseto desencadeiam danos consideráveis ao sistema radicular dessa gramínea, especialmente em sistemas de plantio direto.

O controle deste inseto-praga é baseado quase exclusivamente no emprego de inseticidas químicos, embora para adultos tenha se mostrado pouco eficiente, já que o inseto, em razão de sua característica polífaga, se dispersa com facilidade nos cultivos, proporcionando frequentes reinfestações quando as condições ambientais favorecem o aumento populacional da praga. Da mesma forma, o controle preventivo de larvas, através do tratamento de sementes, também tem sido considerado ineficaz, especialmente na cultura do milho. Como as larvas causam danos nesta cultura durante o período de um a dois meses após a semeadura, o inseticida utilizado via semente não tem apresentado persistência no solo para assegurar proteção adequada ao sistema radicular (GASSEN, 1994).

De acordo com Afonso-Rosa et al. (2013), a semelhança entre os danos de adultos de *D. speciosa* alimentando-se das folhas causando, inicialmente, danos cujos sintomas são de folhas

raspadas, muito semelhantes aos causados pela lagarta-do-cartucho (**Figura 6**) nos estágios iniciais e posteriormente, com o aumento do consumo de *D. speciosa*, podendo reduzir significativamente a área da folha, pode levar a interpretações errôneas por parte de produtores e técnicos, ocasionando em medidas de controle inadequadas



Figura 6. Adulto de *Diabrotica speciosa* causando dano em milho. Foto: Ana Paula Afonso da Rosa

***Dichelops* sp**

A introdução de uma nova espécie vegetal, de uma variedade ou, mesmo, a adoção de alguma mudança importante nas práticas culturais, pode propiciar que insetos considerados historicamente como de importância secundária adquiram a categoria de pragas primárias. Com a adoção do sistema plantio direto e com o aumento da semeadura de milho em segunda safra, o percevejo barriga-verde *D. melacanthus* se tornou uma praga-chave no início do desenvolvimento das plantas de milho (CHOCOROSQUI; PANIZZI, 2004).

O percevejo barriga-verde é considerado praga secundária da soja na região Centro-Sul do Brasil, com registros das espécies *Dichelops furcatus* (Fabricius) e *Dichelops melacanthus* (Dallas). A distribuição geográfica dos percevejos do gênero *Dichelops* envolve os estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, além da região sudeste do Estado de São Paulo. A espécie encontrada em milho safrinha, no Estado de Mato Grosso do Sul, foi identificada como *D. melacanthus* (GOMEZ; ÁVILA, 2001).

De acordo com Pelissari et al. (2015), em função da migração desta praga de lavouras de soja para as lavouras de milho, os plantios em épocas normal e tardia são os mais atacados. Na safrinha, o manejo correto dessa praga é muito complicado, já que o produtor está colhendo a soja, plantando o milho e, muitas vezes não dispõe de mão de obra suficiente para o manejo do percevejo. Em caso de falha no controle desta praga, o produtor corre o risco de ter que replantar toda a sua lavoura, em função do hábito da praga, que se mantém escondida enterrada ao lado do colmo do milho, abaixo da palhada ou em plantas daninhas remanescentes, há dificuldade no contato “gota/alvo” e, por consequência, o percevejo não é atingido com o inseticida para o seu controle. Além disso, existe grande limitação de produtos para o controle de percevejo em pós-emergência. Há relatos de pesquisas sobre tolerância/resistência que, aliadas ao hábito da praga, somam negativamente para uma boa eficiência de controle.

Rhopalosiphum maidis

O pulgão-do-milho *Rhopalosiphum maidis* é encontrado em praticamente todas as regiões temperadas e tropicais do mundo. No Brasil, é encontrado principalmente em regiões onde se cultivam o sorgo e o milho “safrinha”, causando danos econômicos (GOUSSAIN, 2001). Era considerado praga secundária, pela ação eficiente dos inimigos naturais (predadores e parasitoides), no entanto, nos últimos anos passou a atacar a cultura com mais frequência e intensidade, tornando-se um problema. Os pulgões são responsáveis pela sucção da seiva, além de proporcionar o desenvolvimento da fumagina e serem vetores de viroses, como o mosaico. Os maiores danos ocorrem sob condições favoráveis para transmissão do vírus do mosaico. Neste caso, mesmo sob densidades muitas vezes não detectáveis podem ocorrer perdas significativas, pois o principal vetor é a forma alada e o vírus é de transmissão é estiletar, ou seja, transmite de plantas doentes para sadias simplesmente por via mecânica, através da picada de prova.

A mudança no status de praga ocorreu devido a fatores como as mudanças nas condições climáticas, falta de rotação de culturas e o uso inadequado de inseticidas com consequente redução do número de inimigos naturais de diversos insetos que atacam diferentes culturas, dentre elas, a do milho.

Considerações

A busca por cultivares ou híbridos mais produtivos, trouxeram ao longo tempo grandes vantagens competitivas, e colocaram o agronegócio brasileiro em posição de destaque no cenário mundial, no entanto, a redução da rusticidade das plantas,

decorrente do melhoramento genético, aumentou o dano ocasionado pelas pragas. Somam-se a este fato as mudanças no sistema de plantio, característico de cada região agrícola do País.

Podemos ainda citar como exemplos de pragas com potencial de dano, a ocorrência de mosca-branca *Bemisia* sp. em soja, milho e algodão, sendo esta uma praga tipicamente de soja e com dificuldade crescente no controle; o complexo de percevejos, nas culturas de soja, milho, trigo e algodão, tem aumentado a importância pela introdução de genes *Bt* nas culturas do milho, algodão e soja, desencadeando dificuldade no controle por tolerância e resistência.

A sucessão de cultivos, cultivos escalonados ou mesmo a paisagem agrícola característica de determinada região pode levar a um colapso, em que as estratégias preconizadas pelo Manejo Integrado de Pragas (MIP), se não usadas de maneira adequada, permitirão que as pragas proporcionem grandes prejuízos à agricultura. Neste cenário, o monitoramento e a identificação assumem importância cada vez maior, devendo ser incentivados.

Referências

AFONSO-ROSA, A. P.; MARTINS, J. F. S.; TRECHA, C. O. Avaliação de danos da lagarta-do-cartucho à cultura do milho com base no monitoramento de plantas atacadas em três safras agrícolas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 21-27, 2011.

AFONSO-ROSA, A. P. S.; TRECHA, C. O.; LIMA, C. V.; TEODORO, J. S.; MEDINA, L. B.; HELLWIG, L. **Flutuação populacional e danos de *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae) na parte aérea do milho na safra 2011/2012 em Capão do Leão, RS.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. 40 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico, 308).

AFONSO-ROSA, A. P. S.; TEIXEIRA, H. B.; MEDINA, L. B.; HELLWIG, L.; FIPKE, M. V. **Ponte Verde para *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em Terras Baixas.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014. 5 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico, 317).

ANGULO, A. O.; OLIVARES, T. S.; WEIGERT G. T. H. **Estados inmaduros de lepidópteros noctuidos de importancia agrícola y forestal en Chile y claves para su identificación (Lepidoptera: Noctuidae).** 3. ed. Concepción: Universidad de Concepción, 2008. 154 p.

ÁVILA, C. J.; VIVAN, L. M.; TOMQUELSKI, G. V. **Ocorrência, aspectos biológicos, danos e estratégias de manejo de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) nos sistemas de produção agrícolas.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 12 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular Técnica, 23).

AZEVEDO, R.; GRÜTZMACHER, A. D.; LOECK, A. E.; SILVA, F. F.; STORCH, G.; HERPICH, M. Efeito do tratamento de sementes e aplicações foliares de inseticidas em diferentes volumes de calda, no controle de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), nas culturas do milho e sorgo em

agroecossistema de várzea. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 10, n. 1, p. 71-77, 2004.

BOREGAS, K. G. B.; MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; FERNANDES G. W. Estádio de adaptação de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p. 61-70, 2013.

BUENO, A. F.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BUENO, R. C. O. de F. Controle de pragas apenas com o MIP. **A Granja**, Porto Alegre, v. 66, n. 33, p. 76-78, 2010.

BUSATO, G. R.; GRÜTZMACHER, A. D.; OLIVEIRA, A. C.; VIEIRA, E. A.; ZIMMER, P. D.; KOPP, M. M.; BANDEIRA, J. M.; MAGALHÃES, T. Análise da estrutura e diversidade molecular de populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) associadas às culturas de milho e arroz no Rio Grande do Sul. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 33, n. 6, p. 709-716, 2004a.

BUSATO, G. R.; GRÜTZMACHER, A. D.; GARCIA, M. S.; GIOLO, F. P.; STEFANELLO JÚNIOR, G. J.; ZOTTI, M. J. Preferência para alimentação de biótipos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) por milho, sorgo, arroz e capim-arroz. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 10, p. 215-218, 2004b.

CHOCOROSQUI, V. R.; PANIZZI, A. R. Impact of cultivation systems on *Dichelops melacanthus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) population and damage and its chemical control

on wheat. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 33, p. 487-492, 2004.

CRUZ, I. Controle biológico aplicado de lepidópteros-pragas do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 19., 2002, Manaus. **A entomologia no século 21 e o manejo da biodiversidade: palestras**. Manaus: INPA: Sociedade Entomológica do Brasil, 2002. 1 CD-ROM.

GASSEN, D. N. **Pragas associadas à cultura do milho**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1994. 92 p.

GOMEZ, S. A. É tempo de preocupação com as pragas da soja. **Revista Campos e Negócio HF**, Uberlândia, v. 5, n. 43, p. 2, 2009.

GOMEZ, S. A.; ÁVILA, C. J. Barriga Verde na safrinha. **Cultivar Grandes Culturas**, Pelotas, v. 26, p. 28-29, 2001. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/site/content/artigos/artigos.php?id=536>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

GOUSSAIN, M. M. **Efeito da aplicação do silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) e do pulgão-da-folha *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae)**. 2001. 64 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GRÜTZMACHER, A. D. **Avaliação de danos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) no arroz irrigado em cultivar precoce**. 1998. 132 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

GRÜTZMACHER, A. D.; MARTINS, J. F. S.; CUNHA, U. S. Insetos-pragas das culturas do milho e sorgo no agroecossistema de várzea. In: PARFITT, J. M. B. **Produção de milho e sorgo na várzea**. Pelotas: Embrapa de Clima Temperado, 2000. p. 87-101. (Embrapa de Clima Temperado. Documentos, 74).

HEDIN, P. A.; WILLIAMS, W. P.; DAVIS, F. M.; BUCKLEY, P. M. Roles of amino-acids, protein, and fiber in leaf-feeding resistance of corn to the fall armyworm. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 16, n. 6, p. 1977-1995, 1990.

HELLWIG, L.; MEDINA, L. B.; LONDERO, E.; SILVA, P. M. ; AFONSO-ROSA, A. P. S. Ocorrência de *Spodoptera* spp. em milho BG 7060 na safra 2013/2014 em Capão do Leão, RS. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 58.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 41., 2013, Pelotas. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2013/2014 e 2014/2015**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

HOFFMANN-CAMPO, C. B.; MOSCARDI, F.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; OLIVEIRA, L. J.; SOSA-GOMEZ, D. R.; PANIZZI, A. R.; CORSO, I. C.; GAZZONI, D. L.; OLIVEIRA, E. B. **Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado**. Londrina: Embrapa Soja, 2000. 70 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 30).

HOFFMANN-CAMPO, C. B.; OLIVEIRA, L. J.; MOSCARDI, F.; GAZZONI, D. L.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; LORINI, I.; BORGES, M.; PANIZZI, A. R.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; CORSO, I. A. Integrated pest management in Brazil. In: MAREDIA, K. M.; DAKOUO, D.; MOTA-SANCHEZ, D. (Ed.). **Integrated pest management in the global arena**. Trowbridge: Cabi Publishing: Crowmwell Press, 2003. p. 285-299.

IBGE. **Estatística da produção agrícola**. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201602.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2016.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Levantamento de área semeada com soja em terras baixas no Rio Grande do Sul, 2015**. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/6070/sistemas-integrados-de-producao-agropecuaria-em-terras-baixas-e-tema-de-dia-de-campo-em-cristal-2016>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

KHALER, A. L.; OLNES, A. E.; SUTTER, G. R.; DYBING, C. D.; DEVINE, O. J. Root damage by corn rootworm and nutrient content in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, n. 5, p. 769-774, 1985.

LAFONTAINE, J. D.; SCHMIDT, B. C. Annotated check list of the Noctuoidea (Insecta, Lepidoptera) of North America north of Mexico. **Zookeys**, v. 40, p. 1-239, 2010.

LAMMERS, J. W.; MACLEOD, A. **Report of a pest risk analysis: *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808)**. [S.l.: s.n.], 2007. Disponível em: <<http://www.fera.defra.gov.uk/plants/plantHealth/pestsDiseases/documents/helicoverpa.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2016.

LEIDERMAN, L.; SAUER, H. F. G. A lagarta dos milharais (*Laphygma frugiperda*, Abbot e Smith, 1797). **O Biológico**, São Paulo, v. 19, p. 105, 1953.

LINK, D.; SANTOS, O. S. Resposta de dez variedades de soja ao ataque da broca do colo, *Elasmopalpus lignosellus* Zeller

(Lepidoptera: Pyralidae: Phycitinae). **Revista do Centro Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 4, n. 3, p. 217-220, 1974.

MARTINS, J. F. da S.; GRÜTZMACHER, A. D.; CUNHA, U. S. da. Descrição e manejo integrado de insetos-praga em arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 635-675.

MOLINARI, A. M.; GAMUNDI, J. C. ***Elasmopalpus lignosellus* (Zeller), un barrenador esporádico en soja**. Oliveros: INTA-EEA Oliveros, 2010. 3 p. (INTA-EEA Oliveros. Para Mejorar la Produccion, 45).

PANIZZI, A. R.; CORRÊA-FERREIRA, B. S. Dynamics of insect fauna adaptation to soybean in the tropics. **Trends in Entomology**, Kerala, v. 1, p. 71-88, 1997.

PELISSARI, A.; HAUAGGE, T. S.; MACHINSKI, P. **Monitoramento e controle de percevejo barriga verde na cultura do milho safrinha**. Londrina: Pioneer Sementes, 2015. Blog Agronegócio em Foco. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/blog/24/monitoramento-e-controle-de-percevejo-barriga-verde-na-cultura-do-milho-safrinha>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

PEÑA-MARTÍNEZ, M. R. Biología de áfidos y su relación con la transmisión de virus. In: URIAS, C. M.; RODRÍGUEZ, M.; ALEJANDRE, T. A. (Ed.). **Afidos como vectores de virus en México**. México: Centro de Fitopatología, 1992. v. 1, p. 11-35.

POGUE, G. M. A world revision of the genus *Spodoptera* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae). **Memoirs of the American Entomological Society**, Philadelphia, v. 43, p. 1-202, 2002.

ROUGHGARDEN, J. Resource partitioning among competing species: a coevolutionary approach. **Theoretical Population Biology**, San Diego, v. 9, p. 388-424, 1976.

SANTOS, W. J. Identificação, biologia, amostragem e controle das pragas do algodoeiro. In: ALGODÃO: tecnologia e produção. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001.

SILVA, A. L. Levantamento populacional das principais pragas da cultura da soja em Goiânia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 7, n. 1, p. 99-115, 2007.

SILVA, P. R. F. da; SCHOENFELD, R. Desafios e perspectivas da rotação com milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria, RS. **Palestras...** Santa Maria: SOSBAI, 2013. v. 1, p. 1638-1642.

TEODORO, A. V.; PROCÓPIO, S. O.; BUENO, A. F.; JUNIOR, A. S. N.; CARVALHO, H. W. L.; NEGRISOLI, C. R. C. B.; BRITO, L. F.; GUZZO, E. C. ***Spodoptera cosmioides* (Walker) e *Spodoptera eridania* (Cramer) (Lepidoptera: Noctuidae):** novas pragas de cultivos da região Nordeste. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 7 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Comunicado Técnico, 131).

VELOSO, S. E. **Resistência de cultivares de soja a *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae).** 2010. 56 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira.

VIANA, P. A. **Manejo de *Diabrotica speciosa* na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 141).

WAQUIL, J. M.; OLIVEIRA, E.; PINTO, N. F. J. A.; FERNANDES, F. T.; CORREA, L. A. Efeito na produção e incidência de viroses em híbridos comerciais de milho. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 460-463, 1996.

WAQUIL, J. M.; OLIVEIRA, L. J. Percevejo barriga-verde: nova prioridade das culturas em sucessão à soja. **AgroLink**, 22 dez. 2009.

WISEMAN, B. R.; PAINTER, R. H.; WASSON, C. E. Detecting corn seedling differences in the greenhouse by visual classification of damage by the fall armyworm. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 59, p. 1211-1214, 1966.

Capítulo 14

Estratégias de Manejo da Resistência de Insetos para Eventos de Milho Bt

Oderlei Bernardi

Daniel Bernardi

Renato J. Horikoshi

Celso Omoto

Introdução

No Brasil, a primeira tecnologia de milho expressando uma proteína Bt (Cry1Ab) foi aprovada pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) para cultivo comercial em 2007. Posteriormente, diversos eventos de milho Bt expressando uma ou mais proteínas inseticidas foram liberados para uso comercial. Dentre as pragas que atacam a cultura do milho é conhecida a eficiência de eventos de milho Bt no controle da lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a broca-do-colmo, *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae), a lagarta-da-espiga, *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae), a lagarta-elasma, *Elasmopalpus lignosellus* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae), a lagarta-rosca, *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae), e a larva-alfinete, *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae). Entretanto, é importante salientar que os eventos de milho Bt comportam-se de forma distinta para cada espécie-praga, ou seja, não se espera o mesmo nível de eficiência para controle de todas as pragas.

Em razão da eficiência no controle, especialmente de *S. frugiperda* - espécie mais destrutiva do milho, o uso de eventos de milho Bt tem aumentado significativamente a cada safra (OKUMURA et al., 2013). Atualmente, eventos de milho Bt são cultivados em mais de 80% da área total de milho do Brasil, em aproximadamente 12 milhões de hectares por ano (CÉLERES, 2015).

Das pragas-alvo de controle dos eventos de milho Bt, *S. frugiperda* é a espécie que apresenta maior potencial para evolução da resistência. Algumas características bioecológicas dessa espécie e do sistema de produção de cultivos tem favorecido a seleção de insetos resistentes, tais como: (i) grande capacidade reprodutiva, (ii) gerações contínuas e sobrepostas no decorrer do ano, (iii) disponibilidade constante de hospedeiros cultivados, (iv) elevada densidade populacional da praga, (v) ocorrência de severas infestações em qualquer estágio fenológico e época de cultivo do milho, (vi) cultivo intensivo de milho Bt em duas safras anuais, (vii) baixa adoção de áreas de refúgio e de outras táticas de MIP e a (viii) presença de resistência cruzada entre proteínas Bt expressas em milho. Em conjunto, esses fatores aumentam consideravelmente o risco de evolução da resistência e, em curto prazo, pode comprometer a eficácia de todos os eventos de milho Bt comercialmente cultivados.

No Brasil, a evolução da resistência de *S. frugiperda* a eventos de milho Bt foi reportada para as proteínas Cry1F e Cry1Ab (FARIAS et al., 2014a; OMOTO et al., 2016). Diante disso, o estabelecimento e uso efetivo de estratégias de MRI é essencial para reduzir a pressão de seleção em favor dos insetos

resistentes, prolongar a vida útil e a eficiência dos eventos de milho Bt para o controle de pragas.

O Processo de Evolução da Resistência

As populações de insetos possuem variabilidade genética natural na resposta à(s) proteína(s) Bt expressas em plantas geneticamente modificadas, com alelos conferindo suscetibilidade e outros conferindo resistência (TABASHNIK, 2008). A resistência tem origem nas mutações genéticas, que podem ser pré-existentes, ou seja, o gene que confere resistência pode estar presente numa população de insetos, mesmo antes da introdução de um novo agente de controle (FFRENCH-CONSTANT, 2007). O processo determinante para a evolução da resistência de insetos é a constante pressão de seleção por causa do uso de mesma tática ou agente de controle, o que favorece a sobrevivência de alguns insetos “pré-adaptados”, ou seja, daqueles que “carregam” alelos da resistência (GEORGHIOU, 1983). Esse processo, com o passar das gerações da praga sobre pressão seleção aumenta a frequência de resistentes e, conseqüentemente, reduz a eficiência de controle dos eventos de milho Bt, se estratégias de MRI não forem efetivamente implementadas (Figura 1).

De acordo com o Insecticide Resistance Action Committee (IRAC), a resistência é uma mudança hereditária na suscetibilidade de uma população da praga que se reflete na falha repetida de um produto de atingir o nível de controle esperado, quando utilizado de acordo com a recomendação para determinada espécie-praga. Segundo Andow (2008), a resistência de insetos a plantas Bt é caracterizada pela

habilidade de uma praga (antes efetivamente controlada) em sobreviver de ovo a adulto alimentando-se da planta Bt e produzir descendentes férteis. Em termos práticos, a resistência ocorre em uma população de campo, quando existem insetos resistentes em número suficiente para provocar danos econômicos em uma determinada cultura Bt em resposta a uma falha no controle da praga (FITT et al., 2006). Por exemplo, uma falha no controle, por causa da evolução da resistência ocorre quando a praga-alvo, causa prejuízos econômicos detectáveis à colheita, quando a praga causa danos econômicos semelhantes àqueles causados por insetos suscetíveis a uma variedade ou cultura não-Bt, ou quando o dano econômico é considerado inaceitável para o produtor (ANDOW, 2008).

A resistência em uma determinada praga-alvo pode ocorrer para duas ou mais proteínas Bt em razão da resistência cruzada ou resistência múltipla. A resistência cruzada refere-se aos casos em que um único mecanismo de resistência confere resistência a duas ou mais proteínas inseticidas (proteínas geralmente com mesmo sítio de ação (por exemplo, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1F e Cry1A.105)). Por outro lado, a resistência múltipla ocorre quando pelo menos dois diferentes mecanismos de resistência coexistentes conferem resistência a duas ou mais proteínas Bt, com modo de ação distinto (por exemplo, Cry1, Cry2 e Vip).

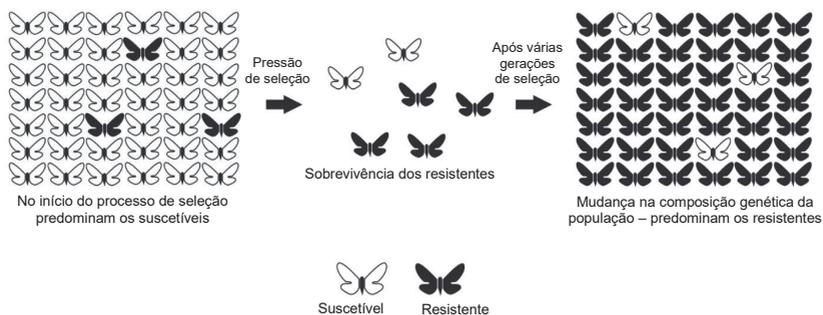


Figura 1. Representação esquemática do processo de evolução da resistência de insetos.

Manejo da Resistência de Insetos a Eventos de Milho Bt

O MRI é um conjunto de medidas que tem o objetivo de evitar ou retardar a seleção de insetos resistentes nas populações de pragas-alvo de controle de eventos de milho Bt. As estratégias de MRI utilizadas para eventos de milho Bt no Brasil tem sido a alta dose/ refúgio e a pirâmide de genes.

Estratégia de Alta Dose e Refúgio

A principal estratégia de MRI a plantas Bt é denominada de estratégia de alta dose e refúgio (TABASHNIK et al., 2009). Planta de “alta dose”, de um ponto de vista operacional, é aquela que expressa à(s) proteína(s) inseticida(s) em concentração que é igual ou superior a 25 vezes a concentração letal correspondente à mortalidade de 99,9% da população suscetível da praga-alvo de controle (GOULD, 1998). Uma baixa dose é qualquer quantidade de proteína Bt expressa pela planta e que não atenda o critério de alta dose (TABASHNIK, 1994).

Assumindo a expressão de alta dose da(s) proteína(s) inseticida(s) em determinado evento de milho Bt, a evolução da resistência pode ser retardada se: (i) os raros insetos homocigotos resistentes (RR) da área de milho Bt acasalarem com os insetos homocigotos suscetíveis (SS) oriundos da área de refúgio (milho não-Bt) e, (ii) se o heterocigoto (SR) resultante do acasalamento for morto pela concentração da(s) proteína(s) inseticida(s) expressas pelo milho Bt. Em outras palavras, em situações em que a herança da resistência é recessiva, o resultado final é uma alta mortalidade dos insetos heterocigotos (SR) porque estes se comportariam fenotipicamente como homocigotos suscetíveis (SS) (BRAVO; SOBERÓN, 2008) (Figura 2). Em contraste, se expostos a um evento de milho Bt de baixa dose, os insetos heterocigotos (SR) sobrevivem e se comportam fenotipicamente como os homocigotos resistentes (RR) herança da resistência dominante (Figura 2). Nesse contexto, a alta dose refere-se à expressão *in planta*, da(s) proteína(s) Bt a um nível suficientemente elevado para causar a morte de todos os homocigotos suscetíveis (SS) e, praticamente todos os heterocigotos (SR). Assegurar a mortalidade dos heterocigotos (SR) é um aspecto fundamental a ser considerado no MRI a proteínas Bt, pois enquanto a frequência de resistência é baixa, os insetos com esse genótipo são os principais carreadores dos alelos de resistência em populações de pragas-alvo (GOULD, 1998; CAPRIO et al., 2000). Em princípio, se uma alta dose não é alcançada, a resistência pode ser retardada, aumentando o tamanho do refúgio para compensar a sobrevivência dos heterocigotos (SR), e assim “diluir” o alelo da resistência na população da praga (TABASHNIK et al., 2004).

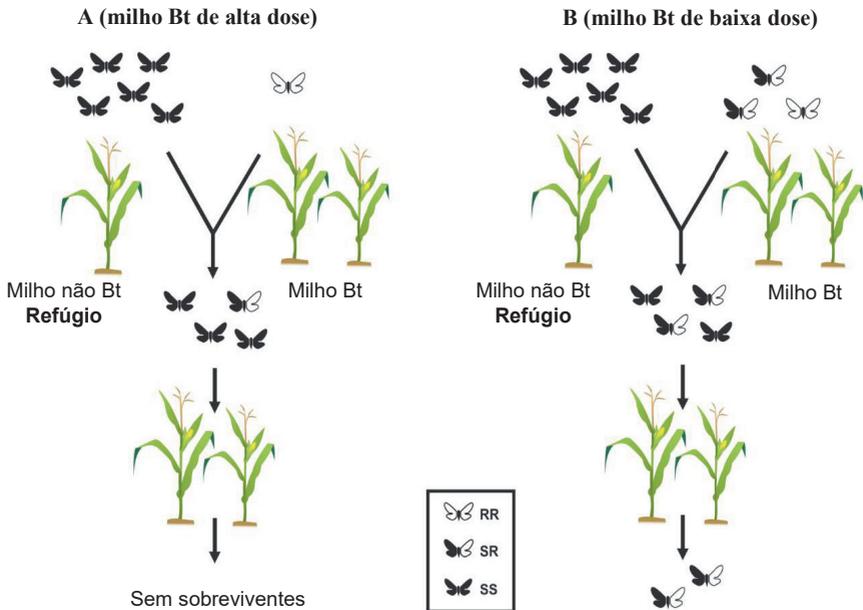


Figura 2. Representação esquemática da estratégia de alta dose e refúgio sob dois pressupostos: milho Bt de alta dose - resistência recessiva (A) e milho Bt de baixa dose - resistência dominante (B).

Para a efetividade da estratégia de alta dose e refúgio em retardar ou evitar a resistência, algumas premissas devem ser satisfeitas, tais como: (i) baixa frequência inicial de alelos da resistência a(s) proteína(s) Bt expressas em milho, (ii) herança recessiva da resistência, e (iii) uso de áreas de refúgio (milho não-Bt) (GOULD, 1998). Frequência inicial é a frequência do alelo responsável pela expressão da resistência à(s) proteína(s) Bt numa população da praga-alvo não exposta anteriormente à pressão de seleção. A frequência do alelo de resistência deve ser baixa (em teoria 10^{-6} , ou seja, raros (GOULD, 1998)), de modo que a frequência de homozigotos resistentes (RR) seja

baixa o suficiente para tornar extremamente improvável que dois insetos resistentes possam se encontrar, acasalar e gerar descendentes. No Brasil, estudos recentes demonstraram que os alelos da resistência a proteínas do grupo Cry1 expressas em milho Bt não são raros em populações de *S. frugiperda* (FARIAS et al., 2014b; BERNARDI et al., 2015a). Em contraste, para essa mesma espécie uma baixa frequência do alelo de resistência foi constatada para a proteína Vip3Aa20 também expressa em milho (BERNARDI et al., 2014, 2015b). Alguns estudos também demonstraram que a herança da resistência de *S. frugiperda* as proteínas Cry1 e Vip3A expressas em milho é recessiva, ou seja, os heterozigotos (SR) tem similar suscetibilidade dos homozigotos suscetíveis (SS) (FARIAS et al., 2014a; BERNARDI et al., 2015a, 2016; SANTOS-AMAYA et al., 2015; MIRALDO et al., 2016). Em suma, a baixa ou alta frequência da resistência e a herança recessiva da resistência reforçam a necessidade do plantio de áreas de refúgio para o MRI a eventos de milho Bt (BERNARDI et al., 2015c).

Por sua vez, as áreas de refúgio servem como um reservatório de insetos suscetíveis (SS). Do ponto de vista prático, os insetos da área de refúgio (milho não-Bt) devem dispersar para qualquer parte da área cultivada com milho Bt e vice-versa. Logo, espera-se que os raros insetos homozigotos resistentes (RR) acabem, na maioria das vezes, por acasalar com insetos homozigotos suscetíveis (SS) oriundos das áreas de refúgio. Portanto, a geração subsequente será composta novamente em sua maioria por insetos heterozigotos (SR) que serão suscetíveis por causa da expressão da(s) proteína(s) proteína(s) Bt em alta dose (Figura 3). Caso não ocorra dispersão antes do acasalamento, os insetos acasalam no local de emergência antes de dispersar, podendo aumentar consideravelmente a

frequência de homozigotos resistentes (RR). Portanto, para que seja possível o acasalamento aleatório de insetos resistentes (RR) com os suscetíveis (SS), a área de refúgio deve ser implementada e manejada conforme recomendações das empresas detentoras dos eventos de milho Bt.

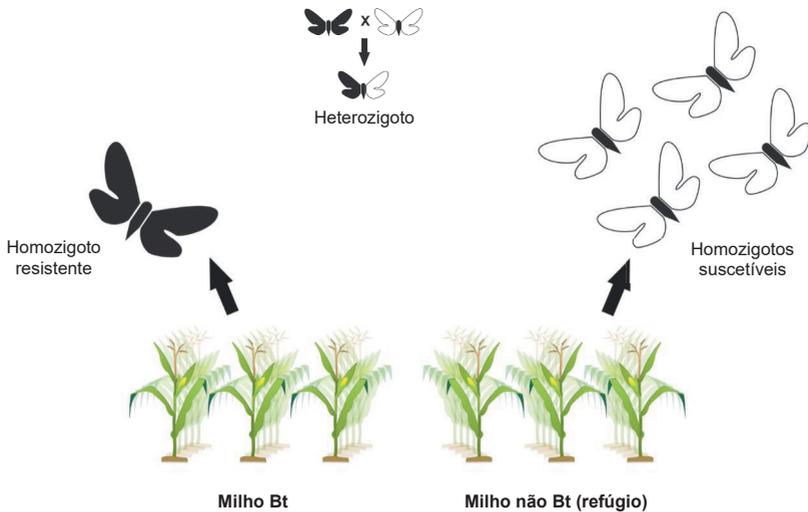


Figura 3. Representação esquemática da estratégia de alta dose e refúgio.

Recomendações para o Plantio da Área de Refúgio

1. O tamanho da área refúgio depende do total cultivado com milho Bt. É recomendado a adoção de 10% de área de refúgio (milho não Bt);
2. É recomendável que o refúgio seja plantado com um híbrido de ciclo vegetativo similar, o mais próximo possível e ao mesmo tempo que o milho Bt;
3. O refúgio deve ser formado por um bloco de plantas de milho não Bt que se encontre a menos de 800 metros

da área de milho Bt, portanto, a distância máxima entre qualquer planta de milho Bt e uma planta da área de refúgio não deve ser superior a 800 metros;

4. O cultivo de faixas de refúgio dentro do campo com milho Bt é recomendável para aumentar a eficácia do refúgio;
5. O refúgio deve ser plantado na mesma propriedade do cultivo de milho Bt e manejado pelo mesmo agricultor, de modo a garantir a produção de indivíduos suscetíveis;
6. Não deve ser realizada a mistura de sementes de milho Bt e não Bt.

Manejo da Área de Refúgio

O Comitê de Ação a Resistência a Inseticidas (IRAC-BR e IRAC Internacional) tem recomendado algumas práticas agrícolas a serem adotadas nas áreas de cultivo de milho Bt (se necessário), não Bt (convencional) e áreas de refúgio (não Bt) (Figura 4). De acordo com esse comitê, as áreas de refúgio devem ser manejadas como toda a lavoura, com o uso de pulverizações de inseticidas ou a adoção de outros métodos de controle sempre que as populações das pragas atingirem o nível de ação. Se necessário uso de inseticidas, não é recomendada a aplicação de inseticidas formulados à base de Bt nas áreas de refúgio e área de cultivo de milho Bt. Para se verificar a necessidade de controle adicional da praga-alvo de determinado evento de milho Bt, deve-se proceder o monitoramento (amostragem) para a tomada de decisão de se realizar ou não pulverizações complementares de inseticidas, seguindo o esquema de “janelas” (cada janela tem duração de ± 30 dias). Especificamente, para a amostragem/monitoramento da lagarta-do-cartucho (principal praga-alvo de controle dos eventos de milho Bt), deve-se avaliar 20 plantas em sequência,

em pelo menos 5 pontos da lavoura, totalizando 100 plantas. A avaliação do nível de ação para esse inseto é feita com base em uma escala visual de danos de zero a nove (0 - 9), conhecida como Escala Davis. O nível de ação é atingido quando 20% das plantas apresentarem nota igual ou superior a 3 (raspagens iniciais). Ao atingir o nível de ação tem sido recomendado o uso de pulverizações foliares de inseticida (dar preferência a produtos seletivos e, se necessário mais de uma pulverização, deve-se fazer rotação de inseticidas com modo de ação distinto) (Figura 4). No entanto, quanto maior o número de pulverizações de inseticidas em áreas de refúgio, menor sua efetividade no manejo da resistência, pois um menor número de insetos suscetíveis ao Bt irá sobreviver. Portanto, deve-se reduzir ao máximo o número de pulverizações de inseticidas no refúgio, fazendo o controle de pragas somente quando necessário e de preferência na fase inicial do estabelecimento da cultura, no máximo até o estágio V_6 do milho.

Para o controle de infestações iniciais, o uso de tratamento de sementes (TS) também pode oferecer controle satisfatório de pragas das fases iniciais de desenvolvimento da cultura do milho e retardar ou minimizar a pulverização de inseticidas foliares. O uso de TS é importante para o estabelecimento do stand da lavoura, pois os danos causados por essas pragas resultam em falhas na lavoura em razão do ataque às sementes após a semeadura, danos às raízes após a germinação e à parte aérea das plantas recém-emergidas. No contexto do MRI, o uso de TS visando o controle de lagartas auxilia no estabelecimento de plantas nas áreas de refúgio, e serve como um modo de ação distinto na fase inicial de desenvolvimento da cultura. Caso seja necessário o uso adicional de inseticida foliar, é altamente recomendável que o inseticida seja aplicado até 25-

30 dias após a semeadura e apresente modo de ação distinto do inseticida usado em TS.

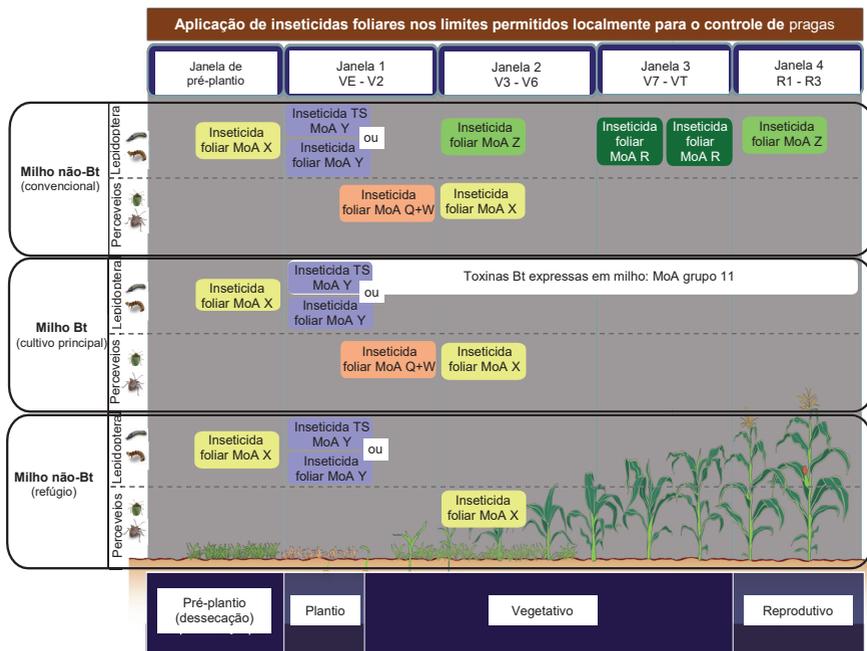


Figura 4. Sugestão para o MRI a proteínas Bt e inseticidas em áreas de cultivo de milho não Bt (convencional), milho Bt (cultivo principal) e áreas de refúgio (milho não Bt). (Fonte: IRAC-BR e IRAC Internacional).

Estratégia de Pirâmide de Genes

O princípio básico da pirâmide de genes para o MRI a plantas Bt é que cada proteína inseticida da pirâmide deve ocasionar elevada mortalidade da praga-alvo de controle. Em outras palavras, cada proteína Bt deve matar todos ou a maioria dos insetos suscetíveis, ou seja, esses insetos serão mortos “duas vezes”, sendo isso denominado de controle “redundante” (CARRIÈRE et al., 2016). Desta forma, os insetos resistentes a

uma das proteínas da pirâmide serão mortas pela(s) outra(s) proteína(s), e vice-versa (BATES et al., 2005).

O uso de eventos de milho Bt com a expressão de duas ou mais proteínas inseticidas tem sido pouco efetivo em evitar ou retardar a evolução da resistência, especialmente de *S. frugiperda*. No Brasil, os primeiros eventos de milho Bt liberados expressavam uma única proteína inseticida (Cry1Ab, Cry1F ou Vip3A). O cultivo prévio de eventos de milho Bt expressando uma única proteína inseticida aumentou a frequência da resistência, como para as proteínas Cry1F e Cry1Ab, em populações de *S. frugiperda* (FARIAS et al., 2014b, 2016; OMOTO et al., 2016). Atualmente isso afeta negativamente a eficácia de alguns eventos de milho Bt piramidado, por causa da resistência cruzada entre proteínas com similar modo de ação, como aquelas pertencentes ao grupo Cry1 (HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ et al., 2013; BERNARDI et al., 2015b; SANTOS-AMAYA et al., 2015). Agricultores e consultores de diversas regiões do Brasil tem relatado falhas de controle de *S. frugiperda* por eventos de milho Bt que expressam duas ou mais proteínas inseticidas do grupo Cry1, resultando na necessidade de pulverização de inseticidas para complementar o controle desse inseto-praga. Diante disso, para o controle de *S. frugiperda* deve-se dar preferência para eventos de milho Bt que expressam duas ou mais proteínas de grupos distintos (Cry1, Cry2 ou Vip3A), pois proteínas do grupo Cry1 se ligam no mesmo receptor no intestino médio dos insetos, enquanto que Cry2 e Vip3 se ligam a outros receptores. Além disso, as proteínas Cry2 e Vip3 apresentam modo de ação distinto das Cry1 (SENA et al., 2009; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ et al., 2013) (Figura 5).

Contudo, para eventos de milho que expressam duas ou mais proteínas Bt é igualmente importante plantar o refúgio para retardar ou evitar a evolução da resistência.

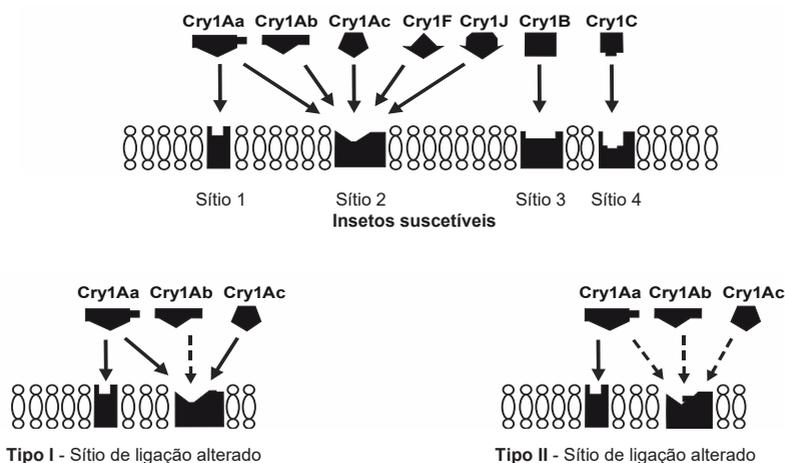


Figura 5. Representação esquemática do sítio de ligação de proteínas Cry no intestino dos insetos suscetíveis e resistentes. (Adaptado de FERRÉ; VAN RIE, 2002).

Recomendações Adicionais de MRI a Eventos de Milho Bt

O Comitê de Ação a Resistência a Inseticidas (IRAC-BR e IRAC Internacional) também tem motivado os agricultores a usar boas práticas agrícolas para maximizar a eficiência das estratégias de MRI a eventos de milho Bt. Nas áreas de cultivo de milho, uma prática importante de MRI é fazer o gerenciamento de plantas daninhas e voluntárias ("tigueras") antes da semeadura e depois da colheita. Antes da semeadura, a dessecação antecipada da palhada (30 a 40 dias antes do plantio) contribui para a redução de populações de pragas iniciais. As culturas antecessoras, assim como as plantas

daninhas e voluntárias funcionam como plantas hospedeiras para as principais pragas que atacam a cultura na fase inicial, podendo influenciar a espécie predominante e a pressão inicial das pragas. Além disso, plantas daninhas podem ser fonte de lagartas em ínstares mais avançados, as quais apresentam maior dificuldade de controle pelas tecnologias de milho Bt. A movimentação de lagartas entre plantas Bt e daninhas pode acarretar uma exposição subletal dos insetos, aumentando sua taxa de sobrevivência no campo e, conseqüentemente, o risco de evolução da resistência. Em casos de alta infestação de lagartas remanescentes da palhada, recomenda-se aplicação de inseticidas no pré-plantio, pois lagartas grandes são, de modo geral, menos suscetíveis as proteínas Bt, sobrevivendo mais facilmente à exposição ao milho Bt, o que também pode acelerar o processo de evolução da resistência. Após o cultivo do milho é comum também a germinação de grãos remanescentes da colheita anterior de forma espontânea. É recomendado realizar o controle das plantas “tigueras” até o estágio V_3/V_4 , evitando o estabelecimento de insetos, os quais podem ser foco inicial de infestação na cultura subsequente.

Resistência Cruzada entre Proteínas Bt Expressas em Milho

No Brasil, os eventos de milho Bt liberados cultivados comercialmente expressam proteínas inseticidas do grupo Cry1, Cry2, Cry3 e Vip3A (Tabela 1). As proteínas do grupo Cry1, presentes na maioria dos eventos de milho Bt, possuem elevada similaridade na sequência de aminoácidos (CARRIÈRE et al., 2015) (Tabela 2). Essa similaridade, principalmente no domínio II da estrutura tridimensional da proteína inseticida favorece a ocorrência da resistência cruzada em pragas-alvo de

controle, pelas mutações no sítio de ação onde essas proteínas se ligam para exercer o seu efeito tóxico (HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ et al., 2013; HUANG et al., 2014; CARRIÈRE et al., 2015).

Tabela 1. Tecnologias de milho Bt liberadas para cultivo no Brasil. (Fonte: CTNBio, 2016).

Milho	Pragas-alvo de controle		Ano de liberação
	Lepidópteros	Coleópteros	
Yieldgard®	Cry1Ab		2007
Agrisure TL®	Cry1Ab		2008
Herculex®	Cry1F		2008
Viptera™	Vip3Aa20		2009
VT PRO™	Cry1A.105 + Cry2Ab2		2009
PowerCore™; VT PRO Max™	Cry1A.105 + Cry1F + Cry2Ab2		2010
Viptera 3™	Cry1Ab + Vip3Aa20		2010
Optimum™ Intrasect™	Cry1Ab + Cry1F		2011
VT PRO™ 3	Cry1A.105 + Cry2Ab2	Cry3Bb1	2011
...	Cry1Ab + Vip3Aa20	mCry3Aa	2014
Herculex® Xtra	Cry1F	Cry34Ab1 + Cry35Ab1	2015
Leptra	Cry1Ab + Cry1F + Vip3Aa20		2015

A evolução da resistência cruzada entre proteínas Bt expressas em milho é uma das principais ameaças a sustentabilidade dessas tecnologias para o controle de pragas. Por exemplo, em *S. frugiperda* existem evidências de resistência cruzada entre as proteínas Cry1F, Cry1Ac, Cry1Ab e Cry1A.105 (HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ et al., 2013; VÉLEZ et al., 2013; HUANG et al., 2014; BERNARDI et al., 2015b; SANTOS-AMAYA et al., 2015). Estudos recentes demonstraram que *S. frugiperda* resistente à proteína Cry1F expressa em milho apresenta altos níveis de sobrevivência em eventos de milho que expressam proteínas do grupo Cry1 e Cry2 de forma isolada ou em pirâmide (BERNARDI et al., 2015b; HORIKOSHI, 2016). Além disso, linhagens de *S. frugiperda* resistentes a proteínas Cry1 expressas em milho também apresentaram elevada

sobrevivência em eventos de algodão Bt (HORIKOSHI, 2016). Em outras palavras, a evolução da resistência de *S. frugiperda* a Cry1F e Cry1Ab tem o potencial de comprometer todos os eventos de milho Bt que expressam proteínas do grupo Cry1. Também irá afetar negativamente a eficiência e vida útil de eventos de algodão Bt que também tem *S. frugiperda* como praga-alvo de controle.

Tabela 2. Similaridade na sequência de aminoácidos entre proteínas Bt expressas em eventos de milho Bt no Brasil. Fonte: Carrière et al. (2015).

Proteínas Bt		Similaridade na sequência de aminoácidos (%)*			
		Domínio I	Domínio II	Domínio III	Média
Cry1Ab	Cry1Ac	100	99	51	86
Cry1Ac	Cry1F	75	51	50	60
Cry1Ac	Cry2Ab	42	15	40	37
Cry1Ab	Cry1F	75	51	64	64
Cry1Ab	Cry2Ab	42	15	26	36
Cry1A.105	Cry1F	75	51	96	72
Cry1A.105	Cry2Ab	42	15	28	34
Cry1F	Cry2Ab	43	22	31	35
Cry3Bb	mCry3Aa	86	83	63	80

*Vip3A não tem homologia na sequência de aminoácidos com proteínas Cry.

Em contraste, a proteína Cry2Ab2 expressa em alguns eventos de milho e algodão Bt apresenta baixa similaridade de aminoácidos com proteínas Cry1, não compartilhando o mesmo sítio de ligação, indicando um baixo potencial de resistência cruzada com proteínas Cry1 (HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ et al., 2013; CARRIÈRE et al., 2015) (Tabela 2). Entretanto, Cry2Ab2 quando expressa de forma isolada em milho tem baixa toxicidade para *S. frugiperda*, não ocasionando mortalidade completa de insetos resistentes a proteínas Cry1 (BERNARDI et al., 2015b; SANTOS-AMAYA et al., 2015; HORIKOSHI, 2016).

Ao contrário, a proteína Vip3A expressa em milho apresenta elevada toxicidade para linhagens de *S. frugiperda* resistentes as proteínas Cry1 e Cry2 (HORIKOSHI, 2016; YANG et al., 2016). Isso se deve à ausência de resistência cruzada entre proteínas Vip e Cry, pois as Vip ligam-se à sítios de ligação e tem modo de ação distinto das Cry (SENA et al., 2009; GOUFFON et al., 2011). Nesse contexto, as proteínas Vip são essenciais para o MRI de *S. frugiperda* a proteínas Cry, e vice-versa. Diante disso, para preservar os eventos de milho Bt o ideal seria a seleção e uso de eventos que expressam proteínas inseticidas de grupos distintos (Cry1, Cry2 ou Vip3A) para diminuir as chances de evolução da resistência cruzada.

O Sistema de Produção de Cultivos e as Implicações no MRI

No Brasil, o milho tem sido cultivado de modo intensivo, normalmente ao longo de todo o ano agrícola. Em regiões onde as condições climáticas são favoráveis (por exemplo, Paraná, Mato Grosso e Bahia) o milho é cultivado em duas épocas (1ª e 2ª safra) e, em áreas com infraestrutura de irrigação, também tem sido cultivado no inverno para produção de sementes (Figura 6). Esse sistema de produção de cultivos tem sido sustentado pela viabilidade técnica e pela rentabilidade econômica por causa da produção de um número maior de safras por ano agrícola. Entretanto, essa composição vegetal da paisagem agrícola causa sérias implicações fitossanitárias que influencia diretamente a dinâmica populacional de insetos-praga, uma vez que disponibiliza alimento e abrigo disponível durante a maior parte do ano (“pontes verdes”), o que expõe as populações das pragas-alvo a elevada pressão de seleção por proteínas Bt. Por exemplo, *S. frugiperda* pode completar

até oito gerações por ano, sendo pelo menos seis em milho e duas em algodão (FITT et al., 2006). Nesse cenário, as práticas agrícolas adotadas na safra ou entressafra pode influenciar o controle de pragas na cultura subsequente, ou seja, o uso intensivo de eventos de milho Bt para controle de *S. frugiperda* numa safra pode afetar o controle da praga na safra ou cultura subsequente, em razão do aumento na frequência da resistência.

No Brasil, o cultivo intensivo de milho foi um dos principais fatores que contribuiu para a evolução da resistência de *S. frugiperda* a eventos de milho Bt que expressam as proteínas Cry1F e Cry1Ab (FARIAS et al., 2014a; OMOTO et al., 2016). Estes casos de resistência têm afetado negativamente a sustentabilidade dos eventos de milho que expressam proteínas Cry1 em pirâmide, por causa da resistência cruzada entre proteínas Cry1, e para os quais foi reportado uma elevada frequência da resistência em populações de *S. frugiperda* (BERNARDI et al., 2015b). Soma-se a isso a ausência de custo adaptativo da resistência de *S. frugiperda* a eventos de milho com proteínas do grupo Cry1 (HORIKOSHI et al., 2016; SANTOS-AMAYA et al., 2016). Em contraste, para Vip3A a frequência da resistência é baixa, e os resistentes apresentam um relevante custo adaptativo (BERNARDI et al., 2016). A presença de custo adaptativo é um aspecto positivo para MRI, pois demonstra que a redução na pressão de seleção resultaria em redução na frequência da resistência (GASSMANN et al., 2009). Em contraste, na ausência de custo adaptativo se espera uma estabilidade da resistência, como foi reportado para *S. frugiperda* a Cry1F em Porto Rico e no Brasil, onde dados de monitoramento da resistência revelaram que a frequência da

resistência é estável no campo (STORER et al., 2012; FARIAS et al., 2014b).

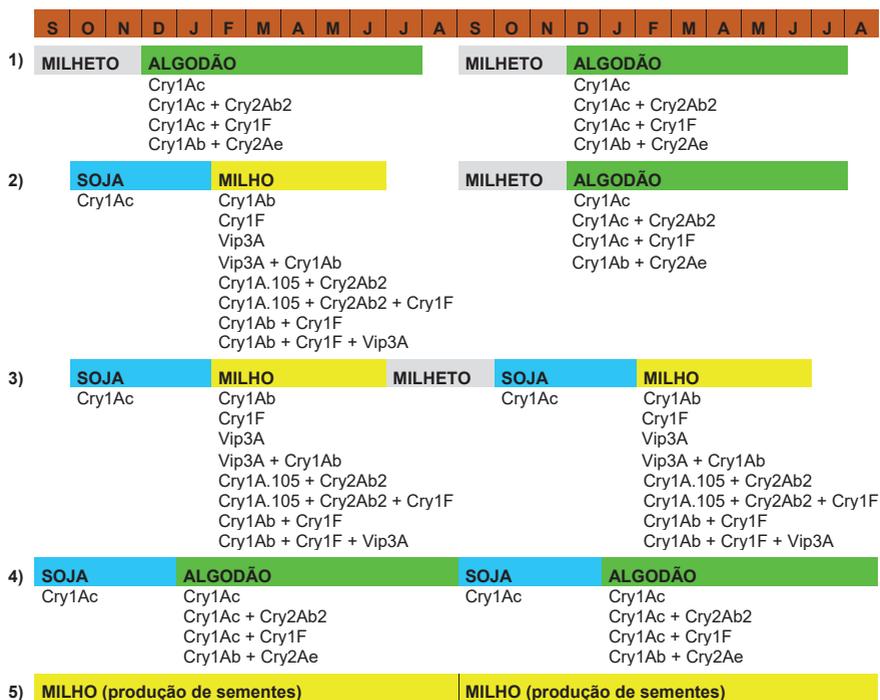


Figura 6. Representação esquemática do sistema de produção de cultivos no estado do Mato Grosso. (Fonte: C. Omoto - arquivo pessoal).

Nesse cenário, o planejamento do sistema de produção de cultivos é de fundamental importância para o MRI a eventos de milho Bt, em especial para *S. frugiperda*. É recomendável planejar uma “janela livre de plantas hospedeiras” entre safras (vazio sanitário), quer deixando áreas não plantadas ou semeando culturas não hospedeiras para reduzir a pressão de seleção em populações das pragas-alvo de controle. Entretanto,

se culturas hospedeiras ou sequenciais forem cultivadas, deve-se considerar então a possibilidade de utilizar inseticidas com um modo diferente de ação em cada cultura e/ou escolher culturas Bt que expressam proteínas inseticidas com modo de ação distinto (Cry, Cry2 ou Vip).

É recomendável também a rotação de culturas. O plantio sequencial de milho Bt pode aumentar significativamente a densidade populacional das pragas e o risco de evolução da resistência, pois espécies de insetos-praga polípagos (por exemplo, *S. frugiperda*) estão particularmente em risco de serem expostos à intensa pressão de seleção por proteínas inseticidas com o mesmo modo de ação em diferentes eventos Bt, sendo assim, atenção especial deve ser tomada para minimizar a exposição a proteínas Bt com o mesmo modo de ação. No entanto, essas práticas serão mais efetivas se os agricultores coordenarem e comunicarem as atividades através de um programa de MRI em grandes áreas (nível regional). Entretanto, na ausência de um programa coordenado, benefícios significativos podem ser alcançados através da implementação individual de estratégias de MRI nas propriedades rurais.

Considerações Finais

O grande desafio da agricultura brasileira é conciliar um sistema intensivo de produção de cultivos com o uso de práticas agrícolas sustentáveis, especialmente para o manejo de pragas. É urgente a educação e divulgação dos princípios básicos de MIP e MRI para otimizar o manejo de pragas, frente a possibilidade de evolução da resistência de insetos (especialmente *S. frugiperda*) a todos os eventos de milho Bt

cultivados comercialmente no Brasil, em razão da resistência. Na atual situação é essencial o aumento na adoção de áreas de refúgio, o planejamento do sistema de produção de cultivos com “janelas livres de cultivo” e uso de outras táticas MIP para controle de pragas para reduzir a frequência da resistência em populações das pragas-alvo de eventos de milho Bt. Além disso, a contínua investigação dos aspectos bioecológicos das pragas-alvo, o monitoramento da suscetibilidade para identificar potenciais mudanças na frequência da resistência, o desenvolvimento de métodos de diagnóstico rápido para detecção da resistência e a avaliação constante da efetividade das estratégias de MRI são necessários para refinar ou melhorar os programas de MRI.

Além disso, existe a necessidade de incentivar a cooperação entre agricultores, consultores, empresas, universidades, extensionistas, institutos de pesquisa e órgãos de regulamentação para o estabelecimento de planos de MRI, seja em nível de propriedade rural ou regional, bem como, estimular o uso de práticas agrícolas adequadas que contribuam para o MIP e MRI. Nos últimos anos houve avanços no MRI a plantas Bt no Brasil por causa da instituição do Grupo Técnico de Manejo da Resistência (GTMR) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) pela Portaria nº 950, de 24 de setembro de 2014 para estabelecer diretrizes visando à preservação das tecnologias Bt. Além disso, avanços no MRI também estão ligados ao treinamento e formação de pesquisadores especializados em diversas instituições de pesquisa e ensino (Embrapa, ESALQ, UFV e outros) e a atuação do IRAC-BR que tem fomentado pesquisas e fornecido informações estratégicas para uso sustentável de eventos de milho, algodão e soja Bt no Brasil.

Referências

ANDOW, D. A. The risk of resistance evolution in insects to transgenic insecticidal crops. **Collection of Biosafety Reviews**, v. 4, p. 142-199, 2008.

BATES, S. L.; ZHAO, J. Z.; ROUSH, R. T.; SHELTON, A. M. Insect resistance management in GM crops: past, present and future. **Nature Biotechnology**, New York, v. 23, p. 57-62, 2005.

BERNARDI, O.; AMADO, D.; SOUZA, R. S.; SEGATTI, F.; FATORETTO, J.; BURD, A. D.; OMOTO, C. Baseline susceptibility and monitoring of Brazilian populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) to Vip3Aa20 insecticidal protein. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 107, p. 781-790, 2014.

BERNARDI, O.; BERNARDI, D.; RIBEIRO, R. S.; OKUMA, D. M.; SALMERON, E.; FATORETTO, J.; MEDEIROS, F. C. L.; BURD, T.; OMOTO, C. Frequency of resistance to Vip3Aa20 toxin from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Brazil. **Crop Protection**, Guildford, v. 76, p. 7-14, 2015a.

BERNARDI, D.; SALMERON, E.; HORIKOSHI, R. J.; BERNARDI, O.; DOURADO, P. M.; CARVALHO, R. A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P.; OMOTO, C. Cross-resistance between Cry1 proteins in fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) may affect the durability of current pyramided Bt maize hybrids in Brazil. **Plos One**, San Francisco, v. 10, p. e0140130, 2015b.

BERNARDI, O.; BERNARDI, D.; AMADO, D.; SOUSA, R. S.; FATORETTO, J.; MEDEIROS, F. C.; CONVILLE, J.; BURD, T.; OMOTO, C. Resistance risk assessment of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) to Vip3Aa20 insecticidal protein expressed in corn. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 108, p. 2711-2719, 2015c.

BERNARDI, O.; BERNARDI, D.; HORIKOSHI, R. J.; OKUMA, D. M.; MIRALDO, L. L.; FATORETTO, J.; MEDEIROS, F. C. L.; BURD, T.; OMOTO, C. Selection and characterization of resistance to the Vip3Aa20 protein from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda*. **Pest Management Science**, Sussex, v. 72, n. 9, p.1794-1802, 2016.

BRAVO, A.; SOBERÓN, M. How to cope with insect resistance to Bt toxins? **Trends in Biotechnology**, Amsterdam, v. 10, p. 573-579, 2008.

CAPRIO, M. A.; SUMERFORD, D. V.; SIMS, S. R. Evaluating transgenic plants for suitability in pest and resistance management programs. In: LACEY, L. A.; KAYA, H. K. (Ed.). **Field manual of techniques in invertebrate pathology**. Dordrecht: Springer, 2000. p. 805-828.

CARRIÈRE, Y.; CRICKMORE, N.; TABASHNIK, B. E. Optimizing pyramided transgenic Bt crops for sustainable pest management. **Nature Biotechnology**, New York, v. 33, p. 161-168, 2015.

CARRIÈRE, Y.; FABRICK, J. A.; TABASHNIK, B. E. Can pyramids and seed mixtures delay resistance to Bt crops? **Trends in Biotechnology**, Amsterdam, v. 34, p. 291-302, 2016.

CÉLERES. **Terceiro levantamento de adoção da biotecnologia agrícola no Brasil, safra 2014/15**. 2015. Disponível em: <http://www.celeres.com.br/docs/biotecnologia/IB1501_150611.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2016.

FARIAS, J. R.; ANDOW, D. A.; HORIKOSHI, R. J.; SORGATTO, R. J.; FRESIA, P.; SANTOS, A. C.; OMOTO, C. Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop Protection**, Guildford, v. 64, p. 150-158, 2014a.

FARIAS, J. R.; HORIKOSHI, R. J.; SANTOS, A. C.; OMOTO, C. Geographical and temporal variability in susceptibility to Cry1F toxin from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 107, p. 2182-2189, 2014b.

FARIAS, J. R.; ANDOW, D. A.; HORIKOSHI, R. J.; BERNARDI, D.; RIBEIRO, R. S.; NASCIMENTO, A. R. B.; SANTOS, A. C.; OMOTO, C. Frequency of Cry1F resistance alleles in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science**, Sussex, 2016.

FERRÉ, J.; VAN RIE, J. Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 47, p. 501-533, 2002.

FFRENCH-CONSTANT, R. H. Which came first: insecticides or resistance? **Trends in Genetics**, Amsterdam, v. 23, p. 1-4, 2007.

FITT, G. P.; OMOTO, C.; MAIA, A. H.; WAQUIL, J. M.; CAPRIO, M.; OKECH, M. A.; IA, E.; HUAN, N. H.; ANDOW, D. A. Resistance risks of Bt cotton and their management in Brazil. In: HILBECK, A.; ANDOW, D. A.; FONTES, E. M. G. (Ed.). **Environmental risk assessment of genetically modified organisms: methodologies for assessing Bt cotton in Brazil**. Cambridge: CABI Publishing, 2006. p. 300-345.

GASSMANN, A. J.; CARRIÈRE, Y.; TABASHNIK, B. E. Fitness costs of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 54, p. 147-163, 2009.

GEORGHIOU, G. P. Management of resistance in arthropods. In: GEORGHIOU, G. P.; SAITO, T. (Ed.). **Pest resistance to pesticides**. Plenum: New York, 1983. p. 769-792.

GOUFFON, C.; VAN VLIET, A.; VAN RIE, J.; JANSSENS, S.; JURAT-FUENTES, J. L. Binding sites for *Bacillus thuringiensis* Cry2Ae toxin on Heliothine brush border membrane vesicles are not shared with Cry1A, Cry1F, or Vip3A toxin. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 77, p. 3182-3188, 2011.

GOULD, F. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars; integrating pest genetics and ecology. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 43, p. 701-726, 1998.

HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, C. S.; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, P. H.; VAN RIE, J.; ESCRICHE, B.; FERRÉ, J. Shared midgut

binding sites for Cry1A.105, Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac and Cry1Fa proteins from *Bacillus thuringiensis* in two important corn pests, *Ostrinia nubilalis* and *Spodoptera frugiperda*. **Plos One**, San Francisco, v. 8, p. 68164, 2013.

HORIKOSHI, R. J.; BERNARDI, O.; BERNARDI, D.; OKUMA, D. M.; FARIAS, J. R.; MIRALDO, L. L.; AMARAL, F. S. A.; OMOTO, C. Near-isogenic Cry1F-resistant strain of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to investigate fitness cost associated with resistance in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 109, p. 854-859, 2016.

HORIKOSHI, R. J. **Dominância funcional e monitoramento da resistencia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) a tecnologias Bt no Brasil**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

HUANG, F.; QURESHI, J. A.; MEAGHER JR., R. L.; REISIG, D. D.; HEAD, G. H.; ANDOW, D. A.; NI, X.; KERNS, D.; BUNTIN, G. D.; NIU, Y.; YANG, F.; DANGAL, V. Cry1F resistance in fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: single gene versus pyramided Bt maize. **Plos One**, San Francisco, v. 9, p. e112958, 2014.

MIRALDO, L. L.; BERNARDI, O.; HORIKOSHI, R. J.; AMARAL, F. S. A.; BERNARDI, D.; OMOTO, C. Functional dominance of different aged larvae of Bt-resistant *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic maize expressing Vip3Aa20 protein. **Crop Protection**, Guildford, v. 88, p. 65-71, 2016.

OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; SORGATTO, R. J.; DOURADO, P. M.; CRIVELLARI, A.; CARVALHO, R. A.; WILLSE, A.;

MARTINELLI, S.; HEAD, G. P. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. **Pest Management Science**, Sussex, v. 72, n. 9, p. 1727-1736, 2016.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; DALLACORT, R.; ZORZENONI, T. O.; ZACCHEO, P. V. C.; NETO, C. F. O.; CONCEIÇÃO, H. E. O.; LOBATO, A. K. S. Agronomic efficiency of *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize hybrids in pest control on Lucas do Rio Verde city, State of Mato Grosso, Brazil. **African Journal of Agriculture Research**, v. 8, p. 2232-2239, 2013.

SANTOS-AMAYA, O. F.; RODRIGUES, J. V. C.; SOUZA, T. C.; TAVARES, C. S.; CAMPOS, S. O.; GUEDES, R. N. C.; PEREIRA, E. J. G. Resistance to dual-gene Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: selection, inheritance, and cross-resistance to other transgenic events. **Scientific Reports**, Sydney, v. 5, n. 18243, 2015.

SANTOS-AMAYA, O. F.; TAVARES, C. S.; RODRIGUES, J. V.; CAMPOS, S. O.; GUEDES R. N.; ALVES, A. P.; PEREIRA, E. J. Fitness costs and stability of Cry1Fa resistance in Brazilian populations of *Spodoptera frugiperda*. **Pest Management Science**, Sussex, 2016.

SENA, J. A. D.; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, C. S.; FERRÉ, J. Interaction of *Bacillus thuringiensis* Cry1 and Vip3A proteins with *Spodoptera frugiperda* midgut binding sites. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 75, p. 2236-2237, 2009.

STORER, N. P.; KUBISZAK, M. E.; KING, J. E.; THOMPSON, G. D.; SANTOS, A. C. Status of resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: lessons from Puerto Rico. **Journal of Invertebrate Pathology**, San Diego, v. 110, p. 294-300, 2012.

TABASHNIK, B. E. Evolution to resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 39, p. 47-79, 1994.

TABASHNIK, B. E.; GOULD, F.; CARRIÈRE, Y. Delaying evolution of insect resistance to transgenic crops by decreasing dominance and heritability. **Journal of Evolutionary Biology**, Basel, v. 17, p. 904-912, 2004.

TABASHNIK, B. E. Delaying insect resistance to transgenic crops. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 105, p. 19029-19030, 2008.

TABASHNIK, B. E.; RENSBURG, V. J. B. J.; CARRIÈRE, Y. Field-evolved insect resistance to Bt crops: Definition, theory, and data. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 102, p. 2011-2025, 2009.

VÉLEZ, A. M.; SPENCER, T. A.; ALVES, A. P.; MOELLENBECK, D.; MEAGHER, R. L.; CHIRAKKAL, H.; SIEGFRIED, B. D. Inheritance of Cry1F resistance, cross-resistance and frequency of resistant alleles in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Bulletin of Entomological Research**, Farnham Royal, v. 103, p. 700-713, 2013.

YANG, F.; KERNS, D. L.; BROWN, S.; KURTZ, R.; DENNEHY, T.; BRAXTON, B. O.; HEAD, G.; HUANG, F. Performance and cross-crop resistance of Cry1F-maize selected *Spodoptera frugiperda* on transgenic Bt cotton: Implications for Resistance Management. **Scientific Reports**, Sydney, v. 6, n. 28059, 2016.

Capítulo 15

Tecnologia e Boas Práticas Formam Base para Agricultura Sustentável e Desenvolvimento de Comunidades do Campo

Fabício Peres

Introdução

Contribuir para a ampliação do debate sobre os avanços tecnológicos disponíveis para a cadeia produtiva do milho, assim como chamar a atenção do setor para a necessidade e a importância de seu envolvimento permanente com ações que promovam não só para o desenvolvimento sustentável da agricultura, mas também a prosperidade e o bem-estar das comunidades rurais. Este é o principal objetivo da apresentação da Syngenta durante a 31ª edição do Congresso Nacional de Milho e Sorgo, fórum tradicional que tem ajudado a escrever a história de desenvolvimento do setor no País.

Tecnologia e Boas Práticas Formam Base para Agricultura Sustentável e Desenvolvimento de Comunidades do Campo

Com objetivos muito bem definidos, o The Good Growth Plan - Plano de Agricultura Sustentável - desenvolvido pela Syngenta,

tem evoluído de maneira significativa para o cumprimento de seis ambiciosos compromissos assumidos pela empresa até 2020, que miram principalmente a construção de uma agricultura sustentável e o desenvolvimento das comunidades rurais: tornar as culturas mais eficientes; recuperar terras degradadas, promover a biodiversidade, capacitar pequenos agricultores; promover a segurança das pessoas; e cuidar de cada trabalhador.

Três anos depois do seu lançamento e com avanços importantes em cada uma dessas metas, o The Good Growth Plan segue transformando a vida de produtores rurais e contribuindo para a produção de alimentos de qualidade para atender às demandas de uma crescente população mundial. Só para que se tenha uma ideia de quão significativa tem sido esta contribuição, em 2015 foram mais de 4 milhões de hectares de terras agrícolas recuperadas com a promoção da biodiversidade ou por meio de iniciativas de preservação do solo, e mais de 17 milhões de pequenos agricultores foram alcançados pela empresa por meio de soluções-chave para incrementar a produtividade de suas lavouras e beneficiar as comunidades de que fazem parte.

Só no Brasil, cerca de 260 mil agricultores, numa área de quase 2 milhões de hectares, foram beneficiados pelo programa, por meio do melhoramento e da adoção de novas tecnologias, do suporte agrônômico, da gestão do solo e de soluções customizadas para suas lavouras, por exemplo.

Outra frente importante dentro de The Good Growth Plan é o compromisso de cuidar do trabalhador, promovendo condições justas em toda a cadeia de produção impactada pela empresa.

O trabalho nesse sentido já permitiu o desenvolvimento do *Fair Labor*, programa *global* que abrangeu mais de 27 mil fornecedores em 2015, e a criação da Syngenta Agrícola, iniciativa que hoje beneficia mais de mil profissionais em 10 estados brasileiros.

Desenvolvida com o objetivo de promover qualidade de vida para o trabalhador rural, garantindo o cumprimento das leis e normas relacionadas às questões trabalhistas e levando aos trabalhadores benefícios como alimentação e uniforme adequados, treinamentos de primeiros socorros e segurança, por exemplo, a Syngenta Agrícola criou um Código de Conduta, documento entregue a todos os profissionais que ingressam na companhia. Nele, cada um deles fica sabendo sobre seus direitos e deveres, além de como evitar comportamentos irresponsáveis, ações ilegais e erros.

Mais que um plano de sustentabilidade, o The Good Growth Plan, que é constituído por meio de parcerias com governos, universidades, institutos de pesquisa, terceiro setor, assim como as cadeias produtivas do agronegócio, representa também a forma como a Syngenta conduz a sua atuação, uma vez que os objetivos estabelecidos no plano estão diretamente conectados aos negócios da companhia.

Contexto Desafiador

O desafio de alimentar uma população crescente, fazendo-o de maneira sustentável, é uma de nossas maiores preocupações atuais - estima-se que sejamos 9,7 bilhões de pessoas em 2050 -, mas não está nem perto de ser a única. Além de essencial para o abastecimento global de alimentos, a agricultura, bem

como tudo o que a atividade abrange, continua a ser a principal fonte de sustento em todo o planeta.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), hoje 2,6 bilhões de pessoas dependem diretamente da agricultura. A importância da atividade ganha contornos ainda mais críticos quando se verifica que, atualmente, cerca de 52% da terra usada para agricultura é afetada moderada ou severamente pela degradação do solo e que, anualmente, 12 milhões de hectares são perdidos - o que equivale a 23 hectares por minuto - por causa de seca e desertificação (ONU, 2015). Em uma área com essa dimensão, poderiam ser cultivadas cerca de 20 milhões de toneladas de grãos. Em um tempo em que 795 milhões de pessoas ainda passam fome diariamente (FAO, 2015) esta perda é ainda mais significativa.

Neste cenário desafiador, o alinhamento do The Good Growth Plan com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU - conjunto de metas que definem a agenda de desenvolvimento das Nações Unidas para os próximos 15 anos - reforça a importância dos compromissos assumidos pela companhia e que podem trazer contribuições muito significativas para a agenda de desenvolvimento global.

Conexão Fundamental entre Tecnologia e a Segurança Alimentar

Como a maior fabricante de defensivos agrícolas do mundo, a Syngenta emprega a tecnologia no desenvolvimento de soluções para o manejo de pragas e doenças, e vai além. Como fator estratégico para o desenvolvimento de planos que

auxiliem na resolução de desafios globais, como o aumento da produtividade para suprir as necessidades de uma população crescente, o fator tecnológico é utilizado para promover também a capacitação, a segurança e a saúde das pessoas, assim como para proteger a biodiversidade.

E apesar de representar um elemento-chave para a moderna agricultura, ainda existe um descompasso importante no que diz respeito à percepção geral sobre o papel da tecnologia agrícola para a segurança alimentar. De acordo com pesquisa Edelman Berland (2013), mesmo com o apoio de quase 80% das pessoas quando o assunto é adoção de novos recursos tecnológicos de maneira geral, existe uma redução expressiva desse percentual quando o tema se relaciona à agricultura. O levantamento indica que apenas 24% das pessoas é favorável à utilização de defensivos agrícolas, fertilizantes, ou organismos geneticamente modificados, por exemplo.

Este distanciamento, que ocorre a despeito dos grandes avanços no manejo eficiente de fatores limitantes - tanto bióticos quanto abióticos -, algo que hoje representa uma etapa indispensável para a manutenção dos índices de produtividade no campo, assim como da qualidade dos produtos, deve-se, entre outros fatores, à desinformação, problema que a Syngenta busca solucionar com transparência, atuação próxima a produtores, institutos de pesquisa, órgãos governamentais e entidades do terceiro setor, assim como em eventos como o Congresso Nacional de Milho e Sorgo.

Acreditamos que as empresas podem transformar a vida das pessoas e, ao ajudar os agricultores a produzirem mais e de

forma mais sustentável, fazer parte da solução diante do desafio global ligado à segurança alimentar.

Conhecimento e Tecnologia que Transformam

Levar conhecimento e disseminar técnicas modernas de produção no campo faz parte do negócio da Syngenta. Um bom exemplo desta atuação, voltada para as cadeias produtivas do milho e leiteira é o Projeto Sillus. Com ele, a empresa realizou quase uma centena de palestras e dias de campo nas principais regiões de produção de milho silagem - Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina e Triângulo Mineiro - além de 150 dias de campo, para levar tecnologia e capacitação sobre segurança no manejo da cultura a agricultores e pecuaristas e demonstrar os avanços tecnológicos disponibilizados em seu portfólio de sementes. Alinhada aos compromissos assumidos por meio do The Good Growth Plan e ao desafio de alimentar uma população crescente, a empresa trouxe para o mercado de milho para silagem híbridos que viabilizam um aumento substancial na produção de leite.

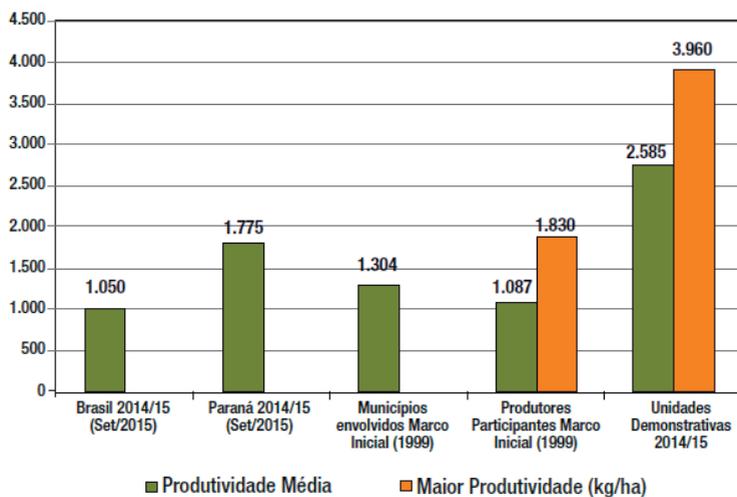
Com uma qualidade bromatológica superior, o grão produzido pelos híbridos da Syngenta contém mais proteína do que fibra, o que beneficia a alimentação de vacas leiteiras e permite que elas produzam mais leite. Estudos da Fundação ABC Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário mostram que o animal alimentado com o milho para silagem da Syngenta entrega um aumento médio de 3,5 litros de leite por dia, quando comparado a outros híbridos disponíveis no mercado.

Outra importante ação de transferência de conhecimento de que a Syngenta tomou parte foi o Projeto Grãos Centro-Sul de Feijão e Milho. Criado pelo Instituto Emater em 1999, com o objetivo de atender agricultores familiares do Paraná, que ainda hoje enfrentam a redução de renda em função da baixa produtividade, o projeto beneficia produtores em mais de 60 municípios e, ao longo de 25 anos, gerou resultados muito significativos.

Apostando em parcerias como instituições de pesquisa, como a Embrapa, e empresas do setor, como a Syngenta, que hoje realiza o fornecimento de soluções e sementes de milho, bem como com recursos para treinamento de técnicos e agricultores e a realização de dias de campo, o projeto tem transformado a vida de pequenos produtores paranaenses. Exemplificando a eficiência relacionada à adoção de tecnologia e das boas práticas ensinadas aos produtores, só na safra 2014/2015, as áreas demonstrativas apresentaram produtividade 1,4 vezes superior à média do estado para a cultura do feijão (Figura 1), e 1,7 vezes superior no caso do milho (Figura 2).

FEIJÃO

A produtividade média das áreas demonstrativas do projeto foi 1,4 vez superior à média do Estado do Paraná e 2,4 vezes superior à média nacional.

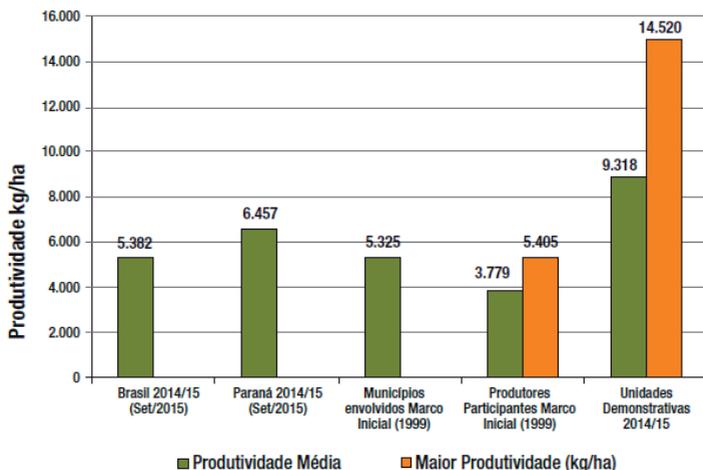


Fonte: Emater, Conab, Deral

Figura 1. Resultados de unidades demonstrativas da safra 2014/2015

MILHO

A produtividade média das áreas demonstrativas do projeto foi 1,4 vez superior à média do Estado do Paraná e 1,7 vez superior à média nacional.



Fonte: Emater, Conab, Deral

Figura 2. Produtividade média de milho e maior produtividade (kg ha⁻¹) safra 2014/2015

Considerações Finais

O trabalho proposto globalmente pela Syngenta, por meio do The Good Growth Plan, tem produzido resultados importantes em diversas regiões do planeta. Com os avanços alcançados em três anos, graças aos projetos e iniciativas ligadas aos seis compromissos assumidos pela empresa para 2020 e que visam principalmente a construção de uma agricultura sustentável e o desenvolvimento das comunidades rurais, a Syngenta tem contribuído para a transformação de vidas de milhões de pessoas. Ações locais, como o Projeto Sillus, que promove a capacitação de pequenos agricultores para a produção de milho silagem nas principais regiões leiteiras do País; ou o Projeto

Grãos Centro-Sul de Feijão e Milho, que hoje beneficia milhares de agricultores familiares no Estado do Paraná, auxiliando na adoção de boas práticas, no aumento da produtividade e na ampliação de renda para o homem do campo, corroboram o alcance do The Good Growth Plan e a evolução do projeto que, por meio de ações globais ou localizadas, tem transformado a vida de muita gente.

Referências

FAO. **The state of food insecurity in the world report 2015**. Rome, 2015. p. 12-14.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Conheça os novos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU**. New York, 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>>. Acesso em: 08 ago.2016.



Congresso Nacional de Milho e Sorgo

de 25 a 29/Set/2016
Bento Gonçalves - RS

Promoção



Realização



Empresas Milho e Sorgo
Embrapa Clima Temperado
Embrapa Recursos e Suelo
Embrapa Soja
Embrapa Trigo
Embrapa Uva e Vinha



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Patrocinadores



Se é Bayer, é bom



Dow AgroSciences



MONSANTO



Apoio



Bento
Para Inspiração



www.abms.org.br/cnms