

"Agronegócio Sustentável"



UNIARAXÁ
CENTRO UNIVERSITÁRIO

Organizadores
José Carlos da Silva
Rafael Tadeu de Assis
Paulo Roberto Fávero de Fravet



José Carlos da Silva
Rafael Tadeu de Assis
Paulo Roberto Fávero de Fravet
Organizadores

AGRONEGÓCIO SUSTENTÁVEL

Uberlândia, MG
2015

Editores responsáveis

José Carlos da Silva
Rafael Tadeu de Assis
Paulo Roberto Fávero de Fravet

Capa

Tarcísio Fernando Antunes
Thiago Henrique Rufino
Setor de Marketing Uniaraxá

Revisores

José Carlos da Silva
Rafael Tadeu de Assis
Paulo Roberto Fávero de Fravet

Revisão final

Selma Maria de Oliveira

Diagramação

Adriana Cardoso

Impressão e acabamento

Gráfica Editora 3A Ltda

Ficha catalográfica

Maria Clara Fonseca – Bibliotecária CRB 6/942

Agronegócio sustentável / organização: José Carlos da Silva, Rafael Tadeu de Assis
e Paulo Roberto Fávero de Fravet. Uberlândia: Composer, 2015.

176 p. : il.

ISBN: 978-85-69882-06-0

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Agroindústria - Brasil. 3. Inovações tecnológicas.
4. Economia agrícola. I. Silva, José Carlos da. II. Assis Rafael Tadeu de. III. Fravet, Paulo
Roberto Fávero de. IV. Título.

APRESENTAÇÃO

Desde os primórdios que o homem mantém uma estreita relação de interdependência com a terra e com os bens que ela produz. Há muito se tem dito sobre a vocação do Brasil para ocupar o status de “celeiro do mundo”. Do café ao leite, dos grãos às frutas e flores, da pecuária à piscicultura, pode-se dizer que tudo que se planta ou se cria, produz. Sentimento ufanista à parte é possível asseverar que pela territorialidade e divergência sazonal, nosso país, incontestavelmente, é um imenso potencial de produção agrônômica.

Transformamos a nossa tradição colonial em um modelo moderno e lucrativo de produção de alimentos, fibras e bioenergia. Além de toda força econômica mostrada na contribuição sempre positiva à balança comercial brasileira, como grande produtor e exportador de café, açúcar, etanol de cana-de-açúcar, milho e soja. A agricultura nacional tem forte apelo social pela sua geração de emprego e renda, contribuindo, sobremaneira, para a economia e sustentação financeira de pequenos e grandes produtores, bem como contribuindo para a formação de divisas comerciais.

O presente trabalho discorre sobre as possibilidades e potencialidades da terra em produzir riquezas através do cultivo de plantas e criação de animais. Traz resultados de procedimentos, inovações e tecnologias impactantes, cujos reflexos positivos podem ser percebidos na qualidade, oferta e segurança dos alimentos e na organização e diversificação da produção. É destinado aos acadêmicos e profissionais das ciências agrárias, além de criadores e pessoas que tenham interesse no mundo agropecuário.

Trata-se de uma obra que é fruto de um árduo trabalho de profissionais pesquisadores, que sob a lente da ciência buscam conhecer a terra, seus modos de produção e conservação. Estes são responsáveis por transformar investimentos e equipamentos no bem mais valioso para a humanidade: o conhecimento.

Na perspectiva da sustentabilidade, o estudo traz conceitos que visam à atuação consciente do homem no meio ambiente. Conduz a uma reflexão para produtores rurais e fornecedores sobre a importância de aumentar a produtividade das áreas em que atuam e ao mesmo

tempo, trabalhar de forma que o solo possa continuar produzindo nas gerações futuras; evitando o desaparecimento da fertilidade e a redução da água disponível e, ainda, protegendo a biodiversidade da região. Sabe-se hoje que o limite para o crescimento de uma produção é aquele imposto pelo ecossistema, maior patrimônio do qual somos locatários. Através da interconexão das dimensões da qualidade ambiental e social, busca-se agregar valor aos produtos do agronegócio através do uso sustentável dos recursos naturais.

Desta forma, temas como os novos grupos hormonais; a aplicação do nitrogênio e do silício na agricultura; o melhoramento genético; o plantio de lavouras; o manejo do solo e a produção de cultivares alinham-se como importantes experiências, sendo fonte de informação e inspiração para que outras iniciativas floresçam e se multipliquem. Desta feita, cumprem com o papel relevante na divulgação de inovações científicas que marcam a evolução das atividades agropecuárias e contribuem para gerar produtos que possam dar respostas às demandas do mercado.

Araxá, outubro de 2015

Prof. M.e Válter Gomes
Reitor do UNIARAXÁ

SUMÁRIO

1 AGRONEGÓCIO – O GRANDE GERADOR DE RIQUEZAS PARA O BRASIL

1.Introdução.....	11
2.Evolução do Agronegócio no Brasil.....	12
3.Cenários de Oportunidades e Desafios para o Agronegócio brasileiro.....	13
4.Referências bibliográficas.....	17

2 PRODUÇÃO DE ETANOL COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A OBTENÇÃO DE ENERGIA

1.Introdução.....	21
2.Biocombustíveis.....	22
3.A evolução da produção do etanol e sua importância para o cenário econômico brasileiro.....	23
4.Rotas tecnológicas para a produção de etanol de segunda geração.....	27
5.Biomassa celulósica e a produção de etanol.....	28
6.Pré-tratamentos de materiais lignocelulósicos.....	29
7.Referências bibliográficas.....	31

3 NOVOS GRUPOS DE HORMÔNIOS VEGETAIS

1.Introdução.....	35
1.1. Hormônios vegetais.....	35
2. Mecanismo de ação dos hormônios vegetais.....	36
3. Tipos de hormônios.....	37
3.1. Brassinoesteróides.....	37
3.2. Jasmonatos.....	39
3.3 Salicilatos.....	41
3.4. Poliaminas.....	43
4. Consideração final.....	45
5. Referências bibliográficas.....	45

4 OS GANHOS OBTIDOS COM A FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

1-Introdução.....	51
1.1-Processo de FBN em leguminosas (Fabaceae).....	53
1.2-FBN em gramíneas.....	54
1.3-Mas, afinal, o que são os Inoculantes?.....	56
1.4-Que cuidados tomar na hora da compra do inoculante?.....	57
1.5-Benefícios com a FBN.....	57
2-Ganhosocial.....	58
3-Ganhos para o meio ambiente.....	58
4-Referências bibliográficas.....	59

5 CONTRIBUIÇÕES DO MELHORAMENTO GENÉTICO PARA O AVANÇO DO REBANHO BOVINO BRASILEIRO

1.Introdução.....	61
2. Um pouco de história: quando os bovinos foram introduzidos no Brasil?.....	62
3. As principais ferramentas para o melhoramento genético em rebanhos bovinos.....	62
4.Acasalamentos Dirigidos.....	63
5. Cruzamentos.....	63
6.Estratégias de seleção.....	64
7.Biotecnologias.....	65
8. Programas de melhoramento: principais características de interesse zootécnico em bovinos.....	67
9. Reprodução: precocidade e fertilidade.....	67
10. Nutrição: eficiência alimentar.....	68
11. Produção de carne e leite.....	68
12. Sanidade.....	69
13.Considerações Finais.....	70
14.Referências bibliográficas.....	70

6 MELHORAMENTO GENÉTICO DO MILHO VISANDO À RESISTÊNCIA A DOENÇAS E SUSTENTABILIDADE PRODUTIVA

1. Introdução.....	75
1.1. O milho da atualidade e sustentabilidade produtiva.....	75
2. Importância das doenças da cultura do milho.....	78
3. Principais doenças da cultura do milho.....	79
3.1. Doenças Foliare.....	79
3.2. Doenças viróticas.....	81
3.2.1. Podridões de Colmo.....	81
3.2.2. Podridões de Espigas.....	82
4. Princípios do controle químico das doenças do milho.....	83
5. Controle genético de fitopatógenos causadores de doenças no milho.....	84
5.1. Diversidade e variabilidade genética do milho.....	85
5.2. Vulnerabilidade genética do milho a fitopatógenos.....	86
5.3. Princípios do controle genético a fitopatógenos.....	87
7. Melhoramento ao nível populacional.....	90
8. Melhoramento visando à obtenção de híbridos.....	90
10. Outras estratégias.....	92
11. Biotecnologia x Controle genético das doenças do milho.....	92
11.1. Retrocruzamentos assistidos por marcadores.....	92
11.2. Seleção precoce por marcadores moleculares.....	94
12. Considerações finais.....	94
13. Referências bibliográficas.....	95

7 AGRICULTURA DE PRECISÃO - Eficiência e Sustentabilidade no Gerenciamento Agrícola

1. Introdução.....	99
2. Origem da Precisão na Agricultura e no Brasil.....	100
3. Objetivo do Gerenciamento Agrícola Preciso.....	101

4. Sistema de Navegação Global.....	102
5. Sistemas de Direcionamento Via Satélite.....	103
6. Mapeamento de Áreas Agrícolas.....	104
7. Aplicação em Taxa Variada.....	105
8. Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários.....	107
9. Considerações Finais.....	109
10. Referências Bibliográficas.....	110

8 MANEJO DO CAFEIEIRO PARA ALTAS PRODUTIVIDADES

1. Introdução.....	115
2. Instalação da lavoura.....	115
2.1. Condições climáticas entre outras.....	115
2.2. Variedades e mudas.....	116
2.3. Época do plantio.....	116
2.4. Forma de plantio.....	116
2.5. Preparo e correção do solo.....	117
2.6. Espaçamento.....	117
2.7. Adubação.....	117
2.8. Manejo de plantas infestantes.....	118
2.9. Irrigação.....	118
3. Considerações sobre a implantação da lavoura.....	119
4. Condução da lavoura no período de formação (0 a 30 meses).....	119
4.1. Adubação de cobertura.....	119
4.2. Adubação foliar.....	120
5. Fitossanidade.....	120
5.1. Doenças.....	120
5.1.1. Ferrugem.....	120
5.1.3. Mancha aureolada.....	121
5.1.4. Phoma/Ascochyta.....	121
5.2. Pragas.....	121
5.2.1. Bicho Mineiro.....	121

5.2.2. Broca do café.....	122
5.2.3. Ácaro vermelho.....	122
5.2.4 Ácaro plano.....	122
6. Avaliações.....	122
7. Adubação de lavouras adultas.....	123
8. Podas.....	125
9. Colheita.....	125
10. Recomendações.....	126
11. Referências bibliográficas.....	127

9 SILÍCIO NA AGRICULTURA - O nutriente benéfico não essencial

I. Introdução.....	129
2. Silício na Planta.....	130
3. Estresses bióticos.....	132
4. Estresses abióticos.....	133
5. Fontes de Si.....	135
6. Conclusões e Perspectivas.....	137
7. Referências bibliográficas.....	137

10 MELHORAMENTO GENÉTICO DO ALGODOEIRO VISANDO À QUALIDADE DA FIBRA

1-Introdução.....	147
1.1. Importância da qualidade da fibra para o sistema de produção.....	147
2- Classificação da fibra do algodão.....	149
2.1. Classificação Visual da Fibra do Algodão.....	150
2.2. Classificação Instrumental da Fibra do Algodão.....	152
3- Qualidade e fatores que afetam a qualidade da fibra.....	154
3.1. Fatores bióticos.....	155
3.2. Fatores abióticos.....	157

3.3. Fator colheita.....	159
3.4. Fator beneficiamento.....	160
4- Avanços no melhoramento para qualidade da fibra.....	161
4.1. Mapeamento de QTLs para melhorar a qualidade de fibra do algodão.....	161
4.2. Engenharia Genética envolvendo qualidade de fibra.....	164
5.Referências bibliográficas.....	165
LISTA COLABORADORES DO LIVRO.....	173

AGRONEGÓCIO – O GRANDE GERADOR DE RIQUEZAS PARA O BRASIL



GUILHERME SALGE ROLDÃO
Bacharel em Administração
Faculdades Associadas de Uberaba- FAZU

VINÍCIUS ANTÔNIO MACIEL JÚNIOR
Engenheiro Agrônomo, Me.
Faculdades Associadas de Uberaba- FAZU

1. Introdução

O Brasil assumirá a liderança nas exportações agrícolas em 2024, com crescimento fundamentado principalmente na melhoria da relação produção / produtividade e na potencialidade de expansão de áreas. A agricultura terá uma ocupação de 69,4 milhões de hectares, representando um avanço de 20% em relação ao período de 2012-2014. Os principais destaques serão a cana-de-açúcar (com alta de 37%), o algodão (35%) e as oleaginosas (23%), em especial, a soja. (FAO, 2015)

Ainda segundo estudos da FAO (2015), a produção mundial de alimentos e energia será um grande desafio, principalmente por adventos relacionados a globalização. O resultado será um crescente aumento pela demanda de alimentos e energia, com destaque para os países em desenvolvimento. A oferta mundial precisará dobrar na próxima década para atender necessidade da população. Diante disso, o mundo precisará produzir brevemente, o que não se produziu nos últimos 10 mil anos, em grãos e óleos vegetais. Um cenário de oportunidades para o Brasil.

O agronegócio brasileiro é uma atividade próspera, segura e rentável. (BORGES, 2015). A geografia privilegiada e a abundância de recursos naturais fazem do Brasil um local estratégico para a agropecuária e também para as ramificações dos negócios relacionados às cadeias produtivas. Responde por mais de um terço de tudo que é produzido na economia brasileira, entretanto apresenta ainda muito potencial a ser explorado. (MAPA, 2015).

Callado (2006) define o agronegócio como um conjunto de empresas que produzem insumos agrícolas. O conceito de agronegócio se fundamenta na ideia de cadeia produtiva e na interdependência entre seus elos. As decisões de: o que, quanto e como produzir, estão diretamente relacionadas ao mercado.

Agronegócio, segundo Batalha (2001), é o produto das atividades relacionadas à agropecuária, a partir do ponto de vista econômico. Pode ser dividido em três partes: Antes da Porteira, Dentro da Porteira e Pós Porteira. Participam também nesse contexto os diversos setores que influenciam e deliberam a movimentação dos produtos, como o governo, os mercados, as organizações: comerciais, financeiras e de serviços. O Agronegócio insere em sua definição os responsáveis pela dinâmica de cada elo da cadeia que se desloca do mercado de insumos e dos fatores de produção, passa pela unidade de produção agropecuária e finaliza com o processamento, se difunde também nas estratégias marketing, transformação e na logística. Respectivamente, essas são as definições de Antes, Dentro e Pós Porteira. De maneira geral o Agronegócio envolve toda a atividade econômica relacionada com a produção, transformação, distribuição e comercialização, com ênfase na prática da gestão estratégica, com relevância aos aspectos gerenciais e administrativos das cadeias produtivas. A cadeia produtiva pode ser dividida em três grandes segmentos: a comercialização, a industrialização e a produção de matérias-primas.

A Comercialização envolve as empresas que se relacionam com o consumidor, oportunizam o consumo e a comercialização dos produtos finais. Também se integram as empresas de logística e de distribuição. A industrialização refere-se organizações que são responsáveis pela transformação das matérias primas em produtos acabados para o mercado. E finalmente a produção de matérias-primas, são os empreendimentos responsáveis pelas matérias primas iniciais, para que outras empresas possam continuar o processo de produção do produto final.

2. Evolução do Agronegócio no Brasil

A origem do Agronegócio se deu desde a chegada e ocupação dos portugueses no Brasil e evoluiu desde a extração de madeira, ao cultivo de açúcar, da borracha e logo depois do café e atualmente, da soja como

a principal *commodity* brasileira para exportação. Importante também destacar o papel das agroindústrias, responsáveis pela transformação da matéria prima, em produto final acabado, como o vinho e as carnes bovina, suína e de aves. (RENAI, 2015)

Com o desenvolvimento da ciência e a tecnologia, o agronegócio brasileiro foi conduzido por uma forte transformação entre as décadas de 1970 e 1990, onde foi possível produzir em regiões que anteriormente eram declaradas improdutivas, como por exemplo, o domínio do cerrado, com destaque para o Triângulo Mineiro que foi dentre as áreas do cerrado que se tornou uma das mais prósperas e beneficiadas. O Brasil ganhou papel de destaque no mercado mundial e tornou-se uma referência na produção agrícola. (VILARINHO, 2015)

3.Cenários de Oportunidades e Desafios para o Agronegócio brasileiro

A abertura de mercado e a estabilização da economia com a implantação do Plano Real, foi de fundamental importância para modificar as ações da grande maioria dos setores da economia, isso inclui o agronegócio. Farina (2002) aponta que o mercado globalizado é responsável por diversas mudanças na organização das cadeias produtivas.

Silva (2005) destaca o rápido desenvolvimento tecnológico, as mudanças demográficas, as variações nas preferências dos consumidores e a flutuação do capital financeiro, tem obrigado todo o complexo agroindustrial a se adaptar permanentemente à modernização. Dessa forma, a organização passa a ser em cadeias produtivas e em redes, onde as decisões da produção, do processamento e da logística são organizadas de forma a atender prontamente a demanda do mercado consumidor.

Conforme Crepaldi (2005), o crescente desenvolvimento do agronegócio brasileiro tem obrigado as empresas rurais a se conscientizarem e substituírem suas práticas administrativas ultrapassadas por dinâmicas e novos conceitos de planejamento, maior controle e estratégias direcionadas para objetivos lucrativos. Destaca-se pela imprevisibilidade e os riscos inerentes e específicos a atividade agropecuária. No caso do Brasil, os agricultores e pecuaristas carecem de recursos e referências para desenvolvimento com devida competitividade seu negócio. Na grande maioria das vezes eles possuem

grande competência como produtores rurais, mas pecam pela baixa ou nenhuma formação gestora de empreendimentos de agronegócios.

É importante levar em consideração a necessidade de se provocar significativas mudanças no contexto de gerenciamento das atividades agropecuárias. A mudança que apresenta maior dificuldade, certamente é a cultura do produtor e somente dessa forma é possível viabilizar o sucesso do empreendimento rural. Porém essa mudança se esbarra nas atitudes conservadoras e tradicionalistas dos produtores. É preciso que essa conscientização ocorra para que seja possível enfrentar a competição dos mercados, sendo um articulador e buscando um ponto de equilíbrio entre o Antes e o Depois da porteira. (PIZOLATTI, 2015)

O Agronegócio brasileiro possui uma significativa importância na balança comercial, participa com mais de 30% da pauta de exportações, contribui sensivelmente para equilibrar eventuais déficits comerciais do Brasil. (ARAÚJO, 2003).

Para Contini (2015), de qualquer forma que se analise o Brasil, é admirável a representatividade potencial em níveis mundiais. Destaca-se por possuir dimensões continentais, planas e acessíveis, como por exemplo, o cerrado, com área de 80 milhões de hectares, tecnologia e empreendedores capazes de transformar esses pontos fortes, em produtos comercializáveis, vale destacar que ainda há disponível 90 milhões de terras agricultáveis ainda não utilizadas, oportunizando um aumento de mínimo, três vezes sua atual produção de grãos. Dessa forma o país tem sido visto na opinião de muitos especialistas, como principal candidato a posição de grande fornecedor alimentício do planeta.

Até final de 2015, os segmentos em que o Brasil ainda tem uma pequena participação no comércio mundial, o progresso deve ser significativo. Na suinocultura, por exemplo, a participação deve quadruplicar, com a conquista de quase metade do mercado internacional. Aponta-se que em pouco tempo a exportação da suinocultura será tão representativa para a balança comercial, como hoje é a carne bovina e de frango. (SEIBEL, 2015).

Outro produto de extrema relevância e importância na pauta de exportações é a cana de açúcar. O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores mundiais e também o maior exportador do planeta de açúcar, com participação crescente no mercado. Herrera, et al (2005)

baseado em dados da Copersucar (2004), relata que as exportações brasileiras de açúcar representaram um desempenho significativo nos últimos 20 anos, passando de um volume de produção de cerca de 1,7 milhões de toneladas, para 14,5 milhões de toneladas na safra de 2003/2004. Atualmente o Brasil está se dirigindo para ser um dos maiores fornecedores do mundo de álcool anidro.

O progresso da tecnologia é de fundamental importância para a modernização do campo. A utilização de fertilizantes dobrou na última década e o melhoramento genético animal e vegetal, se desenvolve a passos largos, aumentando significativamente em produtividade. A consciência de que a produção deve ser economicamente viável, socialmente justa e ambientalmente correta é o diferencial do Agronegócio moderno.

O agronegócio é a maior atividade comercial do mundo e também do Brasil. A maior parte dessa comercialização refere-se a negócios que estão direcionados fora da porteira, contemplando o suprimento de insumos, o beneficiamento e processamento de matérias-primas e a logística. (STEFANELO, 2002). Araújo (2003) ainda destaca quanto é necessário o avanço de políticas públicas, que permitam maior viabilidade para o crescimento do agronegócio.

Além da importância na geração de renda, o Agronegócio participa efetivamente na ocupação de mão de obra, com destaque para a agricultura que é responsável pelo emprego de cerca de 17 milhões de pessoas, que somados aos outros 10 milhões dos demais setores do agronegócio, totalizam 27 milhões de pessoas em plena atividade. (CONTINI, 2015).

São inegáveis os benefícios e os avanços proporcionados pela sociedade urbana industrial, porém existe uma capacidade insuficiente de absorção de mão de obra, principalmente no caso de regiões pouco desenvolvidas. O Agronegócio prova sua relevância, principalmente por meio da agricultura e dos setores relacionados a atividades agroindustriais como alternativas para o crescimento do emprego e da renda. (RENAI, 2015).

A competitividade se encontra abalada quando se analisa o Agronegócio do ponto de vista Fora da Porteira, com graves deficiências de transporte e embaraços de políticas fiscais, carentes de infraestrutura e de interesses públicos.

Segundo Sproesser *et al.* (2009), o agronegócio no Brasil enfrenta desperdícios no escoamento da produção pelo transporte de forma indevida. Estudos apontados por Dalmás (2008), afirmam que 67% das cargas agrícolas são transportadas por modal rodoviário e o prejuízo com o derrame de grãos durante o transporte rodoviário chega a R\$ 2,7 bilhões a cada safra. Dessa maneira não é possível continuar negligenciando os canais de transporte de grande potencial, sendo necessário contribuir para o desenvolvimento e infraestrutura, através do incentivo da criação de polos de integração entre os sistemas rodoviário, ferroviário, marítimo, fluvial e aéreo, para possibilitar a redução de custos e aumento significativo do nível de serviços. (SANT'ANA, 2010).

Borges (2015) destaca também como impedimento pleno do progresso do agronegócio, a relação entre as políticas fiscais do sistema tributário. Em um mercado de economia aberta, com possibilidade de importar e exportar qualquer produto, a carga tributária brasileira não é compatível com nossos concorrentes, inclusive com os membros do Mercosul, que aplicam cobrança de impostos mais baixos. O produtor brasileiro se encontra sem condições de competição com os mercados externos e por outro lado também perde o próprio mercado interno, uma vez que os produtos importados chegam mais baratos. O constante aumento na arrecadação de impostos onera significativamente os custos de produção. É necessário que ocorra a diminuição da carga e a simplificação dos procedimentos na tributação, através de uma reforma tributária.

Importante igualmente destacar como desafio para o Agronegócio, as medidas de controle sanitário, que também vêm sendo menosprezadas pelo governo. Os prejuízos aos produtores podem ser incalculáveis caso embargos sejam anunciados e os impactos seriam sentidos pelas exportações e a perda de credibilidade do produto brasileiro. (SEIBEL, 2015)

Dessa maneira, pode-se concluir que não se pode negar a existência de grandes obstáculos para alavancagem do agronegócio brasileiro, mas que também existem soluções e medidas que precisam ser urgentemente consideradas.

Existem problemas de ordem socioeconômica que devem ser considerados nas ações de políticas públicas e nas instituições de ensino

relacionadas ao agronegócio, dentre estes a sucessão nas propriedades familiares pequenas e médias dos jovens que em uma condição normal sucederiam os pais no processo de produção e gestão das propriedades. No entanto está ocorrendo um êxodo destes jovens para os empregos urbanos criando uma lacuna em um prazo médio no processo produtivo da agricultura familiar que é responsável pela produção de alimentos da cesta básica e parte dos hortifrutigranjeiros do país. Outro gargalo importante a ser considerado é a compatibilização das questões ambientais amparadas no arcabouço legal com o processo produtivo nas propriedades rurais no tocante aos custos de implantação das ações propostas e da efetiva redução da área de plantio, fato que certamente é fonte de preocupação aos produtores rurais. O Estado deve permanecer atuante, tanto por meio de políticas setoriais, também por intermédio de políticas mais globais, resolver problemas estruturais no tocante ao escoamento da produção com a conservação e expansão da malha rodoviária e ferroviária no país. Em relação às questões de políticas econômicas, estas devem ser revistas e ampliadas, principalmente na reorganização do seguro agrícola que é uma reivindicação antiga das associações de produtores em todo o país e da concessão de crédito de maneira desburocratizada conferindo rapidez e agilidade ao processo. E as questões fiscais que devem ser revistas com ações que diminuem o número de tributos pagos dando maior agilidade à circulação de bens e serviços, contribuindo para minimizar os custos de produção dando maior sustentabilidade a cadeia produtiva da agropecuária que é responsável por grande parcela do PIB nacional e grande empregadora de mão-de-obra.

4.Referências bibliográficas

ARAÚJO, MASSILON J. **Fundamentos do agronegócio**. São Paulo: Atlas, 2003.

BATALHA, M. O. **Gestão agroindustrial**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

BORGES, A. **O grande desafio do agronegócio no Brasil**. Disponível em: <<http://www.emprededorrural.com.br>>. Acesso em: 20 de Agosto de 2015.

CALLADO, A. A. Cunha. **Agronegócio**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

CONTINI, E. **Dinamismo do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo>>. Acesso em: 23 de Agosto de 2015.

CREPALDI, S. A. **Contabilidade rural: uma abordagem decisorial**. São Paulo: Atlas, 2005.

DALMÁS, S. **A logística de transporte agrícola multimodal da região oeste do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) - Programa de Pós-Graduação Strictu Sensu em Desenvolvimento Regional e Agronegócio. Toledo (PR): UNIOESTE, 2008.

FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations. 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/fs-data/ess-fadata/en/>>. Acesso em: 20 de Agosto, 2015.

FARINA, E. M. M. Q. **Consolidation, multinationalisation, and competition in Brazil: impacts on horticulture and dairy products systems**. Development Policy Review, v. 4, n. 20, p. 441-457, 2002.

HERRERA, V. E. **A Competitividade da Agroindústria Sucroalcooleira do Brasil e o Mercado Internacional: Barreiras e Oportunidades**. . XLIII CONGRESSO DA SOBER, 2005.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agronegócio Brasileiro: Uma Oportunidade de Investimentos**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/portal/>>. Acesso em: 21 de Agosto de 2015.

PIZZOLATTI, I. J. **Agribusiness**. Disponível em: <[http://biblioteca.sebrae.com.br/bte/bte.nsf/C84FADCED2D0109E03256F0E00788FA6/\\$File/NT0009853A.pdf](http://biblioteca.sebrae.com.br/bte/bte.nsf/C84FADCED2D0109E03256F0E00788FA6/$File/NT0009853A.pdf)>. Acesso em: 31 de Agosto de 2015.

RENAI. **A Rede Nacional de Informações sobre o Investimento. O Setor de Agronegócio no Brasil: Histórico e Evolução do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: < <http://investimentos.desenvolvimento.gov.br/intern>>. Acesso em: 20 de Agosto de 2015.

SANT'ANA, J. **Análise da viabilidade operacional da implantação do Terminal Intermodal de Cargas no estado de Mato Grosso do Sul: um estudo sobre a importância na integração dos modais de transporte para o agronegócio.** In: ENANGRAD, 21., 2010, Brasília. Anais... Brasília: ANGRAD, 2009.

SEIBEL, F. **O novo salto do agronegócio.** Exame. Disponível em: <<http://www.portalexame.abril.com.br/berto/anuarioagrone>>. Acesso em: 23 de Agosto de 2015.

SILVA, C. A. B. **The growing role of contract farming in agrifood systems development: drivers, theory and practice.** 2005. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/Ags/subjects/en/agmarket/docs/AGSF9.pdf>>. Acesso em: 22 de Agosto de 2015.

SPROESSER, R.; SOGABE, V.; PEREIRA, A.; CAMPEÃO, P.; MELLO, R. **Produtividade em terminais intermodais de grãos: um estudo multicaso utilizando a análise envoltória de dados - DEA.** In: ENEGEP, 29., 2009, Salvador. Anais... Salvador: ABEPRO, 2009.

SILVA, L. L. **O papel do estado no processo de ocupação das áreas de cerrado entre as décadas de 60 e 80: Caminhos de geografia - Revista On Line Caminhos De Geografia 1(2)24-36, UFU, Dezembro de 2000.**

STEFANELO, E. L. **Agronegócio brasileiro: propostas e tendências.** Revista FAE Business. n 3, set. 2002.

VILARINHO, M. R. **Questões sanitárias e o agronegócio brasileiro.** Disponível em: <<http://www.embrapa.br/embrapa/>>. Acesso em: 21 de Agosto 2015.

PRODUÇÃO DE ETANOL COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A OBTENÇÃO DE ENERGIA

2

TONY MÁRCIO DA SILVA
Biólogo, Msc., Dr.
Centro Universitário do Planalto de Araxá-UNIARAXÁ

ELBIA MESSIAS DA SILVA
Bióloga
Colégio Tiradentes Uberaba

JOÃO ISMAEL DA SILVA
Biólogo
Fundação Cultural de Uberaba

1. Introdução

Encontrar uma demanda crescente de energia para o transporte, processos industriais e prover uma matéria-prima para a indústria de modo sustentável, sem dúvida, constitui um dos maiores desafios para a sociedade do século XXI. Considerando que 60% do consumo mundial de energia provém do petróleo, Gás natural e seus derivados, e também que as reservas de combustíveis fósseis são finitas, a segurança de abastecimento torna-se uma problemática para muitos países que os importam, além do seu uso ser a principal fonte de gases que estão provocando mudanças climáticas e o aquecimento global. Diante deste real cenário, o biodiesel e, principalmente o etanol, passaram a constar de forma definitiva na agenda dos governos e de ambiciosos projetos de praticamente todos os países. Em se tratando de etanol, destaca-se que sua utilização não está apenas restrita ao combustível, mas também incorpora o etanol grau químico, que é rotineiramente utilizado como fonte de matérias-primas para a fabricação de importantes produtos químicos, o que leva a redescoberta da alcoolquímica.

À medida que metas audaciosas são estabelecidas para aumentar o consumo do etanol nas próximas décadas, principalmente nos países desenvolvidos, novos projetos visando ao desenvolvimento de novas matérias-primas para a produção de etanol são criados para aumentar

substancialmente a produção deste combustível. Nesse sentido, a utilização da biomassa lignocelulósica e a construção de biorrefinarias integradas análogo ao das refinarias de petróleo ganham status. Os materiais lignocelulósicos em função da sua grande disponibilidade e baixo custo vêm sendo estudados como fonte de açúcares fermentescíveis para a produção de etanol. Dentre estas fontes podem-se destacar os resíduos agroindustriais como casca e palha de arroz, palha de cevada, palha de trigo, sabugo e forragem de milho, e principalmente o bagaço e a palha de cana-de-açúcar.

Muitas pesquisas estão sendo realizadas para melhorar a digestibilidade química e enzimática da biomassa lignocelulósica para a eficiente conversão da celulose e hemicelulose em etanol. Dentre estas tecnologias podem-se destacar os pré-tratamentos termoquímicos, o desenvolvimento de enzimas mais eficientes na hidrólise dos polissacarídeos e a busca por microrganismos capazes de fermentar pentoses e hexoses com maior eficiência. Nos últimos anos muito tem se falado em sustentabilidade e a utilização de um resíduo que normalmente é descartado gerando sérios problemas ao meio ambiente para a geração de energia renovável constitui uma prática inteligente, que ao mesmo elimina um problema para o meio ambiente e também agrega valor a um subproduto que é normalmente descartado.

2. Biocombustíveis

Biocombustíveis referem-se aos combustíveis gasosos ou líquidos do setor de transporte os quais são predominantemente produzidos a partir de recursos naturais. Pode-se destacar o etanol (líquido), o hidrogênio e o metano (combustíveis gasosos) como os principais combustíveis produzidos a partir da biomassa. Comparando os biocombustíveis com os combustíveis tradicionais é possível observar algumas vantagens nos primeiros, como por exemplo, a fácil obtenção a partir de fontes biomássicas baratas e muito abundantes. Outra vantagem diz respeito a menor emissão de gás carbono para a atmosfera e, além disso, a produção de biomassa é potencialmente favorecida pela crescente disponibilidade de gás carbônico na atmosfera. Outra e talvez mais importante vantagem do uso de biocombustíveis está na sua facilidade de degradação o que conseqüentemente corrobora com as atuais teorias da sustentabilidade.

3.A evolução da produção do etanol e sua importância para o cenário econômico brasileiro

A tecnologia de produção do etanol brasileiro a partir da cana-de-açúcar, sem dúvida, é capaz de fazer frente aos desafios energéticos internacionais contemporâneos, principalmente por causa do alto preço do petróleo. Diante disso, é possível realizar uma abordagem teórica sobre a evolução do etanol e sua importância para a economia brasileira.

O etanol produzido a partir da cana-de-açúcar surgiu basicamente por duas razões principais: a necessidade de amenizar as sucessivas crises do setor açucareiro e a tentativa de reduzir a dependência do petróleo importado. Concomitante a isso, no início do século XX, ocorreram as primeiras ações de introdução do etanol na matriz energética brasileira. Especificamente no ano de 1925, surgiu a primeira experiência brasileira com etanol combustível que partiu de um projeto de engenharia que já vinha sendo realizado no Brasil desde o início do século. Essa experiência apresentou a primeira viagem de um carro do Rio de Janeiro a São Paulo, cerca de 430 km, movido a álcool. No mesmo ano, ocorreu a conferência “O álcool como combustível industrial no Brasil”, realizada pelo Engenheiro civil Ernesto Lopes da Fonseca Costa, na Escola Politécnica do Rio de Janeiro. Esta conferência foi considerada como uma das primeiras ações de defesa do uso do combustível.

Na década de 30, o Governo de Getúlio Vargas, cria o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), por meio da Lei 737/1933, que deteve o controle do mercado de açúcar, com uso de cotas de produção e aplicação de extenso controle em todas as etapas do processo produtivo, de comercialização e de comércio exterior. Com a Lei tornou-se obrigatória a mistura de etanol na gasolina. O Instituto do Açúcar e do Alcool foi criado como forma de tentar beneficiar a cultura da cana-de-açúcar, com forte apoio do governo. A cotação do produto no início da década de 30 era um terço do que fora no início da década de 20.

No ano de 1975, lança-se o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), cujo objetivo maior era a redução da dependência nacional em relação ao petróleo importado, tendo em vista que o Brasil importava, aproximadamente, 80% do petróleo consumido, o que correspondia a cerca de 50% da balança comercial. O Proálcool fez com que o Brasil detivesse a maior tecnologia na produção de etanol no mundo que,

logo em seguida, com a ampliação da eficiência técnica e econômica, os custos reais da produção de álcool reduziram-se em 35%. O projeto Proálcool teria ajudado a reduzir a volatilidade do mercado de açúcar. Até a safra agrícola de 1985 o programa ajudou a economizar divisas da ordem de US\$ 10 bilhões. Nesta época, o Brasil tinha passado pela crise da dívida internacional, o que fazia com que reservas de dólares fossem algo escasso.

Além disso, o Proálcool gerava cerca de 700 mil empregos diretamente e, quando incluídos os empregos das indústrias de máquinas, equipamentos e insumos para produção de álcool, bem como da indústria automobilística, mais 500 mil empregos eram gerados.

O trabalhador canavieiro recebia salários mais elevados comparados a 70% da população economicamente ativa nos setores de agropecuária, extração vegetal e pesca. Ademais, a renda familiar dos trabalhadores no setor, entre dois e cinco salários mínimos, era maior do que os recebidos por 50% das famílias brasileiras.

Com a elevada produção de cana-de-açúcar, produção de etanol e preço menor que a gasolina, usava-se mais este combustível. Por outro lado, a poluição ambiental era evitada: redução de 70% a 80% na emissão de chumbo entre 1978 e 1983, além de redução da ordem 57% e 64% de monóxido de carbono e hidrocarbonetos, respectivamente. Entretanto, com um governo politicamente fraco e mergulhado em uma imensa crise econômica, não restou muita coisa ao Brasil a não ser se submeter a um programa de ajuste fiscal do Fundo Monetário Internacional. Com o Governo do Presidente José Sarney, tentando dar estabilidade à produção de álcool, estabeleceu-se quatro diretrizes: a irrestrita continuidade do programa de produção de álcool; comprovação de sua total e absoluta viabilidade técnica; incentivo a seu aumento de produtividade; manutenção do valor do álcool a 65% do preço da gasolina.

Entretanto, era preciso incentivos para a penetração do etanol no mercado internacional. Esses incentivos duraram, basicamente, até o fim do regime militar, em 1984. Durante a segunda metade da década de 80, iniciou-se novo período, sem subsídios, quando o Governo tentou diminuir seu papel no setor. Mesmo com toda euforia do Proálcool, em 1986, ainda em um contexto de grande produção de

carros movidos a álcool, os preços do petróleo despencaram, chegando a menos de US\$ 15 por barril em 1987.

Outros fatores são relevantes para entender o momento econômico por que passava o país: uma série de malsucedidos planos econômicos; dificuldade de pagamento da dívida externa, declaração de moratória, custo fiscal elevado, descontrole das finanças públicas, desajuste monetário, inflação, greves e comoção social.

Além do mais, a Petrobras alegou que em 1987 a conta álcool gerou prejuízos para a empresa da ordem de 0,5 milhão de dólares por dia. No governo Collor, em 1990, extinguiu-se o Instituto do açúcar e do álcool e os subsídios da produção de açúcar foram retirados. Neste momento, o Brasil passa a ser um grande exportador de açúcar.

Com a chegada do século XXI, o Brasil começa a ter um setor sucroalcooleiro forte e competitivo. Isso foi possível graças ao esforço em garantir o mercado interno do etanol e de ganhar novos mercados de açúcar. Este setor começou a ganhar impulso, a partir de 2003, com os veículos flex, que foram inicialmente desenvolvidos nos EUA a partir da Corporate Average Fuel Economy. Estes veículos admitem operar com qualquer porcentagem de etanol na mistura combustível.

Com a redução dos custos de produção do etanol (cerca de 70%) e, por outro lado, o aumento do preço internacional do petróleo, o etanol tornou-se um biocombustível altamente competitivo em relação à gasolina, tanto no mercado interno, quanto no externo. Dessa forma, este cenário promoveu a expansão da produção do etanol no Brasil.

É importante destacar dois fatores que influenciaram a expansão do etanol no mercado: redução dos custos de produção e aumento dos preços internacionais do petróleo, que por si sós, mobilizaram os inúmeros novos empreendimentos verificados nas últimas décadas. Com isso, uma série de políticas foram se desenvolvendo para dar suporte ao etanol no Brasil.

Em um contexto positivo, a indústria sucroalcooleira, veio produzindo alimentos e bebidas, açúcar líquido e granulado, álcool anidro e hidratado (inclusive aqueles para uso doméstico), além de outros subprodutos do processamento químico, também, começa a produzir bioeletricidade a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

Em 2005, foi lançado o Programa Nacional de Produção e Uso

do Biodiesel (PNPB). A partir de então, o Estado passou a ter metas de uso de biodiesel na matriz energética nacional. De 2005 a 2007, a adição de dois por cento de biodiesel ao diesel fóssil era autorizada, evoluindo para ser obrigatória, no mesmo percentual (2%), de 2008 a 2012. O percentual subiria para cinco por cento a partir de 2013. Além disso, novas atribuições relativas aos biocombustíveis foram atribuídas ao Conselho Nacional.

Assim, percebe-se que a trajetória do etanol no Brasil marcou um tempo de altos padrões compatíveis com o comércio exterior. Em 2008, cerca de 92% dos carros vendidos eram com a tecnologia flex e mais de 2,2 milhões de unidades foram produzidas. A quantidade de etanol consumida no país já é maior do que a gasolina “A”.

Com a crescente demanda por combustível é possível destacar que o Brasil tem buscado projetos energéticos, como a exploração da camada pré-sal, um investimento estratégico, que aumentará a importância do Brasil na economia mundial, além de tornar o país autossuficiente na produção de gás natural. Ademais, tem buscado projetos energéticos que causem menores impactos ambientais em relação à produção do etanol. Isso pode ser verificado com o expressivo aumento do número de usinas de biomassa e com pesquisas de novas fontes renováveis, como os biocombustíveis, produtos à base de plantas e das quais se produz o biodiesel.

O etanol é uma alternativa para diminuir problemas ambientais e energéticos no mundo em razão da escassez e alta dos preços dos combustíveis fósseis e da poluição por eles causados. Neste contexto, o Brasil encontra-se em posição de destaque no que se refere à produção de etanol, por apresentar vantagens na tecnologia de produção, liderança na agricultura de energia e mercado de biocombustíveis sem ampliar a área desmatada ou reduzir a área destinada à produção de alimentos.

Além disso, a matriz energética brasileira já é um exemplo de sustentabilidade, pois enquanto a média mundial é o uso de apenas 14% de fontes renováveis, o Brasil utiliza 46,8% dessas fontes, segundo a União da Indústria de Cana-de-açúcar (2012). Atualmente há 359 destilarias de etanol no estado de São Paulo. Hoje, a distribuição de destilarias é como segue: 43% em São Paulo; 9% em Minas Gerais; 8%, havendo tendências de descentralização para o Mato Grosso do Sul, para o Triângulo Mineiro e para Goiás.

Em relação a produção de etanol o Brasil é privilegiado por duas razões: a primeira é a infraestrutura para produzir etanol e o conhecimento sobre o combustível acumulado pelos cientistas. A segunda razão é o custo da matéria prima disponível nos pátios das usinas. Diante disso, percebe-se que com o aumento do preço do petróleo nos principais mercados internacionais, e conseqüentemente, seus derivados. Há ainda o agravamento da concentração de gases que acarretam o efeito estufa na atmosfera e o aquecimento global, a questão energética estratégica para o desenvolvimento. Assim, a busca pelo bem-estar e segurança das nações, a procura por fontes alternativas de energia capazes de serem produzidas em larga escala, renováveis e limpas, coloca o etanol como uma opção viável e sustentável.

Desta forma, mesmo sendo essa uma alternativa possível ante os desafios, a crescente demanda tanto no mercado nacional quanto internacional faz-se necessário um salto qualitativo e quantitativo em sua produção, ou seja, o aumento da quantidade de etanol produzido. Percebe-se a importância do etanol como fonte de energia e combustível mais limpo que existe, além de ser uma produção que é a partir da cana-de-açúcar, matéria-prima renovável, de crescimento rápido e de safra anual; a emissão de CO₂ pela combustão do etanol é menor que a dos combustíveis fósseis, com isso ajudando na diminuição do aquecimento global.

4. Rotas tecnológicas para a produção de etanol de segunda geração

Para a obtenção do etanol qualquer produto que contenha açúcares ou outro carboidrato pode ser utilizado como matéria-prima, entretanto, para a viabilidade do processo é preciso fazer uma análise do custo da produção, volume de produção e rendimento industrial. Essas matérias-primas podem ser classificadas em matérias primas amiláceas e feculentas, agrupando grãos amiláceos, raízes e raízes feculentas, matérias-primas açucaradas, agrupando: cana-de-açúcar, beterraba açucareira, sorgo sacarino, milho sacarino, melaços, mel de abelhas e frutas; e em matérias-primas celulósicas, incluindo palhas, madeiras, resíduos agrícolas e resíduos sulfíticos de fábricas de papel. A partir da biomassa açucarada (cana-de-açúcar, beterraba) os açúcares fermentescíveis são extraídos por pressão ou por difusão. Quando se utiliza de biomassa amilácea ou biomassa celulósica a obtenção

da solução açucarada é um pouco mais complexa sendo necessários processos de trituração do material com uma subsequente aplicação de hidrólise enzimática para os amiláceos e hidrólise química e enzimática além de outros pré-tratamentos para a biomassa celulósica. Após a obtenção da solução açucarada fermentável esta é encaminhada para as dornas fermentativas. A fermentação alcoólica pode ser considerada como a oxidação anaeróbica da glicose, pela ação de microrganismos, as leveduras, com a obtenção de álcool etílico e gás carbônico como produto final. As leveduras são os agentes biológicos ativos responsáveis pela fermentação alcoólica e podem ser definidas como fungos especializados, unicelulares e desclorofilados. Para garantir o êxito do processo fermentativo na fabricação do álcool é de fundamental importância que se escolha a levedura ideal que na maioria das vezes é a *Saccharomyces cerevisiae*. A escolha da levedura ideal normalmente obedece alguns requisitos e dentre eles podemos destacar a velocidade da fermentação que está relacionada com a quantidade de açúcar transformado em álcool por unidade de tempo e massa de levedura, a resistência ao álcool pois é importante que as cepas escolhidas apresentem resistência a altas concentrações de etanol quando se utiliza maiores concentrações de açúcares, resistência ao pH e antissépticos onde a levedura precisa tolerar a variações do pH do meio e a antissépticos, e por último a estabilidade genética o que garante que as características anteriores relatadas sejam mantidas nas gerações subsequentes da linhagem.

Após a fermentação, o álcool passa por destilações. Passando esse, por seqüência, na maioria das vezes, pelo processo de desidratação, pois, o álcool etílico estará com concentração superior a 97,2% em volume (95,6% em peso).

5. Biomassa celulósica e a produção de etanol

Os compromissos mais sólidos com a questão ambiental desde a assinatura do Protocolo de Quioto juntamente com o recente retorno dos aumentos no preço do petróleo, as perspectivas de esgotamento das reservas, e os riscos geopolíticos em função da dependência do petróleo de países politicamente instáveis fizeram renascer a atenção para a utilização de fontes alternativas para geração de energia. Dentro deste

contexto surge o projeto bioetanol (Produção de bioetanol através de hidrólise enzimática de biomassa de cana-de-açúcar) tem como meta viabilizar uma tecnologia para a conversão da celulose do bagaço e da palha da cana ao combustível etanol, já que apenas um terço da biomassa contida na planta é aproveitado para a produção de açúcar e etanol, minimizando a expansão dos canaviais.

A hidrólise da biomassa celulósica consiste na conversão desta em açúcares fermentáveis, via processos químicos (hidrólise ácida) ou biológicos (hidrólise enzimática). O processo de hidrólise quebra as cadeias de celulose e hemicelulose em hexoses e pentoses, respectivamente. Diversas estratégias para a conversão de materiais lignocelulósicos em açúcares fermentáveis tem sido demonstrada em escala laboratorial e piloto. O conceito geral envolve pré-tratar a matéria bruta para, então, submetê-la a hidrólise enzimática. Embora o pré-tratamento possa ser conduzido por princípios bastante variados, tem por finalidade alterar ou remover a hemicelulose e/ou a lignina, aumentar a área superficial e diminuir o grau de polimerização e a cristalinidade da celulose, o que acarreta em aumento na digestibilidade enzimática e, conseqüentemente, no rendimento em açúcares fermentáveis.

6. Pré-tratamentos de materiais lignocelulosicos

A hidrólise enzimática dos materiais lignocelulósicos consiste em uma etapa fundamental para a obtenção de açúcares fermentáveis. Porém, é limitada por vários fatores de resistência tais como a área superficial pouco acessível (porosidade do material), umidade do material, grau de polimerização e a cristalinidade. Muitas pesquisas têm mostrado que as causas da resistência dos materiais lignocelulósicos a hidrólise enzimática são o baixo acesso das enzimas hidrolíticas às fibras celulósicas e a presença de outros componentes na superfície (hemicelulose e lignina) impedindo a ação das celulasas ao substrato. Um processamento prévio e adequado destes materiais torna-se necessário para diminuir a cristalinidade da celulose, e também de modo geral romper a barreira física e assim melhorar a acessibilidade da celulose por parte das enzimas celolíticas. Esses processamentos prévios também conhecidos como pré-tratamentos influenciam diretamente no custo das etapas seguintes por determinar alguns fatores como a toxicidade da fermentação, a taxa

de hidrólise enzimática, carga de enzima utilizada no processo, o poder de mistura dos reagentes, a concentração e a purificação dos produtos obtidos, a demanda no tratamento de resíduos, entre outras variáveis. Dentre as técnicas de pré-tratamento dos materiais lignocelulósicos consideradas mais promissoras no processo de obtenção de etanol a partir da biomassa vegetal, pode-se destacar o tratamento com **ácido diluído**, o tratamento hidrotérmico, alcalino, a AFEX (Ammonia Fibre Explosion), a explosão a vapor e tratamentos específicos para remoção da lignina.

O pré-tratamento com o ácido diluído têm sido aplicado a diversos resíduos agrícolas, empregando-se uma extensa faixa de catalisadores, tais como os ácidos sulfúrico, clorídrico, fosfórico, nítrico e hidrocloreto. O processo é conduzido sob alta temperatura e pressão, e tem um tempo de reação na faixa de segundos ou minutos, com o objetivo de solubilizar a hemicelulose, e com isso deixar a celulose mais acessível para a etapa de sacarificação enzimática. Esse tratamento hidrolisa a hemicelulose em açúcares como a xilose, arabinose, dentre outros, os quais se solubilizam em água e o restante do material consiste em um resíduo sólido rico em lignina e celulose. Historicamente processos industriais tem-se utilizado o ácido sulfúrico a uma concentração de 0,5 a 1,5% (m/v) a uma temperatura superior a 160^o C por conta do alto rendimento em açúcares oriundos da hemicelulose e também por favorecer os processos subsequentes que consistem na aplicação de enzimas na hidrólise da celulose. Processos de pré-tratamentos alcalino utilizam condições moderadas de operação (temperatura e pressão) em comparação com sistemas ácidos e nesses casos o efeito desse tratamento vai depender da quantidade de lignina presente na biomassa a ser pré-tratada. O principal efeito consiste na remoção da lignina da biomassa, promovendo maior reatividade da fibra de celulose com enzimas hidrolíticas.

Considerado como um dos métodos mais promissores de pré-tratamentos de materiais lignocelulósicos, o pré-tratamento hidrotérmico consiste na utilização de água sob alta temperatura e pressão. A água sob elevada pressão pode penetrar na estrutura celular da biomassa, hidratar a celulose e remover a hemicelulose. Em relação ao tratamento com ácido diluído e alcalino, o hidrotérmico tem a

vantagem de não requerer o uso de ácidos e alcalis, conseqüentemente não havendo a necessidade de se trabalhar com reatores resistentes a corrosão, reduzindo o custo do processo, além de produzir quantidades muito menores de resíduos por neutralização do hidrolisado.

O pré-tratamento por explosão a vapor tem sido proposto como um dos métodos promissores atuando química e fisicamente na transformação do material lignocelulósico. A biomassa é tratada com vapor saturado a temperatura que variam de 160 a 240^o C, durante um tempo de reação que pode variar de 2 a 30 minutos, sendo que, após o tempo de reação ocorre a descompressão explosiva do sistema e o material pré-tratado é coletado em um tanque de expansão. Durante o processo as hemiceluloses são hidrolisadas a açúcares solúveis e a lignina é parcialmente modificada, tornando a biomassa mais susceptível a ação enzimática. O pré-tratamento AFEX (Ammonia Fibre Explosion) consiste na versão alcalina do processo de explosão a vapor. Neste caso, a biomassa é submetida à ação de amônia líquida a temperaturas que podem variar entre 160 e 180^o C, sob pressão de 9 a 17 bar, por um período de 10 a 20 minutos. Algumas vantagens na utilização deste processo podem ser destacadas como por exemplo a elevada reatividade das fibras de celuloses, geração mínima de inibidores de fermentação e a facilidade na recuperação da amônia.

7.Referências bibliográficas

BASTOS, V.D. Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias (2007). BNDES/Setorial, Rio de Janeiro, n.25, p.5-38. Disponível em: Acesso em 06 dez. 2013.

BRANCATI, Lucas. A questão energética. IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 5, 2009.

BAUDEL, H. M. Pré-tratamento e hidrólise. III Workshop Tecnológico sobre Hidrólise para Produção de Etanol, São Paulo, dez. 2006.

BON, E. P. S. Ethanol production via enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse and straw. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto de Química, jan. 2008.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. Biomassa para energia. Campinas, SP. Editora da Unicamp, 2009.

GUSMÃO, R. H. Avaliação do Proálcool e suas perspectivas. Sociedade de Produtores de Açúcar e de Álcool, São Paulo, 1985.

HENDRIKS, A. T. W. M.; ZEEMAN, G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, n. 100 p. 10-18, 2009.

HORTA NOGUEIRA, L. A. et al. Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

LEITE, Rogério Cerqueira Leite; CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. O Etanol Combustível no Brasil. In: *Biocombustíveis no Brasil: Realidades e perspectivas*. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/etanol3_000g7gq2cz702wx5ok0wtedt3xdrmfk.pdf. Acesso em: dezembro de 2009.

LOPES, L. A. Vinte anos de proálcool: avaliações e perspectivas. *Rev. Economia & Empresa*, São Paulo, v. 3, n.2, p. 49-57, abr./jun. 1996.

MELO, F. H. de. Proálcool, energia e transportes. São Paulo. Pioneira: FIPE, 1981.

NASSIF, Luiz. Empresas dinamarquesas anunciam tecnologia para fazer etanol de bagaço de cana. Portal IG. Disponível IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 5, 2013.

PACHECO, Thályta Fraga. Produção de Etanol: primeira ou segunda geração? IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 5, 2009.

RODRIGUES, C. P.; CAMARGO, J. A. Bagaço de cana-de-açúcar como potencial para cogeração de energia elétrica e etanol celulósico. São Joaquim da Barra: Colégio Iara Coimbra, 2008.

ROMERO, Thiago. Produção de etanol no Brasil deverá subir dos atuais 18 para 65 bilhões de litros por ano em 2020. Disponível em: http://inovabrasil.blogspot.com/2007_10_02_archive.html. Acesso em: 15 junho de 2008.

ROSA, S. S. da; GARCIA, J. L. F. O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. *Revista do BNDES*, n. 32, p. 119-150, dez. 2009.

ROSILLO-CALLE, E., BAJAY, S. V., ROTHMAN, H. Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2005

SILVA, N. L.C. Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual da indústria de celulose. Dissertação apresentada Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências (M.Sc). Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

TENGERDY, R. P., SZAKACS, G. Bioconversion of lignocellulose in solid substrate fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 13:169-179, 2003.

VRIES, R. P.; VISSER, J. *Aspergillus* enzymes involved in degradation of plant cellwall polysaccharides. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* ,p. 497-522, 2001.

1. Introdução

1.1. Hormônios vegetais

A formação e a função dos organismos multicelulares não poderiam ser mantidas sem uma eficiente comunicação entre células, tecidos e órgãos. Nos vegetais superiores, a regulação do metabolismo, o crescimento e a morfogênese dependem de sinais químicos de uma parte da planta para a outra. Estes sinais são transmitidos pelos hormônios vegetais. **Hormônio vegetal** pode ser definido como um composto orgânico endógeno sintetizado em uma parte da planta e translocado para outra parte, não nutriente, o qual em baixas concentrações (10^{-4} M), promove, inibe ou modifica processos morfológicos e fisiológicos do vegetal (TAIZ E ZIEGER, 2009). Já o termo **regulador de crescimento** é normalmente empregado para compostos naturais (fitohormônio e substâncias naturais de crescimento) ou sintéticos (hormônio sintético e regulador sintético) que exibem atividade no controle do crescimento e desenvolvimento da planta.

A sinalização hormonal garante o crescimento equilibrado das plantas, onde hormônios vegetais desempenham funções nos processos fenológicos desde a germinação, enraizamento, crescimento vegetativo, florescimento, frutificação e senescência.

Até pouco tempo, acreditava-se que o desenvolvimento vegetal era regulado por apenas cinco tipos de hormônios: auxinas, giberilinas, citocininas, ácido abscísico e etileno. Entretanto, atualmente já foi demonstrada a existência de outras moléculas sinalizadoras que

apresentam efeitos fisiológicos e podem ser consideradas como reguladores de crescimento e novos grupos de hormônios vegetais como os brassinoesteróides, jasmonatos, salicilatos e poliaminas.

Dentre estas classes de substâncias, algumas promovem o desenvolvimento da planta, enquanto outras, inibem vários aspectos do desenvolvimento da planta, podendo as mesmas atuarem sozinhas ou em conjunto no que chamamos de balanço hormonal.

2. Mecanismo de ação dos hormônios vegetais

A sequência de eventos iniciada pelos hormônios pode geralmente ser apresentada em três estágios (Figura 1): a percepção do sinal; a via de transdução e amplificação do sinal; e a resposta final.



Figura 1. Sequência de eventos para o modo de ação de hormônios vegetais.

A percepção do sinal pode ser alguma mudança no ambiente (alteração na umidade do solo, na temperatura do ar, na concentração de íons, respostas à luz, etc.) ou no desenvolvimento da planta (germinação ou dormência, passagem do desenvolvimento vegetativo para o reprodutivo, formação de sementes e frutos, senescência, queda de folhas, amadurecimento de frutos, etc.). Estes sinais podem induzir a produção de hormônios.

Esta percepção do sinal envolve a reação do hormônio com um receptor. O hormônio pode difundir-se de célula para célula através do simplasto ou do apoplasto. Em cada evento a célula destinada a responder ao hormônio, conhecida como célula alvo, deve ser capaz de detectar a presença do hormônio, o que é feito através de receptores.

A detecção é acompanhada pela interação entre o hormônio e o receptor celular, o qual é específico para o hormônio e característico da célula alvo. Estes receptores são glicoproteínas que se ligam reversivelmente com o hormônio. A formação do complexo ativo hormônio-receptor, completa o estágio de percepção do sinal.

A tradução e amplificação do sinal inicia uma cascata de eventos bioquímicos/moleculares que finalmente levam à resposta final.

Nesse ponto, é importante distinguir duas classes de mensageiros. O hormônio é considerado um mensageiro primário porque ele identifica e inicia a mensagem original na superfície celular. Outras moléculas de sinalização (Ca^{2+} , Inositol trifosfato – IP3, AMP cíclico, etc.) são consideradas mensageiros secundários. Estes mensageiros secundários providenciam a amplificação do sinal original (identificado pelo hormônio), iniciando, assim, uma ou mais vias de transdução de sinal.

A resposta final de cada célula para sinais identificados pelos hormônios, depende de dois principais fatores: (1) seu programa de desenvolvimento, isto é, os tipos de genes que estão sendo expressos no tempo de exposição ao sinal; (2) a concentração de outras moléculas de sinalização (mensageiros secundários).

Dependendo da velocidade da resposta, as vias de transdução de sinal podem provocar ou não alterações na expressão gênica. Em alguns casos, a resposta envolve alteração na atividade de enzimas pré-existentes ou na abertura de canais de íons. Em outros casos, a resposta envolve a ativação ou inibição de fatores de transcrição, os quais alteram a expressão gênica.

3. Tipos de hormônios

3.1. Brassinoesteróides

Os brassinosteróides (BRS) são hormônios que têm distribuição ampla no reino vegetal, sendo encontrados em algas, gimnospermas e angiospermas. Eles podem ser localizados em várias regiões da planta como, por exemplo, nos botões florais, grãos de pólen, folhas, sementes, frutos, caules e gemas, porém não nas raízes.

A biossíntese e a ação desta classe de hormônios pode ser regulada pela luz, alterando a resposta das células a esta substância. A produção

de BRS inicia-se a partir de um esteroide vegetal conhecido como campesterol, que é reduzido e depois oxidado, formando inúmeros tipos de BRS, que se diferenciam por terem diferentes números de carbonos em sua estrutura (KERBAUY, 2008).

A forma de transporte dos BRS na planta também não está elucidada. Os primeiros trabalhos indicam, de forma indireta, que podem ser transportados das raízes para a parte aérea da planta via xilema, podendo desta forma estar envolvidos na sinalização molecular para induzir a síntese da ACC sintase, estimulando a síntese de etileno (ARTECA, 1995). Quando aplicado em raízes de alface e tomateiro o brassinolídeo afeta o crescimento do hipocótilo e pecíolos e na base do hipocótilo de feijão causa alongamento do epicótilo (GREGORY e MANDAVA, 1982), demonstrando claramente a mobilidade dos BRS no sistema vegetal.

Resultados recentes sugerem que os BRS são substâncias pouco solúveis em água, sendo substâncias pouco móveis nas plantas. Para que possam movimentar-se nas plantas, os BRS parecem se associar a uma proteína chamada de Bet v1. O complexo BRS+Bet v1 é mais solúvel em água e permite maior movimentação deste hormônio esteroide na planta (CAMPOS, 2009).

O papel exato desses produtos em nível celular permaneceu sem resposta por muito tempo e só durante os últimos anos que algumas respostas foram fornecidas. No que diz respeito à atividade fisiológica dos BRS, é muito variada, e diversas opiniões recentes fornecem uma atualização sobre todas estas propriedades, sabe-se que o alongamento e a divisão celular são ampliados na presença dessas substâncias (FREITAS, 2010).

Os BRS estimulam certas enzimas que desempenham papel importante no fenômeno de crescimento: como a ativação da bomba de prótons, a síntese proteica e de ácidos nucléicos, etc. Também induzem a uma mudança na composição de alguns aminoácidos em proteínas. Em nível das membranas celulares, provocam mudanças na composição de ácidos graxos ocasionando mudança nas suas propriedades (plasticidade). Além disso, aumenta a capacidade de síntese de composto polissacarídeo que facilita o fenômeno de transporte de moléculas (translocação).

Além da significativa atividade promotora do crescimento, os BRS também influenciam em vários outros processos de desenvolvimento como germinação e vigor de sementes, florescimento e superação da dormência de gemas e sementes, senescência, abscisão e maturação, indução da síntese de etileno (YI et al., 1999) e na proteção das plantas contra salinidade, altas temperaturas, seca e frio (MAZORRAS *et al.*, 2002). Entretanto, os mecanismos pelos quais os BRs modulam as respostas a estes estresses não estão totalmente compreendidos.

Finalmente, elas desempenham um papel dominante em relação a outros hormônios vegetais, na medida em que regulamentam a sua atividade, ou a sua produção. Sua atividade é sinérgica com o de auxinas e giberelina, parece induzir a síntese de etileno, bem como o cis-épijasmônico. Em vários sistemas os BR interagem fortemente de forma sinérgica com as auxinas. Por outro lado, as respostas dos BR e das giberelinas parecem ser ambas independentes e aditivas, desta forma os BR podem funcionar de forma similar às auxinas em um momento e similar às giberelinas ou citocininas em outro (TANAKA *et al.*, 2003). Todos estes eventos são os principais condutores do efeito positivo do BRS observado no nível macroscópico do crescimento.

Quando é feito o tratamento com brassinosteróides nas raízes em mutantes BRS deficientes, o resultado depende da sua concentração. Quando em baixa concentração, o hormônio estimula o crescimento e desenvolvimento da raiz, e quando em alta concentração pode inibir ambas as atividades.

3.2. Jasmonatos

Os jasmonatos são hormônios formados tanto pelo ácido jasmônico (AJ) como também pelo metil jasmonato. Esses compostos foram inicialmente detectados em *Jasminum grandiflorum* e *Rosarinus officinalis*, constituem um grupo de substâncias identificadas, presentes em uma grande variedade de espécies vegetais (MEYER *et al.*, 1984).

O nível de jasmonatos em plantas varia em função do tecido e tipo celular, estágio de desenvolvimento e em resposta a estímulo ambiental, e quando aplicado em plantas, o AJ e seu metil éster alteram a expressão de genes e desencadeiam a síntese de uma variedade de proteínas diferentes chamadas JIPs (Proteínas Induzidas por Jasmonatos) (SEMBDNER & PARTHIER, 1993).

A biossíntese do AJ depende da ação de determinadas enzimas, como a lipoxigenase que promove a oxigenação do ácido linolênico até a formação do ácido 13-hidroxiperoxilinolênico. O ácido 12-oxo-fitodienóico é formado a partir de reações oxidativas que encurtam a cadeia lateral, com a produção final do AJ.

Representa um grupo de compostos, que desempenham papel crucial no crescimento, desenvolvimento e resposta a diferentes condições de estresse ambiental da planta (CORTÊS, 2000). Eles induzem a expressão de genes que codificam proteínas específicas, como inibidores de proteases, enzimas envolvidas com a produção de flavonóides e diferentes proteínas relacionadas com doenças (CORTÊS, 2000), desempenhando ainda papel importante na defesa das plantas contra danos causados por raios UV-B (SCHALLER, 2001).

Morfológica e fisiologicamente, os jasmonatos apresentam tanto efeito promotor como inibidor nos vegetais, sendo alguns destes efeitos semelhantes àqueles causados pelo ácido abscísico e pelo etileno. Existem estudos que mostram a ação destes hormônios sobre a senescência, acúmulo de proteínas de armazenamento, desenvolvimento de embriões e biossíntese de metabólitos secundários (CARLETTI *et al.*, 1999).

A produção de jasmonatos pode ser realizada através de processo de extração de plantas superiores, por via química ou ainda por fermentação microbiana. Atualmente, a via predominante de obtenção é a extração direta de fontes vegetais, com baixa eficiência de produção, sendo necessários, por exemplo, 800 kg de flores de *J. grandiflorum* para produzir 1 kg de jasmona contendo apenas 0,25% de AJ (DHANDHUKIA & TAKKAR, 2008), concorrendo assim para um elevado custo destes produtos no mercado mundial (ALTUNA *et al.*, 2000).

A produção de jasmonatos a partir de micro-organismos ainda é limitada, porém alguns relatos demonstram ser esta via economicamente vantajosa (MIERSCH, 1987), visto que linhagens do fungo *Botryosphaeria rhodina* são capazes de acumular, dentre os jasmonatos produzidos, quantidades superiores a 500 mg L⁻¹ de (-)-7-iso-AJ, durante a fermentação (MIERSCH *et al.*, 1989).

Em testes realizados com aplicação exógena de AJ na agricultura obtiveram-se vários resultados positivos, como o aumento do rendimento de culturas de morango, soja e cana-de-açúcar; estimulação

da formação de tubérculos em inhame e batata (KODA, 1992) e amadurecimento em frutos de tomate e maçã (SEMBDNER & PARTHIER, 1993). Além da produção de inibidores de proteases em tomateiros (FARMER & RYAN, 1990) e em arroz, houve inibição da germinação de esporos de *Pyricularia oryzae*, fungo que provoca uma das principais doenças da cultura conhecida como brusone (HAMBERG & GARDNER, 1992).

3.3 Salicilatos

Ácido salicílico (AS) foi descoberto pela primeira vez como um dos principais componentes dos extratos da árvore de salgueiro *Salix alba* cuja casca nos tempos antigos, foi utilizada como uma droga anti-inflamatória.

A biossíntese de AS nas plantas, assim como o da maioria dos compostos fenólicos, depende da biossíntese de fenilalanina que é sintetizada a partir da eritrose 4-fosfato e do fosfoenolpiruvato, através de uma série de reações que compõem a via do Shikimato/Arogenato. A fenilalanina formada se converte, por sua vez, em transcinamato, por meio da ação da enzima fenilalanina amônia liase (PAL). O transcinamato parece, então, seguir duas vias. Numa delas, haveria formação do ácido benzóico que, após a ação da enzima ácido benzóico 2-hidroxilase, se converteria em AS. Na outra, o trans-cinamato seria hidroxilado a ácido 2-cumárico que seria, então, oxidado a AS (RYALS *et al.*, 1994; STRACK, 1997).

Estudos apontam como via principal de formação do AS aquela cujo intermediário é o ácido benzóico (VERNOOIJ *et al.*, 1994a). Foi descrito também que, a aplicação exógena de ácido benzóico, mas não de o-cumárico, é capaz de induzir acúmulo de AS, resistência ao vírus do mosaico do tabaco (TMV) e produção de uma das proteínas da SAR (YALPANI *et al.*, 1993). Outra observação que reforça a via do ácido benzóico como a principal via de síntese do AS é o aumento da concentração da enzima 2-hidroxilase, que converte ácido benzóico em AS, em infecções com TMV e com aplicações exógenas de ácido benzóico, em paralelo com acúmulo de AS (LEÓN *et al.*, 1993).

Na planta, o ácido salicílico tem como função, a inibição da germinação e do crescimento da planta, interfere na absorção das

raízes, reduz a transpiração e causa a abscisão das folhas, induz uma rápida despolarização das membranas alterando o transporte de íons gerando um colapso no potencial eletroquímico. Em alguns casos pode promover a floração, pode alterar a termogênese e gerar um aumento nas atividades das enzimas da glicólise e do ciclo de Krebs.

A aplicação exógena ou estímulo à síntese endógena de ácidos orgânicos como AS pode agir como indutor de proteínas de tolerância aos diferentes estresses, bem como elevar/regular a atividade de enzimas de desintoxicação celular, como peroxidases e superóxido dismutases, especialmente envolvidas na degradação de radicais livres causadores de peroxidação lipídica (CARVALHO *et al.*, 2007; HE *et al.*, 2002)

Khan *et al.* (2003), verificaram que a aplicação de AS em milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) aumentaram a área foliar e a produção de matéria seca, enquanto que o comprimento de raiz permaneceu inalterado. A aplicação de AS em folhas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) resultou no fechamento dos estômatos induzido redução da transpiração. Estes mesmos autores observaram um aumento da taxa de transpiração e na condutância estomática em resposta de plantas de milho e sorgo pulverizadas com AS na folha.

O AS ainda pode atuar na defesa contra patógenos, como fungos, bactérias e vírus. A participação do SA na expressão da resistência sistêmica adquirida (SAR) é sugerida dada à sua capacidade de induzir a síntese de PR-Proteínas, bem como à sua propriedade de acumular-se em plantas de fumo inoculadas com bactérias, não ocorrendo naquelas que não sofreram tratamento (KESSMANN *et al.*, 1994a, b).

O principal papel fisiológico atribuído ao AS na planta é o de funcionar como uma molécula sinalizadora, induzindo-a a expressar resistência contra o ataque de predadores. Esta função foi sugerida em decorrência do AS se acumular em plantas submetidas a condições adversas, quer seja por ataque patogênico, quer pelo tratamento da planta com elicitores químicos, e por sua propriedade de induzir a expressão de genes ligados a várias PR-Proteínas (MARTINEZ *et al.*, 2000).

Há, entretanto, dúvida se o AS seria a molécula de sinalização que se distribui dentro da planta induzindo a SAR. Vários experimentos foram desenvolvidos com o propósito de verificar esta hipótese. Estudos mais recentes mostraram, claramente, que o AS não é o responsável

pelo sinal sistêmico de indução da SAR (VERNOOIJ *et al.*, 1994b; HAMMONDKOSACK; JONES, 2000). Apesar desta negativa à hipótese, um fato tido como verdadeiro é a necessidade imperiosa do AS para que haja o desencadeamento e estabelecimento da SAR (KIM; DELANEY, 2002).

Além de sua participação na SAR, o AS é tido como responsável pela ativação das funções efetoras da resistência no local da infecção. Tal observação sugere que o AS é requerido tanto para respostas sistêmicas específicas como não específicas, estando, assim, aberta uma série de questões, tais como: quantos mecanismos sinalizadores da resistência são dependentes do nível de AS; quantos não são; e através de que mecanismos estes sinalizadores induzem a SAR (GODIARD *et al.*, 1994). Estudos recentes mostraram que o óxido nítrico é requerido para que o AS funcione como um indutor da SAR (SONG; GOODMAN, 2001).

3.4. Poliaminas

O termo poliamina é utilizado para designar dois compostos derivados da ornitina após uma descarboxilação inicial, sendo eles espermidina [N-(3- aminopropil)- 1,4-butano diamina] e espermina [N,N'-bis- (3- aminopropil)1,4-butano diamina]. (KUMAR *et al.*, 1997; GLÓRIA, 2005; MOINARD *et al.*, 2005; MENDONÇA, 2009).

As poliaminas são bases orgânicas alifáticas e hidrofílicas de baixo peso molecular, solúveis em água. Foram identificadas pela primeira vez no líquido seminal. Ocorrem em concentrações que variam em todos os tipos de células, os níveis mais elevados sendo encontrados em tecidos com altas taxa de crescimento (MOINARD *et al.*, 2005).

As poliaminas são moléculas que apresentam em sua estrutura grupamentos amino separados por cadeias metilênicas hidrofóbicas. De acordo com Galton e Kaur-Sawhney (1990), as poliaminas ocorrem nas formas livres, ligadas a compostos fenólicos, a substâncias de menores pesos moleculares ou ainda a macromoléculas. A natureza policatiônica das poliaminas permite a sua ligação a constituintes celulares de caráter aniônico, tais como ácidos nucléicos, fosfolipídios e proteínas da membrana, bem como as substâncias pécticas da parede celular (TASSONI *et al.*, 1996).

Essas moléculas apresentam importante papel no crescimento e proliferação celular e na síntese de proteínas e ácidos nucléicos.

Elas estão também envolvidas na reparação da matriz extracelular, na adesão celular e em certos processos de sinalização. Acreditava-se que as poliaminas eram produzidas somente *in situ*, uma vez que todas as células são capazes de sintetizá-las (SMITH, 1984). Porém, Halász *et al.* (1994) observaram que, em alguns casos, a capacidade das células e órgãos de sintetizarem poliaminas é insuficiente para satisfazer os requerimentos totais. Os estudos mais recentes sugeriram que as poliaminas provenientes de fontes extracelulares são também de fundamental importância para os processos metabólicos (BARDÓCZ *et al.*, 1993; MEDINA *et al.*, 2003; KALAC; KRAUSOVÁ, 2005).

A complexidade do metabolismo das poliaminas e a infinidade de mecanismos compensatórios que são invocados para a manutenção da homeostase sugerem que estas aminas são críticas para a sobrevivência celular.

Dentre as poliaminas biológicas, as moléculas de ocorrência mais comum são a putrescina, a espermidina e a espermina. Além destas, um largo número de poliaminas lineares e algumas ramificadas têm sido detectadas em tecidos de mamíferos ou em plantas e microrganismos. Uma nova molécula, a agmatina, foi identificada também como uma poliamina e é derivada da descarboxilação da arginina. Entretanto, essa molécula possui baixo poder antioxidante e não possui efeito no crescimento.

As poliaminas putrescina, espermidina e espermina estão naturalmente presentes em frutas e hortaliças, onde estão envolvidas em vários mecanismos fisiológicos sendo eles: crescimento da planta, floração, desenvolvimento e amadurecimento do fruto, senescência e resposta ao estresse (SMITH, 1985).

De forma geral, as frutas são ricas em putrescina e espermidina, contendo pouca ou quase nenhuma espermina. Maiores teores de espermina são geralmente encontrados em produtos cárneos (BARDÓCZ, 1995). A concentração de aminas nos tecidos vegetais é afetada por diversos fatores, como o grau de maturação, luz e temperatura. A maior concentração ocorre nos primeiros estádios de desenvolvimento dos frutos (tecidos do mesocarpo), declinando em cerca de 30% até o completo amadurecimento do vegetal (MORET *et al.*, 2005).

Segundo Morilla *et al.* (1996) em experimento com o amadurecimento do tomate, verificaram que as concentrações de

putrescina, espermidina e espermina reduziram de 1800, 600 e 500 nmol/g para 75, 60 e 10 nmol/g, respectivamente. Altos níveis de poliaminas ocorrem na fase inicial do desenvolvimento das frutas, devido à intensa divisão celular.

Além das poliaminas espermidina, espermina e putrescina, outras aminas estão naturalmente presentes em plantas, como feniletilamina, serotonina, triptamina, histamina, agmatina e cadaverina, muitas das quais tem um papel protetor contra predadores. Algumas são importantes na síntese de metabólitos secundários, como nicotina e outros alcaloides. Triptamina e feniletilamina são precursores de substâncias de crescimento (COUTTS *et al.*, 1986).

Foi encontrada uma relação entre a síntese de poliaminas e a inibição da biossíntese de etileno, a qual foi interpretada como resultado da competição pelo mesmo precursor, S-adenosilmetionina (VALERO *et al.*, 2002). O desenvolvimento da fruta termina com o processo de senescência. O etileno tem um papel importante neste processo, estando envolvido na degradação das estruturas celulares, perda intensiva de clorofila e proteínas, aumento rápido na peroxidação lipídica, ruptura das membranas celulares e perda da estrutura do tecido (VALERO *et al.*, 2002). Com isto, a aplicação exógena de poliaminas para retardar o amadurecimento de frutos é amplamente estudada, já que a vida de prateleira da maioria das frutas não é prolongada.

Lima *et al.* (1999), classificaram as poliaminas como reguladores vegetais. Além disso, pode se dizer que com a adição exógena de poliaminas em frutas, há aumento na firmeza destas, que pode ser atribuído à ligação cruzada destes compostos a grupos carboxílicos de substâncias pécnicas na parede celular, resultando na rigidez, detectável logo após o tratamento, retardando dessa forma, a função do etileno (MORET *et al.*, 2005).

4. Consideração final

O conhecimento dos novos grupos de hormônios e reguladores vegetais, bem como dos efeitos fisiológicos destes, quando aplicados às plantas é de fundamental importância para a otimização no uso de recursos naturais em uma agricultura que busca melhorias qualitativas e quantitativas para produção sustentável de alimentos.

5. Referências bibliográficas

ALTUNA, B. *et al.* Obtencion de Acido Jasmonico a partir de B. theobromae por cultivo submergido. Efecto en la agricultura. **Anales Científicos de la XX RELAR**, p. 269, 2000.

ARTECA, R.N. Plant growth substances: principles and applications. New York: CHAPMAN & HALL, 1995. 332p

ABELES, G. B.; MORGAN, P. W.; SALTVEIT, M. E. 1992. Ethylene in Plant Biology, **Academic Press**, San Diego, CA.

BARDÓCZ, S.; GRANT, G.; BROWN, D. S.; RALPH, A.; PUSZTAI, A. Polyamines in food - implications for growth and health. **Journal Nutr. Biochem**, v. 4:, p. 66-70, 1993.

BARDÓCZ, S. Polyamines in food and their consequences for food quality and human health. **Trends Food Science Technology**, v. 6, p. 341-346, 1995.

CAMPOS, M. L. Controle hormonal da defesa a herbivoros em tomateiro. Piracaba, p.117, 2009. (Dissertação de Mestrado).

CARLETI R; MORAES DM; VILLELA FA., Jasmonato: Influência na germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa* L.). **Revista Brasileira de Sementes** 21: 183-186. 1999.

CORTÊS HP. 2000. Introdução aos hormônios Vegetais; EMBRAPA, p.131-157

COUTTS, R. T.; BAKER, G. B.; PASUTTO, G. M. Foodstuffs as sources of psychoactive amines and their precursors: content, significance and identification. **Adv. Drug Res.**, v. 15, p. 169-232, 1986.

DHANDHUKIA PC; THAKKAR VR., Response surface methodology to optimize the nutritional parameters for enhanced production of jasmonic acid by *Lasiodiplodia theobromae*. **Journal of Applied Microbiology**, 105: 636-643, 2008.

FARMER E.E; RYAN CA. Interplant communication: airborne methyl jasmonate induces synthesis of proteinase inhibitors in plant leaves. **Proceedings National Academy of Sciences**, 87: 7713-7716, 1990.

FREITAS, S. J.; Brassinosteróide e Adução no desenvolvimento, crescimento e nutrição de mudas de abacaxizeiro. Campo dos Goytacazes, p.95, 2011. (Tese de Doutorado).

GALSTON, A. W.; KAUR-SAWHNEY, R. Polyamines as endogenous growth regulators. In: Plant Hormones: Physiology, Biochemistry, and Molecular Biology (ed., P.J. Davies), **Kluwer Academic Publishers**, Norwell, MA, pp. 158–178, 1995.

GODIARD, L.; GRANT, M. R.; DIETRICH, R. A.; KIEDROWSKI, S.; DANGL, J. L. Perception and response in plant disease resistance. **Current Opinion in Genetics & Development**, London, v. 4, p. 662-671, 1994.

GLÓRIA, M. B. A. Bioactive amines. In: HUI, H., SHERKAT, F. (Eds). **Handbook of food science, technology and engineering**. London: CRC Press.; 2005, 3632 p.

GREGORY, L.E. & MANDAVA, N.B., The activity and interaction of brassinolide na giberelic acid in mung bean epicotyls, **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.54, n. 3, p. 239-243, 1982.

HALÁSZ A.; BARÁTH A.; SIMON-SARKADI L.; HOLZAPFEL W. Biogenic amines and their production by microorganisms in food. **Trends Food Sci Technol**, v. 5, p. 42 49, 1994.

HAMBERG M; GARDER HW. Oxylipin pathway to jasmonates: biochemistry and biological significance. *Biochimica et Biophysica Acta* 1165: 1-18, 1992.

HAMMOND-KOSACK, K. E.; JONES, J. D. G. Responses to plant pathogens. In: BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W., JONES, R. (Ed.) *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Rockville, Maryland, **American Society of Plant Physiologists**, 2000. cap. 21, p. 1102-1157.

KALAC, P.; KRAUSOVÁ, P. A. A review of dietary polyamines: formation, implications for growth and health and occurrence in foods. **Food Chemistry**, v. 90, p. 219- 230, 2005.

KESSMANN, H.; STAUB, T.; LIGON, J.; OOSTENDORP, M.; RYALS, J. Activation of systemic acquired disease resistance in plants. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 100, p. 359-369, 1994b.

KIM, H. S.; DELANEY, T. P. *Arabidopsis* SON1 is an F-Box protein that regulates a novel induced defense response independent of both salicylic acid and systemic acquired resistance. **The Plant Cell, Rockville**, v. 14, p. 1469-1482, 2002.

KODA Y. The role of jasmonic acid and related compounds in the regulation of plant development. *International. Review of Cytology* 135: 155-159, 1992.

KUMAR, A.; ALTABELLA, T.; TAYLOR M. A.; TIBURCIO A. F. Recent advances in polyamine research. **Trends in plant science**, v. 2, p. 1360-1385, 1997.

LEÓN, J.; YALPANI, N.; RASKIN, I.; LAWTON, M. A. Induction of benzoic acid 2-hydroxylase in virus-inoculated tobacco. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 103, p. 323-328, 1993

LIMA A. S., GLÓRIA M. B. A. Aminas bioativas em alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.33, p.70-79, 1999.

MARTINEZ, C.; BACCOU, J. -C.; BRESSON, E.; BAISSAC, Y.; DANIEL, J. -F.; JALLOUL, A.; MONTILLET, J. -L.; GEIGER, J. -P.; ASSIGBETSÉ, K.; NICOLE, M. Salicylic acid mediated by the oxidative burst is a key molecule in local and systemic responses of cotton challenged by an avirulent race of *Xanthomonas campestris* pv malvacearum. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 122, p. 757-766, 2000.

MAZORRAS, L.M., NÚÑES, M., HECHAVARRIA, M., COLL, F. SANCHES-BLANCO, M.J. Influence of brassinosteroids on antioxidant enzymes activity in tomato under different temperatures. **Biologia Plantarum**, 45 (4):593-596, 2002

MEDINA, M. A.; URDIALES, C. R.; RORÍGUEZCASO, C.; RAMIREZ, F. J.; SANCHÉZJIMÉNEZ, F. Biogenic amines and polyamines: similar biochemistry for different physiological missions and biochemical applications. **Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology**, v. 38. p. 23-59, 2003.

MEYER, A *et al.* 1984. Occurrence of the plant growth regulators jasmonic acid in plants. **Journal of Plant Growth Regulator** 3: 1-8.

- MIERSCH, O. (+)-Isojasmonic acid and related compounds from *Botryodiplodia theobromae*. **Phytochemistry** 26: 1037-1039, 1987.
- MIERSCH, O.; SCHMIDT, J.; SEMBDNER, G.; SCHREIBER, K. Jasmonic-acid like substances from culture filtrate of *Botryodiplodia theobromae*. **Phytochemistry** 28: 1303-1305, 1989.
- MOINARD, C.; CYNOBER, L.; BANDT, J. P. de. Polyamines: metabolism and implications in human diseases. **Clin Nutr.**, v.24, p.184–197, 2005.
- MORET, S.; SMELA, D.; POPULIN, T.; CONTE, L. S. A survey on free biogenic amine content of fresh and preserved vegetables. **Food Chemistry**, v. 89, p. 355-361, 2005.
- MORILLA, A.; GARCÍA, J. M.; ALBI, M. A. Free polyamine contents and the decarboxylase activities during development and ripening. **J. Agric. Food Chem.**, 44: 2608–2611, 1996.
- RYALS, J.; UKNES, S.; WARD, E. Systemic acquired resistance. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 104, p. 1109-1112, 1994.
- SONG, F.; GOODMAN, R. M. Activity of nitric oxide is dependent on, but is partially required for function of, salicylic acid in the signaling pathway in tobacco systemic acquired resistance. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, St. Paul, v. 14, n. 12, p. 1458-1462, 2001.
- SEMBDNER, G.; PARTHIER, B. The Biochemistry and the Physiological and Molecular Actions of Jasmonates. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular**, 44:569-589, 1993.
- SCHALLER F., Enzymes of the biosynthesis of octadecanoid derived signaling molecules. **Journal of Experimental Botany** 52: 11-23, 2001.
- SMITH, T. A. Putrescine and inorganic ions. **Rec. Adv. Phytochem.** v. 18, p. 6-54, 1984.
- SMITH, T. A.; NEGREL, J.; BIRD, C. R. The cinnamic acids amides of the di- and polyamines. In: *Advances in Polyamine Research* (eds, U. Bacharach, A. Kaye, and R. Chayen), **Raven Press**, New York, pp. 347–370. 1993.

STRACK, D. Phenolic metabolism. In: DEY, P. M., HARBORNE, J. B. (Ed.). **Plant Biochemistry**. London: Academic Press, 1997. p. 387-416.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TANAKA, K.; NAKAMURA, Y.; ASAMI, T.; YOSHIDA, S.; MATSUO, T.; OKAMOTO, S., **Journal of Plant Growth Regulation**, 2003, 22, 259-271.

VALERO, D.; MARTÍNEZ-ROMERO, D.; SERRANO, M. The role of polyamines in the improvement of shelf life of fruit. **Trends Food Sci. Technol.**, v. 13, p. 228-234, 2002a.

VALERO, D.; PEREZ-VICENTE, A.; MARTINEZ-ROMERO, D.; CASTILLO, S.; GUILLEN, F.; SERRANO, M. Plum storability improved after calcium and heat postharvest treatments: role of polyamines. **J. Food Sci.**, 67: 2571–2575, 2002b.

VERNOOIJ, B.; UKNES, S.; WARD, E.; RYALS, J. Salicylic acid as a signal molecule in plant-pathogen interactions. **Current Opinion in Cell Biology**, Danvers, v. 6, p. 275-279, 1994a.

VERNOOIJ, B.; FRIEDRICH, L.; MORSE, A.; REIST, R.; KOLDITZ-JAWHAR, R.; WARD, E.; UKNES, S.; KESSMANN, H.; RYALS, J. Salicylic acid is not the translocated signal responsible for inducing systemic acquired resistance but is required in signal transduction. **The Plant Cell**, Rockville, v. 6, p. 959-965, 1994b.

YALPANI, N.; LEÓN, J.; LAWTON, M. A.; RASKIN, I. Pathway of salicylic acid biosynthesis in healthy and virus-inoculated tobacco. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 103, p. 315-321, 1993

YI, H.C., JOO, S., NAM, K.H., LEE, J.S., KANG, B.G., KIM, W.T. 1999. Auxin and brassinosteroid differentially regulate the expression of three members of the 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase gene family in mung bean (*Vigna radiate* L.). **Plant and Molecular Biology**, 41:443–454.

OS GANHOS OBTIDOS COM A FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

4

CIBELE NATALIANE FACIOLI MEDEIROS
Engenheira Agrônoma, Me.
Bio Soja Indústrias Químicas e Biológicas

1-Introdução

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes essenciais às plantas e é geralmente o mais limitante à produção vegetal. Esse nutriente participa de inúmeras reações e é componente estrutural da clorofila, enzimas e proteínas (RYLE *et al.*, 1979)

Por ser elemento essencial, seu balanço afeta a formação de raízes, a fotossíntese, a produção e translocação de fotoassimilados e a taxa de crescimento entre folhas e raízes, sendo o crescimento foliar primeiramente afetado (TAIZ & ZIEGER, 2004).

No caso da soja, por exemplo, para produzir 1000 Kg de grão de soja, tem-se uma necessidade de 80 Kg de N. Conseqüentemente, para a obtenção de rendimentos de 3000 Kg de grãos/ha, são necessários 240 Kg de N, dos quais 195 Kg são retirados das lavouras pelos grãos (HUNGRIA, CAMPO e MENDES, 2007).

Apesar de ser o elemento mais abundante do ar atmosférico, aproximadamente 80%, os animais e as plantas não são capazes de metabolizá-lo na forma gasosa e retirá-lo diretamente do ar, devido à tripla ligação que existe entre os dois átomos do nitrogênio atmosférico (N₂), que é uma das mais fortes de que se tem conhecimento na natureza.

O N pode ser obtido pelas plantas de quatro fontes:

- 1- o solo, principalmente pela decomposição da matéria orgânica;
- 2- a fixação não-biológica;
- 3- os fertilizantes nitrogenados; e
- 4- o processo de fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N₂).

Em relação ao N do solo, o reservatório de N presente na matéria orgânica é limitado, podendo ser rapidamente esgotado após alguns cultivos, capazes de fornecer, em média, apenas 10 a 15 kg de N por cultura.

A fixação não-biológica resulta de processos naturais, como a reação de descargas elétricas com o N₂, a combustão e o vulcanismo. Essa fonte, porém, contribui com apenas cerca de 10% das entradas de N na Terra (HUNGRIA, CAMPO e MENDES, 2007).

Os fertilizantes nitrogenados são assimilados mais rapidamente pelas plantas, porém os custos para produção são elevados e um dos problemas com a utilização desses fertilizantes consiste na baixa eficiência de utilização pelas plantas, que raramente ultrapassa 50%.

Dessa forma, metade do nitrogênio aplicado no solo é perdido por lixiviação, desnitrificação e volatilização, que pode resultar no acúmulo de formas nitrogenadas nas águas de rios, lagos e aquíferos subterrâneos, podendo atingir níveis tóxicos aos peixes e ao homem, como também, pela transformação em formas gasosas, que contribuem para o aquecimento global e a degradação da camada de ozônio.

A Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) é um processo natural no qual alguns gêneros de bactérias captam o nitrogênio presente no ar, tornando-o assimilável pelos vegetais. Consiste em uma alternativa eficiente e sustentável, à medida que substitui parcial ou totalmente o uso de fertilizantes nitrogenados, minimizando a emissão dos Gases de Efeito Estufa.

Na natureza, somente um pequeno número de microrganismos, denominados diazotróficos ou fixadores de nitrogênio, é capaz de reduzir nitrogênio atmosférico a amônia. Esse processo é realizado pelo complexo protéico da nitrogenase, a enzima que catalisa a reação (EADY & POSTGATE, 1974).

No caso das leguminosas (*fabaceas*), como a soja e o feijão, o processo de fixação biológica do nitrogênio consegue suprir toda quantidade de N necessário à cultura. Ocorre estabelecimento de uma relação simbiótica com bactérias comumente denominadas de “rizóbios”, em estruturas típicas formadas nas raízes, os nódulos.

A FBN em plantas não leguminosas, como as gramíneas (*poaceae*), é realizada por bactérias promotoras de crescimento vegetal que vivem próximas às raízes ou no interior dos tecidos do vegetal. Essas bactérias

substituem parcialmente o uso de nitrogênio mineral e estimulam o crescimento das plantas pela produção de diversos hormônios vegetais, fazendo com que as plantas absorvam de maneira mais eficiente os nutrientes do solo, aumentando conseqüentemente o rendimento.

1.1-Processo de FBN em leguminosas (Fabaceae)

A FBN é um processo realizado por alguns grupos de microrganismos, que apresentam a enzima nitrogenase funcional a qual será posteriormente utilizado como fonte de nitrogênio (N) para a nutrição das plantas. A FBN se constitui na principal via de incorporação do nitrogênio à biosfera, depois da fotossíntese é o processo biológico mais importante para as plantas, sendo fundamental para a vida na Terra (EMBRAPA, 2015).

Uma interação complexa e específica entre as bactérias do solo pertencentes aos gêneros *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Phylorhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Azorhizobium*, comumente conhecidos como rizóbios, e suas plantas hospedeiras resultam no desenvolvimento de nódulos radiculares (BROUGHTON *et al.*, 2006).

De acordo com Hungria, Campo e Mendes (2007) a formação de um simples nódulo resulta de um processo altamente complexo, envolvendo múltiplas etapas. Inicialmente, a semente em germinação exsuda diversas moléculas; umas atraem quimicamente os rizóbios, outras estimulam o crescimento das bactérias na rizosfera da planta hospedeira e outras, ainda, ativam diversos genes da bactéria, responsáveis pelo início da nodulação.

Quando ativados, esses genes da nodulação induzem a bactéria a produzir outras moléculas, que, por sua vez, ativarão genes da planta hospedeira, responsáveis por dar continuidade ao processo de nodulação. Estabelece-se, então, um verdadeiro diálogo entre a bactéria e a planta hospedeira, envolvendo a ativação de vários genes e desencadeando processos específicos que permitem, à bactéria, penetrar na raiz, formar um cordão de infecção e provocar o crescimento das células do córtex da planta hospedeira, até resultar na formação de uma estrutura específica na planta, o nódulo, cuja função é alojar a bactéria e permitir que ela realize, em condições adequadas, o processo de fixação biológica do N₂.

Com a formação do nódulo, a bactéria passa por uma série de transformações, uma delas sendo a perda dos flagelos, responsáveis pela sua mobilidade, pois a locomoção não é necessária dentro do nódulo. Diversas enzimas são sintetizadas, podendo-se destacar a nitrogenase, responsável pelo processo de fixação do N_2 propriamente dito, além de proteínas necessárias para o funcionamento perfeito da nitrogenase e dos processos metabólicos da bactéria.

Uma proteína característica da simbiose é a leghemoglobina, cuja função é semelhante à da hemoglobina do sangue humano, ou seja, de transporte do oxigênio nas concentrações necessárias. Quando o nódulo está em plena atividade, a sua parte interna apresenta coloração rósea intensa, pela ação da leghemoglobina. Já em nódulos senescentes, a degradação da leghemoglobina resulta em coloração esverdeada e, em nódulos formados por bactérias ineficientes, a coloração interna é branca ou esverdeada desde a sua formação (HUNGRIA, CAMPO e MENDES, 2007).

1.2-FBN em gramíneas

Uma grande quantidade de adubação nitrogenada é utilizada anualmente para a produção de gramíneas como arroz, cana-de-açúcar, milho, trigo, dentre outras. A exemplo dos resultados com a FBN em leguminosas, como a soja, cuja associação bactéria/planta ocorre de forma simbiótica, têm-se nas últimas décadas estudado outros gêneros de bactérias que possuam a mesma capacidade em fixar nitrogênio, associadas a gramíneas, a fim de se reduzir a quantidade de adubos nitrogenados utilizados.

Além das bactérias simbióticas, como o caso dos rizóbios, que vimos anteriormente, temos também outros grupos de bactérias capazes de fixar parcialmente o nitrogênio atmosférico e promover o crescimento vegetal, razão pela qual muitas delas são conhecidas como Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCP).

No caso das bactérias endofíticas (ex.: *Herbaspirillum seropedicae*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Klebsiella spp.*, *Azoarcus spp.*) ou associativas (ex.: *Azospirillum spp.*, *Azotobacter spp.*), o mesmo complexo da dinitrogenase realiza a conversão do N_2 da atmosfera em amônia. Contudo, ao contrário das bactérias simbióticas, bactérias associativas

excretam somente uma parte do nitrogênio fixado diretamente para a planta associada; posteriormente, a mineralização das bactérias pode contribuir com aportes adicionais de nitrogênio para as plantas, contudo, é importante salientar que o processo de fixação biológica por essas bactérias consegue suprir apenas parcialmente as necessidades das plantas. Desse modo, deve-se lembrar que, ao contrário das leguminosas, a inoculação de não-leguminosas com bactérias endofíticas ou associativas, ainda que essas consigam fixar nitrogênio, não consegue suprir totalmente as necessidades das plantas em nitrogênio (HUNGRIA, 2011).

Desde a década de 1990, pesquisas oriundas das principais universidades e centros de tecnologia agrícola do Brasil apontavam para a bactéria *Azospirillum* sp., por ter um bom potencial para inoculação em gramíneas de diversos gêneros.

Além de fornecer nutrientes para a planta, ela ainda produz o ácido indol-acético (AIA), um hormônio que auxilia no crescimento da raiz da planta. Com um maior sistema radicular, a planta aumenta sua capacidade de absorção de água, suportando melhor um possível déficit hídrico.

Segundo Ferlini (2006) essas bactérias são capazes de promover o crescimento das plantas por meio de vários processos, dentre eles a produção fito-hormônios que determinam um maior desenvolvimento do sistema radicular, e, portanto, a possibilidade de explorar um volume mais amplo de solo.

Em 2010, a pesquisadora científica Mariângela Hungria, da Embrapa Soja, verificou que a inoculação de sementes de milho com as espécies *Azospirillum brasiliense* e *A. lipoferum*, geraram ganhos na ordem de 24% a 30%, respectivamente, quando comparadas com o tratamento onde não foram utilizadas as bactérias.

Para a cultura do trigo, entre os gêneros das diversas BPCP, o *Azospirillum* tem sido empregado em vários países como inoculante, por exemplo, no Canadá e Argentina e mais recentemente foi recomendado no Brasil (HUNGRIA *et al.*, 2011).

Trabalhos ao redor do país tem sido realizado, a fim de se verificar a eficiência agrônômica e assim recomendar espécies de bactérias para diversas gramíneas como cana-de-açúcar, pastagens, etc.

1.3-Mas, afinal, o que são os Inoculantes?

O inoculante é o produto que contém as bactérias formadoras de nódulos nas raízes das plantas (rizóbios) ou BCPC. É desenvolvido e produzido de acordo com protocolos estabelecidos pela rede de laboratórios para recomendação, padronização e difusão de tecnologia de inoculantes microbiológicos de interesse agrícola (RELARE).

Os pesquisadores da área de microbiologia do solo procuram selecionar estirpes cada vez mais eficientes. A determinação das estirpes recomendadas é complexa, pois deve considerar diversos fatores, como a eficiência com todas as cultivares recomendadas, a capacidade de competir com os organismos do solo, a fermentação adequada na indústria e, principalmente, a capacidade de se adaptar aos solos, sem nenhum prejuízo à microflora natural do mesmo.

Para definir as melhores estirpes, os pesquisadores se reúnem, a cada dois anos, em um fórum denominado RELARE (Rede de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola) e, após a análise dos resultados obtidos, uma lista com o nome das melhores estirpes é enviada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

As indústrias de inoculante recebem, sem nenhum custo tecnológico, essas bactérias. Inoculantes provenientes de outros países também podem ser comercializados no Brasil, desde que atendam às exigências da legislação nacional, inclusive a de utilizar somente estirpes recomendadas pela pesquisa brasileira (HUNGRIA, CAMPO e MENDES, 2001).

Atualmente, existem vários tipos de inoculantes disponíveis para diferentes culturas, como por exemplo soja, arroz, trigo, milho, feijão e feijão-caupi.

Os tipos de inoculantes comercializados atualmente no Brasil são os turfosos e os líquidos. Essas ou outras formulações devem ter comprovada eficiência agrônômica, conforme normas oficiais da RELARE aprovadas pelo MAPA. A inoculação deve ser feita à sombra e a semeadura deve ser efetuada no mesmo dia, mantendo-se a semente inoculada protegida do sol e do calor excessivo.

Para melhor aderência do inoculante turfoso, recomenda-se umedecer a semente com água açucarada a 10 %. Cada 30 g de açúcar em 300 ml de água, representa quantidade suficiente para inocular 50 kg de sementes. O inoculante deve ser uniformemente distribuído na superfície da semente para se obter benefício máximo da fixação biológica do nitrogênio em todas as plantas.

1.4-Que cuidados tomar na hora da compra do inoculante?

1. Verificar se o produto apresenta o número de registro do MAPA pois, frequentemente, entram no país produtos de origem e qualidade duvidosas, com estirpes que não são as recomendadas pela pesquisa;
2. Verificar o prazo de validade do inoculante, que deve constar na embalagem e jamais comprar inoculante vencido;
3. Certificar-se de que o produto, antes de ser comprado, era conservado em condições adequadas de umidade e temperatura (no máximo 30°C). Após a aquisição, conservar o inoculante em local protegido do sol e arejado até o momento da utilização. Não esquecer que o inoculante contém seres vivos, sensíveis ao calor; e
4. Em caso de dúvida, entrar em contato com um fiscal do MAPA.

1.5-Benefícios com a FBN

A FBN promove vários benefícios para os cultivos agrícolas, dentre os quais destacam-se:

- O menor uso de adubos nitrogenados, que resulta em economia para o produtor;
- A característica de contribuir para o autofornecimento do nitrogênio utilizado para a formação da planta minimiza os impactos do nitrogênio sobre o meio ambiente;
- Aumento de produtividade, especialmente em solos deficientes em nitrogênio disponível;
- Economia em nitrogênio mineral;
- Redução no custo de produção;
- Redução na emissão de Gases de Efeito Estufa que contribuem para o aquecimento global;

Como a adubação nitrogenada é um dos fatores que mais oneram o custo de produção e mais contribuem para a emissão de GEE na agricultura, a FBN mostra-se como uma tecnologia economicamente viável e capaz de mitigar os possíveis danos ao meio ambiente.

2-Ganho social

O ganho social da tecnologia da FBN pode ser ainda mais evidente no contexto da agricultura familiar, que hoje representa 84,4% dos estabelecimentos rurais e 24,3% da área total cultivada, onde a adoção da tecnologia poderá melhorar a geração de renda e a qualidade de vida das famílias deste segmento agrícola. Como exemplos, podem ser citadas as culturas do feijoeiro comum e feijão-caupi, onde o principal contingente de produtores está vinculado à agricultura familiar.

Cabe lembrar que a FBN sempre se destacou pela inovação biotecnológica, por exemplo, nos avanços relacionados à formulação de inoculantes com elevada eficiência, sendo previstas grandes demandas para os próximos anos, incluindo o desenvolvimento de inoculantes múltiplos, seleção de novas estirpes, pesquisas para o avanço no conhecimento básico e geração de tecnologias portadoras de futuro, como a nanobiotecnologia (EMBRAPA, 2015).

3-Ganhos para o meio ambiente

Além de fornecer alimento à planta, a FBN traz ganhos ambientais pela menor poluição de lagos, rios e lençóis freáticos por nitrato. Deve-se destacar também o seu papel relevante na redução da emissão de gases de efeito estufa relacionados à fabricação e uso de adubos químicos. Nas etapas de produção e transporte de adubos nitrogenados, as emissões de gases de efeito estufa decorrentes do consumo de energia fóssil representam entre 40% e 50% das emissões totais pelo uso de fertilizantes nas lavouras. Em média, o uso de 1 kg de fertilizante nitrogenado emite o equivalente a 10 kg de CO₂. A FBN também facilita o sequestro de carbono em situações específicas. Estudos indicam que a fixação de 90 milhões de toneladas de nitrogênio equivale ao sequestro de quase 1 bilhão de toneladas de carbono por ano (EMBRAPA, 2015).

O Programa ABC incentiva a adoção de tecnologias com capacidade de mitigar emissões de Gases de Efeito Estufa, dentre elas a FBN. A aplicação dessa técnica viabilizará a expansão da adoção da FBN em 5,5 milhões de hectares. Nessa importante missão, estão envolvidos o Governo Federal, os governos estaduais, o setor produtivo e toda a sociedade.

Por tudo isso, a Fixação Biológica de Nitrogênio é uma das tecnologias agrícolas contempladas pelo Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC), coordenado pelo MAPA. Como parte do compromisso internacional assumido pelo Brasil, em 2009, de reduzir suas emissões de Gases de Efeito Estufa entre 36,1% e 38,9% até 2020.

A FBN é uma das tecnologias que surgem a partir da pesquisa para adaptação de espécies cultivadas às condições tropicais. Essa é uma alternativa mais sustentável para a substituição do uso de nitrogênio, considerando os custos e as condicionantes ambientais. Na agricultura, a FBN é explorada há séculos, mas apenas há algumas décadas o homem dominou completamente a tecnologia que hoje se encontra comercialmente disponível para muitas culturas, como a soja, o feijão e o milho, na forma de inoculantes. Especificamente para a cultura da soja no Brasil – exemplo mais bem-sucedido mundialmente –, estima-se uma economia de US\$ 6 bilhões anuais pela exploração da FBN em substituição à adubação nitrogenada mineral (MAPA, 2015).

4-Referências bibliográficas

BROUGHTON, W. J.; HANIN, M.; RELIC, B.; KOPCINSKA, J.; GOLINOWSKI, W.; SIMSEK, S.; OJANEN-REUHS, T.; REUHS, B.; MARIE, C.; KOBAYASHI, H.; BORDOGNA, B.; LE QUERE, A.; JABBOURI, S.; FELLAY, R.; PERRET, X.; DEAKIN, W. J. Flavonoid-inducible modifications to rhamnan O antigens are necessary for Rhizobium SP. Strain NGR234- Legume Symbioses. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 188, n. 10, p. 3654-3663, 2006.

EADY, R. R. & POSTGATE, J. R. (1974) Nitrogenase. **Nature** 249: 805-810.

EMBRAPA, 2015. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN). Disponível em: <http://www.agrosustentavel.com.br/>. Acesso em 17 de agosto de 2015.

EMBRAPA, 2015. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/>. Acesso em 17 de agosto de 2015.

FERLINI, H. A. Co-Inoculación en Soja (*Glycine max*) con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense*. **Artículos Técnicos – Agricultura**. 2006.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35; Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 13).

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Documentos, 283. Embrapa Soja, Londrina, Paraná. 80p. 2007.

HUNGRIA, M.; R. J. CAMPO; E. M. SOUZA ; F. O. PEDROSA. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v.331, p.413-425. 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: Embrapa Soja: 36 p. 2011.

RYLE, G.J. A. *et al.* The respiratory costs of nitrogen fixation in soyabean, cowpea, and white clover. II. Comparisons of the cost of nitrogen fixation and the utilization of combined nitrogen. **Journal of Experimental Botany**, v.30, p.145-153, 1979.

TAÍZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad. SANTARÉM, E.R. *et al.*, 3º ed., Porto Alegre: Artemed, 2004, p.719.

1. Introdução

O Brasil vem sofrendo mudanças no setor de produção de alimentos, onde a demanda está focada na produtividade, qualidade do produto e sustentabilidade. Com a produção bovina não foi diferente. Para melhor atender a este contexto, o melhoramento genético é uma das mais importantes e eficazes ferramentas, onde, as técnicas nos permitem trabalhar com o gene de interesse, aliando eficiência alimentar, aumento da produção – seja de carne ou leite – qualidade do produto e eficiência reprodutiva. Desta forma, é possível, através de cruzamentos específicos, alcançar todos os fatores supracitados, de forma sustentável – e dizemos sustentável, pois não há necessidade de aumentar o uso de recursos naturais para a obtenção dos resultados pretendidos e sim, intensificar a utilização de material genético de animais com observado valor produtivo.

Os processos voltados ao melhoramento genético iniciaram-se há 10.000 anos quando camponeses, ainda sem entendimento dos procedimentos, realizavam cruzamento de plantas e animais na tentativa de obter um produto diferente e, talvez, melhorado. Além disso, relatos de que os trabalhos de Robert Bakewell (1725-1795, citado por Pereira, 2008) mostram que ele foi o responsável por avanços evolutivos nas espécies bovina, ovina e equina que resultaram na criação de registros genealógicos.

O melhoramento genético tem como objetivo aumentar a frequência de genes desejáveis em uma população bem como obter animais mais lucrativos, associado a uma produção mais sustentável. Dentro disto, neste capítulo serão abordadas as principais ferramentas e características a serem trabalhadas em programas de melhoramento genético bovino, para a otimização da produção de carne e leite no Brasil.

2. Um pouco de história: quando os bovinos foram introduzidos no Brasil?

Segundo relatos de Silva; Boaventura; Fioravante (2012), os primeiros bovinos chegaram ao Brasil por volta de 1533, trazido pelos portugueses. A grande maioria dos animais eram de origem europeia (principalmente da Espanha e Portugal) que, mais tarde, acarretariam através de cruzamentos, as primeiras raças brasileiras, sendo elas a Curraleira, Franqueira, Pantaneira, Crioula (Fig. 1), entre outras. As importações dos primeiros animais zebuínos ao Brasil aconteceram no século XIX, motivada pela dominação portuguesa no século XVIII sobre a África e a Índia (LOPES; REZENDE, 1984). As primeiras importações de bovinos zebuínos para fins comerciais aconteceram por volta de 1898, por fazendeiros do Triângulo Mineiro. Com isso no início dos anos 1900, o Governo de Minas Gerais regulamentou as importações, sendo o primeiro estado brasileiro a executá-lo (CENTRO DE REFERÊNCIA ABCZ).



Figura 1 – à esquerda, exemplar da raça Curraleira, à direita, raça Pantaneira. Fonte: Adaptado de Rural Centro e Associação Brasileira dos Criadores de Bovino Pantaneiro.

O sucesso das raças zebuínas, principalmente a Nelore no Brasil, se deu pela sua extrema adaptabilidade às condições climáticas tropicais do país. Atualmente, 80% do rebanho nacional é composto por animais zebuínos (IBGE, 2014).

3. As principais ferramentas para o melhoramento genético em rebanhos bovinos

Ao pensar em Melhoramento Genético, é importante ter em mente que as principais características a serem trabalhadas são

características de desempenho produtivo e reprodutivo. Os aspectos raciais têm sua importância, mas a produção de carne e leite bovinos associando quantidade, qualidade e sustentabilidade tem sido o grande gargalo no Brasil.

Para tanto, tem-se desenvolvido e aprimorado estratégias de melhoramento genético as quais vem mostrando grande eficiência na sua utilização: Sistemas de Acasalamento Dirigido, Cruzamentos e Estratégias de Seleção. Para a otimização destas técnicas, as biotecnologias reprodutivas e moleculares são grandes aliadas na obtenção de bons resultados em menos tempo.

4. Acasalamentos Dirigidos

Os sistemas de acasalamento dirigidos são utilizados, em geral, para animais de mesma raça, onde aqueles geneticamente superiores são estrategicamente utilizados em programas reprodutivos com a finalidade de obter características desejáveis a serem expressas pela cria (CARVALHEIRO *et al.*, 2007). Neves *et al.* (2009) afirmam ainda que esta técnica possibilita, através da seleção de genótipos favoráveis, alcançar índices de produtividades pré-estipulados, seja para rebanhos de bovinos de corte ou leite. Outra vantagem do acasalamento dirigido, quando utilizado corretamente, é o controle da endogamia que é acasalamento de indivíduos aparentados o qual pode levar ao atraso do progresso genético.

5. Cruzamentos

Como mencionado anteriormente, os animais zebuínos mostraram grande capacidade adaptativa às condições climáticas brasileiras, o que fez destes animais os mais utilizados no país. Animais de raças europeias, por sua vez, mostraram excelente capacidade produtiva, em condições favoráveis de meio ambiente e alimentação. Desta forma, o cruzamento – acasalamento de animais de grupos genéticos diferentes – consiste em uma técnica eficiente na obtenção das melhores características de cada grupo. O principal objetivo dos programas de cruzamento é a obtenção da heterose ou vigor híbrido que é evento onde a média de desempenho das crias é melhor do que a média das mesmas características dos pais.

No sistema de produção de carne, podemos citar como exemplo o cruzamento industrial entre taurinos e zebrúinos, onde se destaca no Brasil, o cruzamento entre Aberdeen Angus e Nelore. O primeiro animal possui excelentes características de desempenho e qualidade do produto final. O segundo, por sua vez, tem a capacidade de se manter em condições de altas temperaturas e baixa oferta de alimentos. Neste caso, as crias, denominadas F1 apresentam, em média, melhor desempenho de ganho de peso, melhor acabamento de carcaça, melhor qualidade de carne e mais resistência às condições climáticas tropicais, em relação aos pais.

Na produção leiteira, podemos citar o exemplo de animais da raça Girolando, os quais são provenientes do cruzamento de animais Gir Leiteiro com Holandês. Assim sendo, na F1 são obtidos animais de excelente produção leiteira e, ao mesmo tempo, rústicos, não sendo obrigatoriamente necessária a utilização de sistemas intensivos para a criação destes animais para a obtenção de boa produtividade leiteira.

Um fator de extrema importância nos sistemas de cruzamentos, tanto para corte quanto para leite, é que os resultados em termos de produtividade são melhorados, sem necessariamente, aumentar a utilização de recursos naturais, conferindo, portanto, sistemas mais sustentáveis de produção.

6. Estratégias de seleção

Para trabalhar com acasalamentos dirigidos ou cruzamentos, é necessário que as estratégias de seleção sejam bem estabelecidas. Diante do cenário brasileiro, onde as condições ambientais, sociais e produtivas são heterogêneas, a seleção de animais geneticamente superiores é influenciada por inúmeros fatores baseado também na região brasileira o qual o sistema está localizado. Dentro deste contexto, o clima, a topografia, o sistema de produção, os grupos genéticos e os consumidores são fatores essenciais para determinar os critérios ou objetivos de seleção (ALENCAR, 2004).

Para ilustrar esta realidade, é possível exemplificar a produção de bovinos de corte no Rio Grande do Sul. Nesta região, a produção de carne se diferencia das outras regiões do país, pois as condições ambientais levam a melhor adaptabilidade de animais de origem

europeia. Além disso, o tipo de carne a ser produzida, com maior índice de marmoreio constitui um nicho de mercado ao Sul do país. Assim, os objetivos de seleção daquela região são focados em animais de raças taurinas ou cruzamentos utilizando estes animais.

7. Biotecnologias

Em programas de melhoramento, para maximizar a produção de animais geneticamente superiores, as biotecnologias tanto reprodutivas como moleculares têm sido essenciais. Essas técnicas permitem aumentar a intensidade de seleção com mais descendentes por animais, em menor tempo através da redução do intervalo entre gerações. Dentre as principais biotécnicas podemos citar a inseminação artificial (IA), inseminação artificial em tempo fixo (IATF), transferência de embriões (TE), produção de embriões *in vitro* (PIV), Clonagem e seleção assistida por marcadores moleculares.

A IA trata-se de uma técnica onde o sêmen de um touro selecionado (previamente coletado) é depositado artificialmente, através de um aplicador, no corpo uterino da fêmea bovina. A técnica hoje utilizada foi proposta por Trimberger (1994), onde foi estabelecido o esquema: observação de cio de manhã – inseminação à tarde; observação de cio à tarde – inseminação no outro dia de manhã. Na IA, como em todas as biotecnologias, pode-se também utilizar sêmen sexado, o qual se trata de material genético do macho, previamente observado como macho ou fêmea e cuja acurácia pode ser de 95%. A decisão para utilização do sêmen sexado depende do sistema de produção e objetivo de seleção da propriedade.

A necessidade de observação do estro nas vacas exige equipe qualificada e demanda tempo. Com isso, a IATF foi uma biotecnologia proposta como uma opção capaz de agrupar ou eliminar a observação de cio para a IA, através da utilização de protocolos hormonais (DISKIN; AUSTIN; ROCHE, 2002), minimizando assim os problemas relacionados à observação de estro (BÓ *et al.*, 2006). Estes protocolos são variáveis e dependem das características reprodutivas do rebanho, bem como a fase do ciclo estral a qual cada animal se encontra.

A TE em bovinos foi proposta por Willett *et al* (1951). A técnica é iniciada com a superovulação das fêmeas doadoras, seguida

da fertilização *in vivo* (IA) ou *in vitro* (em laboratório). Os embriões formados serão coletados e implantados em fêmeas chamadas receptoras ou “barriga de aluguel” as quais irão seguir com a gestação até o nascimento. Esta é uma importante ferramenta onde a pressão de seleção se dá na fêmea, aumentando a precisão dos programas de melhoramento (HANSEN; BLOCK, 2004).

A PIV uma biotecnologia onde células reprodutivas da fêmea são coletadas dos ovários e maturadas em laboratório (MIV), após a maturação, estas células são colocadas na presença de espermatozoides e fertilizadas *in vitro* (FIV). Estes ovócitos fertilizados ficarão em meio de cultivo (CIV) até tornarem-se embriões e, então serão transferidos para as receptoras. A grande contribuição desta técnica para os programas de melhoramento genético bovino está na possibilidade de obter 3,5 vezes mais gestações por doadora, utilizar novilhas pré-púberes que já produz oócitos, vacas gestantes de até 4 meses, fêmeas inférteis ou que não respondem à TE e otimizar a utilização de sêmen de alto valor genético, inclusive sexado.

A transferência nuclear ou clonagem foi primeiramente realizada em bovinos por Prather *et al.*, (1987). Um fragmento de tecido é coletado e processado de forma que o material genético do animal doador fique pronto para ser transferido a oócitos receptores previamente enucleados (remoção total do DNA nuclear). Após a transferência, ambas as células serão fundidas por impulsos elétricos e tratamentos químicos. Esta nova célula será então colocada em meio de cultivo apropriado para se desenvolver em embrião e ser transferido à receptora para que a gestação se complete.

A seleção assistida por marcadores moleculares é uma inovação que permite o mapeamento de um gene (ou um conjunto de genes) de características de interesse econômico, de forma a selecionar estrategicamente os animais que expressam estas características. Os primeiros estudos realizados na espécie bovina contêm resultados sobre a caracterização dos marcadores *Restriction Fragment Length Polymorphism* (RFLP) e foram realizados por Beckmann *et al.*, (1986). Atualmente, os marcadores mais utilizados em estudos genéticos são denominados *Single Nucleotide Polymorphism* (SNP), os quais as metodologias de genotipagem destes marcadores são de alto desempenho e baixo custo.

8. Programas de melhoramento: principais características de interesse zootécnico em bovinos

A produção de bovinos no Brasil tem grande destaque no sistema agropecuário nacional e internacional. Em 2014 o Brasil foi o país de maior rebanho bovino comercial do mundo com 208,3 milhões de cabeças (IBGE, 2014). Apesar da grande relevância em termos de produção, a produtividade ainda é baixa e necessita ser melhorada através da maximização da eficiência de produção para então, assegurar retorno econômico na atividade. Além de índices zootécnicos voltados à produção e desempenho, as características reprodutivas também consistem importantes indicadores de eficiência produtiva do rebanho (FARIA; CORSI, 1997).

Neste capítulo já abordamos métodos e técnicas utilizadas para o melhoramento genético da população bovina brasileira, além de biotecnologias que auxiliam no aceleração deste processo. Assim, neste item, vamos conhecer e entender as principais características de interesse zootécnico que têm sido trabalhadas e qual a contribuição efetiva de cada uma delas na produção sustentável de leite e carne.

9. Reprodução: precocidade e fertilidade

O melhoramento genético de bovinos de corte foi por muitos anos orientado por seleção de animais com característica de peso ao nascer e ganho de peso (EUCLIDES FILHO, 2009). Por outro lado, estudos clássicos mostram a importância da utilização de características reprodutivas como critérios de seleção para angariar avanços no sistema produtivo (TOELLE; ROBINSON, 1985). É importante salientar que para a obtenção de maiores progressos genéticos e lucratividade é indispensável o grande número de animais para reposição e venda – o que pode ser alcançado através da melhoria da precocidade sexual e fertilidade do rebanho (BERGMANN, 1998). Para tanto, as principais características a serem trabalhadas são idade ao primeiro parto e perímetro escrotal, sendo esta segunda, de maior herdabilidade e boa correlação com a primeira, o que se traduz em uma boa característica de precocidade a ser utilizada nos programas de seleção (EUCLIDES FILHO, 2009).

10. Nutrição: eficiência alimentar

Outro aspecto de extrema importância, inclusive ambiental, é a nutrição. Atualmente, buscam-se animais mais eficientes na conversão de nutriente em leite ou carne, pois isso pode ser traduzido em animais produzindo mais, sem a necessidade de aumento dos insumos alimentares e consequente utilização dos recursos naturais.

Uma importante característica de eficiência alimentar é o Consumo Alimentar Residual (CAR) o qual foi proposto por Koch *et al* (1963). O CAR é a diferença entre o consumo observado e o consumo estimado do animal, considerando o peso metabólico e o ganho de peso, ou seja, animais mais eficientes são aqueles que consomem menos alimento que o esperado, apresentando bons índices de crescimento e tamanho corporal (DEL CLARO, 2011).

O CAR é uma característica de herdabilidade moderada e estudos têm mostrado que a seleção desta característica tem sido positivamente relacionada à melhoria de taxas de conversão alimentar em rebanhos de corte (HOQUE *et al.*, 2006; NKRUMAH *et al.*, 2007). Isso pode ser traduzido em lucratividade na produção devido não somente à melhoria dos fatores produtivos, mas também à redução do custo de produção relacionado à alimentação.

Em rebanhos leiteiros de produção intensiva Bell *et al* (2013), realizaram uma análise de associação genética fenotípica onde considerou a ingestão de matéria seca, característica de produção de leite e emissão de metano. Estes autores afirmam que a melhoria da eficiência produtiva aliada à longevidade do rebanho, ao consumo alimentar, à contagem de células somáticas no leite e à melhoria na fertilidade trariam conjuntamente resultados positivos em termos de lucratividade e redução de emissões de metano por vaca e por kg de leite.

11. Produção de carne e leite

Outras características de seleção que podem ser utilizadas em programa de melhoramento genético de bovinos de corte e leite são aquelas relacionadas à produção e qualidade de carne e leite.

Em bovinos de corte, as características de rendimento de carcaça e qualidade de carne, possuem herdabilidade moderada podendo ser um bom parâmetro de seleção para estas características. Por exemplo,

para característica de carcaça, bovinos de corte podem ser selecionados geneticamente através da observação de dados como área de olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea, peso da carcaça quente e peso da porção comestível (BERGEN *et al.*, 2006). Além disso, em estudo recente (MOREIRA *et al.*, 2014) foi relatado que a seleção para maciez de carne não afeta as características de carcaça em Nelore, podendo assim, ser um critério de seleção a ser adotado.

Para bovinos leiteiros, as características produtivas podem também estar relacionadas à longevidade dos animais (sendo ambas as características de baixa a média herdabilidade). Silva *et al* (2012) encontraram em seus estudos que um critério de seleção para longevidade de vacas Gir Leiteira, pode ser a produção na primeira lactação. Também, na produção leiteira, dados de lactação podem ser utilizados na seleção de touros. Em outro trabalho Filho *et al* (2015) encontraram correlações genéticas altas relativas à produção de leite em até 305 dias, nas três primeiras lactações. Desta forma, a seleção de touros pode ser realizada a partir dos dados da primeira lactação.

12. Sanidade

O carrapato *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* é um parasito que causa inúmeras perdas na produção bovina. Além de perdas na produção e qualidade do couro, devido à danificações na pele, também onera o custo de produção com o aumento do uso de medicamentos e vacinas. Na tentativa de solucionar este problema, estudos têm mostrados resultados favoráveis à seleção para resistência ao carrapato (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Neste caso, a seleção é uma forma alternativa de prevenção ou tratamento à carrapatos, evitando-se os gastos com medicamentos e tornando a produção mais sustentável.

Um problema que acomete largamente os rebanhos leiteiros é a mastite que é uma infecção intramamária a qual pode afetar as vacas na forma clínica ou subclínica. Uma das possíveis causas da mastite pode ser higiene, mas também, alguns pesquisadores (KANEENE; MILLER, 1994) citam que a intensificação dos sistemas de produção de leite pode refletir em maiores riscos para esta doença, que conseqüentemente podem levar a problemas de fertilidades nas vacas, aumento na taxa de descarte e conseqüente aumento no custo de produção. Os tratamentos

para mastite além de ocasionarem resíduos de antibióticos no leite, também levam ao aumento do custo de produção. Assim, selecionar animais para resistência à mastite, também pode ser uma estratégia sustentável a longo prazo (JARDIM *et al.*, 2014) para a produção leiteira, principalmente em sistemas intensivos, contribuindo também para a melhoria da qualidade do leite.

13.Considerações Finais

O melhoramento genético constitui ferramenta essencial para a otimização dos sistemas de produção de bovinos de corte e leite. Através de seus programas e estratégias, bem como ferramentas biotecnológicas, é possível aumentar a produtividade de maneira sustentável, utilizando-se menos recursos naturais e medicamentos o que confere menor investimento e maiores lucros. É necessário, no entanto, entender cada parâmetro ou característica a ser trabalhada, bem como a correlação entre as mesmas, evitando efeitos negativos no sistema.

14.Referências bibliográficas

ALENCAR, M. M. Perspectivas para o melhoramento genético de bovinos de corte no Brasil. In: '41st Annual Meeting of the Brazilian Animal Science Society'. 2004, Campo Grande, **Anais...**, Campo Grande, 2004. p. 358–367.

BECKMANN, J. S.; KASHI, Y.; HALLERMAN, E. M. *et al.* Restriction fragment length polymorphism among Israeli Holstein-Friesian dairy bulls. **Animal Genetics**, v.17, n.1, p.25 – 38, 1986.

BELL, M. J.; ECKARD, R. J.; HAILE-MARIAM, M. *et al.* The effect of improving cow production and fitness traits on net income and greenhouse gas emissions from Australian dairy systems. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 12, p. 7918 – 7931, 2013.

BERGMANN, J. A. G. Indicadores de precocidade sexual em bovinos de corte. In: Congresso Brasileiro das Raças Zebuínas, 3. 1998, Uberaba, **Anais...** Uberaba, 1998. p.145- 155.

BERGEN, R.; MILLER, S. P.; WILTON, J. W. *et al.* Genetic correlations between live yearling bull and steer carcass traits adjusted to different slaughter end points. 1. Carcass lean percentage. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 3, p.546 – 557, mar. 2006.

BÓ, G. A.; PICINATO, D.; PERES, L. *et al.* Protocolos de transferência de embriões em tempo fixo para receptoras de embriões bovinos. **Acta Scientiae Veterinariae**, Porto Alegre, v. 34 n. Supl-1, p.17-23. 2006.

CARVALHEIRO, R.; NEVES, H.H.R.; QUEIROZ, S.A. *et al.* Combinando acasalamento associativo positivo e restrição sobre a endogamia visando maior progresso genético. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., 2007, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2007. (CD-ROM).

CENTRO DE REFERÊNCIA. Disponível em: <http://www.crbpz.org.br/Home/Conteudo/13442-Uma-breve-historia-sobre-a-introducao-do-Zebu-no-Brasil>. Acesso em: 01 ago. 2015.

DEL CLARO, A. C. **Avaliação do consumo alimentar residual de bovinos Nelore dentro e entre grupos contemporâneos**. 2011. 67f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável). Instituto de Zootecnia, Nova Odessa-SP, 2011.

DISKIN, M. G.; AUSTIN, E. J.; ROCHE, J. F. Exogenous hormonal manipulation of ovarian activity in cattle. **Domestic Animal Endocrinology**, v.23, N. 1-2, p.211–228, 2002.

EUCLIDES FILHO, K. Evolução do melhoramento genético de bovinos de corte no Brasil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 5, p. 620 – 626, set-out, 2009.

FARIA, V. P.; CORSI, M. Bovinocultura leiteira: Fundamentos da exploração racional. In:

Simpósio sobre Pecuária Leiteira, 1997, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba, SP: FEALQ, 1997. p.1-15.

FILHO, J. C. R.; VERNEQUE, R. S.; TORRES, R. A. *et al.* Modelos para avaliação genética da produção de leite em múltiplas lactações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 4, p. 298 – 305. Abr, 2015.

HANSEN, P. J.; BLOCK, J. Towards an embryocentric world: the current and potential uses of embryo technologies in dairy production. **Reproduction Fertility and Development**, v. 16, n. 2, p. 1-14, jan. 2004.

HOQUE, M. A.; ARTHUR, P. F.; HIRAMOTO, K. *et al.* Genetic relationship between different measures of feed efficiency and its component traits in Japanese Black (Wagyu) bulls. **Livestock Science**, v.99, p.111-118, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agropecuária de 2014. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 27 jul. 2015.

JARDIM, J. G.; QUIRINO, C. R.; PACHECO, A. *et al.* Melhoramento genético visando à resistência a mastite em bovinos leiteiros. *Arquivo de Zootecnia*, v. 63, n. R, p. 199 – 219. 2014.

KANEENE, J. B.; MILLER, R. Epidemiological study of metritis in Michigan dairy cattle. **Veterinary Research**, v. 25, n. 2-3, p. 253-257, 1994.

KOCH, R. M.; SWIGER, L. A.; DOYLE, C. *et al.* Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.22, p.486-494, 1963.

LOPES, M. A. B.; REZENDE, E. M. M. **ABCZ: 50 Anos de História e Estórias**. Uberaba: Rotal, 1984. 239p.

MOREIRA, L. C.; MAGNABOSCO, C. U.; EIFERT, E. C. *et al.* Características de qualidade da carcaça em bovinos Nelore Mocho selecionados para maciez. In: XXIV Congresso Brasileiro de Zootecnia, 2014, Vitória. **Anais...** Vitória: ZOOTEC, 2014.

NEVES, H. C.; CARVALHEIRO, R.; CARDOSO, V. *et al.* Acasalamento dirigido para aumentar a produção de animais geneticamente superiores e reduzir a variabilidade da progênie em bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.38, n.7, p.1201-1204, 2009.

NKRUMAH, J. D.; BASARAB, J. A.; WANG, Z. *et al.* Genetic and phenotypic relationships of feed intake and measures of efficiency with growth and carcass merit of beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.85, p.2711-2720, 2007.

OLIVEIRA, M. M.; GOMES, C. C. G; ROSO, V. M. *et al.* Seleção Genômica para resistência a carrapatos em bovinos Braford e Hereford. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO ANIMAL, 2012, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBMA, 2012.

PEREIRA, J. C. C. **Melhoramento Genético Aplicado à Produção Animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2008. 617p.

PRATHER, R. S.; BARNES, F. L.; SIMS, M. M. *et al.* Nuclear transplantation in the bovine embryo: assessment of donor nuclei and recipient oocyte. **Biology of Reproduction**, v.37, p.859-866, 1987.

SILVA, M. C.; BOAVENTURA, V. M.; FIORAVANTE, M. C. S. História do povoamento bovino no Brasil Central. **Revista UFG**, v. 13, n. 13, p. 34 – 41, 2012.

SILVA, R. M. O.; BOLIGON, A. A.; FRAGA, A. B. *et al.* Estimativas de parâmetros genéticos para habilidade de permanência no rebanho e suas associações com características de interesse econômico em vacas da raça Gir Leiteiro. In: In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO ANIMAL, 2012, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBMA, 2012.

TOELLE, V. D.; ROBISON, O. W. Estimates of genetic correlations between testicular measurements and female reproductive traits in cattle. **Journal Animal Science**, v. 60, n. 1, p. 89-100, 1985.

TRIMBERGER, G.W. Conception rate in dairy cattle by artificial insemination at various

intervals before and after ovulation. **Journal of Dairy Science**, v. 27, n. 8, p. 659-660, 1944.

WILLETT, E. L.; BLACK, W. G.; CASIDA, L. E. *et al.* Success of transplantation of a fertilized bovine ovum. **Science**, Washington, v.113, p.247, 1951.

MELHORAMENTO GENÉTICO DO MILHO VISANDO À RESISTÊNCIA A DOENÇAS E SUSTENTABILIDADE PRODUTIVA

6

LEONARDO HUMBERTO SILVA E CASTRO
Engenheiro Agrônomo, Me.
Universidade Federal de Uberlândia

HEYDER DINIZ SILVA
Engenheiro Agrônomo, Me., Dr.
Discovery Breeder na Monsanto do Brasil.

ALÚZIO BORÉM
Engenheiro Agrônomo, Me., PhD.
Universidade Federal de Viçosa.

1. Introdução

1.1. O milho da atualidade e sustentabilidade produtiva

Nos últimos anos, o setor do agronegócio brasileiro aumentou a sua importância e participação no cenário econômico mundial. Isso, a partir da expansão de áreas produtoras, bem como pelo incremento nas exportações de produtos e subprodutos agrícolas, o que possibilitou a estabilização da economia interna frente aos momentos de crise e favoreceu novos investimentos no setor. O principal fator que mitiga tal avanço é o desenvolvimento de tecnologias que permitem um maior desempenho das culturas frente aos estresses bióticos e abióticos, que atualmente prescrevem uma potencial instabilidade. Tal instabilidade dificulta o manejo das culturas e, concomitantemente, seu sucesso produtivo.

A percepção contemporânea do *agribusiness* brasileiro se baseia no avanço da ciência e tecnologia obtido nos últimos anos, em que a visão estratégica e sustentável tornou-se primordial, desde o planejamento até a comercialização dos produtos e subprodutos agrícolas. Isso, para que as culturas de importância agrônômica maximizem a expressão do seu potencial produtivo e gerem elevado retorno econômico aos produtores rurais. A partir dos conceitos a cerca do termo estratégia descritos por Porter (1989) e Barney; Hesterly (2007), o resultado deste

avanço se caracteriza como meios aplicáveis para a redução dos custos de produção e obtenção de vantagens competitivas no mercado, por meio de estratégias de liderança em custo e diferenciação de produto. E, além de agregar valor econômico ao produtor rural, as estratégias de liderança geram ganhos no nível social e também permitem um menor impacto ambiental, alavancando a sustentabilidade produtiva do setor.

A cultura do milho (*Zea mays* L.) sempre teve elevada importância mundial, destacando como um dos principais cereais cultivados em todo o mundo, estando à frente dele apenas o trigo e o arroz (TRENTO et al., 2002). Tal importância relaciona-se, principalmente, à versatilidade de uso dos seus grãos, desde sua utilização na alimentação animal e humana, até o emprego em indústrias altamente tecnológicas. Neste cenário, cerca de 70% dos grãos de milho produzidos são destinados para a alimentação animal, se concentrando na criação de aves e suínos (MACHADO; CASSETARI NETO, 2007; SEAB, 2015).

No Brasil, este cereal é cultivado em duas épocas, safra e safrinha. Nos últimos anos, é observado um declínio na produção de milho na safra principal, isto devido à expansão do cultivo de soja nesse período. Na safra (2014/2015), a produção de grãos na primeira colheita sofreu uma redução de aproximadamente 2,6% em relação ao período passado, em que foram produzidas 30.637,6 mil toneladas. Já na segunda safra, também denominada safrinha, é observado um incremento na produção de milho, sendo que da safra passada para a atual, foi estimado um acréscimo de 2% na produção de grãos da cultura, perfazendo em um total de 49.377,6 mil toneladas. Então, ao fazer a análise do cenário apresentado nas duas safras da cultura, neste período produtivo houve um incremento de 0,2% na produção total de milho no Brasil, 80.208,4 mil toneladas respectivamente (CONAB, 2015).

Em relação à produção de milho, sendo essa uma atividade altamente estratégica no agronegócio mundial, é enfatizada sua fundamental participação na economia global para que seja atingida a sustentabilidade aspirada ao futuro. Então, no presente momento é observado o ganho gerado pelos esforços das pesquisas realizadas pelas instituições públicas e privadas, o que coloca na vitrine um milho diferente do que era cultivado no passado. Neste sentido, a sustentabilidade da cadeia produtiva da cultura se incorpora à eficiência tecnológica através

da adoção de boas práticas culturais e o monitoramento das variáveis que deprimem seu sucesso e continuidade, estando intimamente ligada à lucratividade, produtividade e ao retorno pessoal.

O *milho da atualidade*, embarcado nas entrelinhas da estratégia e sustentabilidade produtiva, é uma realidade delineada por quatro potenciais indicadores: o potencial produtivo, a adaptação ambiental, a resistência a pragas e doenças, e a eficiência responsiva à nutrição (Figura 1). Tal aprimoramento foi obtido a partir do melhoramento genético da cultura, cujo intuito é aprimorar sua resposta à diversidade ambiental, defesa aos estresses bióticos e abióticos, e maximizar a produção de grãos, através de novas combinações gênicas.



Figura 1. Indicadores delineadores do milho da atualidade

O potencial produtivo do milho é um fator intrínseco, em que, por melhores que sejam as condições disponíveis para o seu cultivo, a expressão máxima está ligada a essa potencial capacidade produtiva. Essa expressão é definida pela constituição genética da planta, por meio de efeitos individuais e interações dos genes que governam suas características intrínsecas. A hibridação é beneficiada pela heterose ou vigor híbrido, que agrega ganhos de produtividade por meio da interação entre seus parentais.

A interação genótipo por ambiente é outro fator amplamente estudado em programas de melhoramento genético do milho, uma vez que um híbrido sendo altamente adaptável a um ambiente específico, as chances de seu desempenho ser elevado em outras áreas serão diminutas. Por tanto, uma das preocupações dos melhoristas é a adaptação ambiental de seu germoplasma, em que a estratégia mais utilizada no

processo seletivo é a condução de ensaios experimentais em diferentes locais e anos, possibilitando ganhos de seleção com base na resposta dos híbridos frente à variabilidade ambiental a que são expostos.

Nos últimos anos, uma das maiores preocupações dos programas de melhoramento genético da cultura do milho é o desenvolvimento de híbridos resistentes às principais pragas e doenças. A resistência do milho a esses organismos possibilita a estabilidade produtiva da cultura, além de promover certa segurança ao produtor rural, uma vez que diminuirá as perdas causadas pela ação de pragas na lavoura. E por meio do menor número de aplicações de produtos fitossanitários, é predita uma redução no consumo de água e na emissão de gases do efeito estufa (GEEs). Tal processo inicia-se pela busca de fontes de resistência, a condução de populações segregantes por meio de estratégias clássicas do melhoramento genético vegetal, e na atualidade, uma ferramenta que auxilia no processo de seleção é a biotecnologia. Sendo essa uma estratégia que permite a maior eficiência e agilidade na seleção de genótipos superiores e concomitantemente, a disponibilização de híbridos defensivos.

O milho da atualidade, com elevado potencial produtivo, se tornou mais responsivo aos nutrientes disponíveis no solo e até mesmo disponibilizados via foliar. Dessa forma, sua capacidade de converter a nutrição em maior produtividade foi acrescida, além de serem verificados avanços relacionados à fixação biológica de nitrogênio por meio de bactérias diazotróficas microaeróbias do gênero *Azospirillum* ssp. Os grãos de milho são constituídos de fotoassimilados produzidos por meio de processos bioquímicos da fotossíntese, convertendo, além dos macro e micronutrientes, o carbono, oxigênio e hidrogênio, principalmente em amido e proteínas. Neste sentido, o melhoramento genético do milho tem um grande desafio, o da maximização da produtividade, elevar a magnitude de adaptabilidade ambiental e a conciliação com bons níveis de reação a pragas e doenças.

2. Importância das doenças da cultura do milho

Dentre as doenças que atacam a cultura do milho, Costa; Castela; Cota (2009) destacam a cercosporiose ou mancha de cercospora, a mancha branca, a ferrugem polissora, a ferrugem tropical, os

enfesamentos vermelho e pálido, bem como as podridões de colmo e espigas. Esses autores relatam que a partir do final da década de 1990, as doenças tem tornado-se uma grande preocupação para técnicos e produtores de milho. Relato de perdas de produtividade devido ao ataque de fitopatógenos tem sido comuns nas principais áreas produtoras. Os autores destacam a severa epidemia de cercosporiose que atacou o sudoeste goiano no ano 2000, na qual foram registradas perdas superiores a 80% na produtividade.

Outro exemplo que merece destaque foi a epidemia causada pela *Biploaris maydis* raça T, nos Estados Unidos entre os anos 1969 e 1970. Essa epidemia causou um prejuízo econômico, estimado, na ordem de um bilhão de dólares. Um dos principais fatores que predispuseram a essa epidemia foi o fato de cerca de 90% da produção de sementes nos US naquela época, utilizar o sistema de macho-esterilidade citoplasmática, baseado no citoplasma t, que é susceptível a essa raça do fungo.

3. Principais doenças da cultura do milho

3.1. Doenças Foliares

Mancha de Cercospora (*Cercospora zeae-maydis*): A doença é favorecida por temperatura e umidade relativa altas, longa períodos de orvalho e ambiente nublado. Epidemias podem ocorrer em lavouras com plantio sucessivo de milho, uma vez que o patógeno sobrevive em restos culturais. As lesões inicialmente são pequenas, de forma necrótica com halo clorótico que, posteriormente, adquirem formato retangular restrito às nervuras. Lesões maduras possuem bordas paralelas e apresentam coloração opaca quando exposta à luz.

Mancha de Turcicum (*Exserohilum turcicum*): Essa doença apresenta maior impacto em áreas com temperaturas amenas e com longos períodos de orvalho e nebulosidade. As lesões típicas tem forma alongada e o progresso da doença ocorre rapidamente após a antese. Lesões de turcicum podem se assemelhar às lesões de *Stenocarpella macrospora*. Genes de resistência estão disponíveis à mancha de turcicum incluindo Ht1, Ht2, Ht3, HtN e HtM.

Mancha de *Bipolaris maydis* (*Bipolaris maydis*): Esta doença tem maior ocorrência durante o período da safrinha, mas sua severidade geralmente não é alta. Os sintomas são semelhantes aos da mancha de cercospora, mas suas lesões têm um formato mais irregular e as extremidades das lesões não são delimitadas pelas nervuras das folhas como ocorre com a cercospora. Em geral, as lesões se iniciam nas folhas baixas e em poucos casos ultrapassa a altura da espiga.

Ferrugem Comum (*Puccinia sorghi*): Essa doença ocorre em grande parte das áreas de milho e é favorecida por clima úmido e temperaturas amenas. As lesões são observadas nas duas superfícies da folha e a cor das pústulas pode mudar de laranjadas para marrom ou preto, à medida que as lesões amadurecem e os teliosporos se desenvolvem. Genótipos com resistência monogênica podem apresentar reações de hipersensibilidade caracterizada por pequenas lesões cloróticas.

Ferrugem Polisora (*Puccinia polysora*): a doença está presente em ambientes quentes e úmidos de regiões tropicais e subtropicais. Os sintomas são semelhantes aos da ferrugem comum com algumas distinções: (1) as urédias geralmente estão localizadas no lado superior da folha e (2) estas possuem formato circular a oval e coloração castanho claro a laranjada. Reações de hipersensibilidade podem ser observadas como pequenas lesões cloróticas/necróticas após a infecção.

Mancha Foliar de *Diplodia* (*Stenocarpella macrospora*): Doença com sintomas semelhantes aos da mancha de turcicum, mas que se diferencia pela forma mais alongada e estreita. O ponto de penetração do patógeno está sempre presente e é facilmente observado contra a luz. Um halo amarelado também é normalmente observado ao redor da lesão. Essa doença é comumente encontrada em lavouras, mas seu impacto como doença foliar varia de baixo a moderado.

Ferrugem Tropical ou Ferrugem Branca (*Physopella zae*): A doença é favorecida por temperatura e umidade altas e baixas altitudes. Essa doença tem ocorrência mais restrita do que as ferrugens comum e polisora, e é caracterizada por pústulas de cor branca ou amarelada. O tamanho das lesões isoladas varia de 0,3 a 1 mm de comprimento e, em alguns casos as lesões, podem se fundir, criando grandes lesões necróticas na folha.

Mancha Branca ou Mancha de *Phaeosphaeria* (*Phaeosphaeria maydis*/*Pantoea ananás*): Essa doença é comum nas lavouras de milho

na região dos cerrados, se estendendo até o estado do Paraná. As lesões inicialmente são realizadas pela bactéria *P. ananas* e tem aparência encharcada conhecida como (anasarca). Com o desenvolvimento da doença, as lesões se progridem para coloração de palha e, em condições favoráveis, ocorre também o desenvolvimento do fungo *P. maydis* sobre as lesões bacterianas.

3.2. Doenças viróticas

Vírus do Mosaico da Cana SCMV: Os sintomas foliares da doença se iniciam como listras cloróticas paralelas às nervuras, as quais podem se unir e produzir manchas alongadas e cloróticas. Os sintomas podem ser bastante severos, mas também remissivos, desaparecendo com o desenvolvimento da planta. A identificação no campo é complexa, pois os sintomas foliares muitas vezes não são observados e, quando presentes, podem ser facilmente confundidos com doenças abióticas ou variação genética. Quando as plantas são infectadas por SCMV precocemente, as mesmas podem apresentar encurtamento dos internódios e redução no tamanho das espigas. Além disso, sintomas como ausência ou perfilhamento de espigas podem estar associados à presença do vírus ou do seu vetor (*Rhopalosiphum maidis*). Porém, é importante enfatizar que esses últimos sintomas são uma resposta comum do milho a adversidades climáticas e por isso, não devem ser a única forma de diagnose do inseto vetor ou do vírus.

3.2.1. Podridões de Colmo

Antracnose do Colmo (*Colletotrichum graminicola*): A antracnose é considerada a podridão do colmo mais severa no Brasil. O patógeno sobrevive nos restos culturais do milho e infecta as plantas pelos esporos que respingam no colmo. Alguns sintomas característicos incluem manchas negras brilhantes no exterior do colmo e o seu tecido interno se torna negro. Frequentemente o colmo com infecção severa pode ser esmagado com as mãos com facilidade. Durante infecção severa em plantas suscetíveis pode ocorrer a seca do ponteiro e tombamento.

Podridão do Colmo por Fusarium (*Fusarium verticillioides*): O *F. verticillioides* é um patógeno altamente disperso em áreas que comumente cultivam o milho. O patógeno sobrevive em restos

culturais e infecta o novo plantio de milho na safra seguinte. Sintomas externos geralmente refletem o comprometimento vascular, com folhas mudando a coloração geralmente brilhante e sadia para um verde pálido. Sintomas internos incluem necrose escura, em sua maioria com um fundo rosado. Inicialmente, a doença geralmente atinge a coroa e o primeiro internódio do colmo.

Podridão do Colmo por *Diplodia* (*Diplodia maydis*): A doença é causada pelo mesmo agente etiológico da Podridão da Espiga por *Diplodia*. Externamente, os sintomas característicos aparecem como pequenos pontos afundados na superfície do colmo, os quais são parte da frutificação do próprio fungo denominada por picnidio. Essas estruturas tendem a ser observadas mais rapidamente próximas à área dos nós abaixo dos internódios.

Podridão do Colmo por *Gibberella* (*Gibberella zeae*): É o mesmo patógeno causador da Podridão da Espiga por *Gibberella* na região norte. Apesar dos sintomas externos não serem simples de serem identificados, internamente, os sintomas aparecem como uma podridão rosada brilhante, que infectam muitos internódios.

3.2.2. Podridões de Espigas

Podridão de Espiga por *Gibberella* (*Gibberella zeae*): A infecção geralmente ocorre através da extremidade das plantas e se move do topo à base da espiga. Sintomas característicos incluem descoloração rósea escura dos grãos, que pode também ser observado entre os grãos, cimentando-os juntos. Em casos de severa infecção, as espigas de genótipos susceptíveis ficam completamente mumificadas. Grãos infectados com *G. zeae* podem apresentar alta concentração de uma micotoxina conhecida como Deoxynivalenol (DON).

Podridão de Espiga por *Diplodia* (*Diplodia maydis* e *D.macrospora*): A infecção do patógeno ocorre pelo cartucho nas fases vegetativas da cultura e o progresso da doença é observado geralmente da base para o topo da espiga. A infecção no ápice da espiga ocorre ocasionalmente em genótipos com empalhamento aberto, principalmente após o ataque de insetos praga. Os sintomas incluem descoloração branca dos grãos e o crescimento do fungo também pode ser observado, cimentando-os juntos. Minúsculas estruturas fúngicas

denominadas por picnídios podem ser observadas na superfície dos grãos. Sob infecção severa, as espigas de genótipos suscetíveis podem ficar completamente mumificadas.

Podridão de Espiga por *Fusarium* (*Fusarium verticillioides*): A infecção geralmente ocorre através da extremidade das plantas e se move aleatoriamente até as espigas. Os sintomas característicos incluem a descoloração rósea clara ou branco-suja dos grãos. O crescimento micelial do fungo pode também ser observado entre os grãos, cimentando-os juntos. Ao serem infectados com o patógeno, os grãos podem apresentar alta concentração de uma micotoxina conhecida como Fumonossina.

Podridão de Espiga por *Aspergillus* (*Aspergillus flavus*): Essa doença geralmente inicia-se na extremidade da espiga, principalmente, após ataque de pragas e progride aleatoriamente na superfície da espiga. Os sintomas característicos incluem esporulação verde-amarelada sobre e entre os grãos, e se torna verde-escura, quando os esporos amadurecem. Os grãos infectados com *A. flavus* podem apresentar alta concentração de uma micotoxina conhecida como Aflatoxina.

4. Princípios do controle químico das doenças do milho

As estratégias para o manejo das doenças da cultura do milho podem ser agrupadas em exclusão, erradicação, evasão (*avoidance*), proteção e o uso de cultivares resistentes, sendo que, o mais indicado é a união de técnicas para o controle dos fitopatógenos, que é denominada por manejo integrado de doenças.

A exclusão é uma tentativa de se evitar a introdução do patógeno em uma determinada área, na qual ele não exista. No Brasil, esse princípio é controlado pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio das normas fitossanitárias para importação de sementes e redes de estações quarentenárias. A erradicação é uma tentativa de eliminar ou reduzir a população de patógenos em uma área, o que pode ser realizado por meio da rotação de culturas, dentre outras técnicas de manejo. A evasão é uma maneira de fugir ou ao menos diminuir a intensidade de uma determinada doença, a partir da seleção de locais e épocas de plantio que sejam menos favoráveis ao desenvolvimento dos fitopatógenos.

A proteção no caso do milho é conseguida, primariamente, pelo uso do controle químico. O uso de fungicidas para o controle de doenças foliares não era algo comum até o início dos anos 2000. De acordo com Wise; Muller (2011), alguns dos fatores que contribuíram para o aumento do uso de fungicidas a partir de meados dos anos 2000 são: (i) aumento do preço internacional do milho, que evoluiu de uma média de U\$2,00/bushel entre 1975 e 2005, para U\$5,00/bushel em 2011; (ii) aumento da pressão de patógenos em algumas áreas dos Estados Unidos, o que também é observado no Brasil; (iii) o lançamento de novas classes de fungicidas no mercado, dentre elas as estrobilurinas; e (iv) as propagandas dos fabricantes de fungicidas, apontando um efeito benéfico dos mesmos, mesmo na ausência de alta pressão de incóculo.

A resposta do milho a aplicação de fungicidas foliares depende da intensidade da infecção do patógeno. Nos Estados Unidos a aplicação de fungicidas aumentou a produtividade em até 629 kg ha⁻¹, quando a severidade da doença era superior a 5% nas folhas abaixo da espiga, no estágio de enchimento de grãos. Em contrapartida, esse incremento foi de apenas 126 kg ha⁻¹, quando a intensidade de doença era menor que 5% (MUELER *et al.*, 2013). Apesar das discussões sobre o assunto, é fato que o uso de fungicidas na cultura do milho no Brasil é uma prática rotineira entre os produtores mais tecnificados em todas as regiões.

Os princípios de exclusão, erradicação, evasão e proteção visam excluir ou limitar o patógeno antes do seu contato com a planta. E que, métodos baseados nestes princípios para controle de doenças, podem ser afetados por condições climáticas, falhas mecânicas dos equipamentos e aplicação dos produtos fitossanitários, variações súbitas na distribuição do patógeno e o planejamento inapropriado (SMITH; WHITE, 1988).

5. Controle genético de fitopatógenos causadores de doenças no milho

As condições ambientais são a junção de fatores previsíveis e imprevisíveis que tem elevada influência na interação patógeno x hospedeiro, em que, quando a umidade relativa e a temperatura atmosférica do ar e do solo, a altitude da área e a intensidade

pluviométrica são favoráveis ao desenvolvimento dos fitopatógenos, a intensidade da severidade das doenças da cultura será elevada (BORÉM; MIRANDA, 2013). De maneira geral, a resistência genética é indicada como sendo a estratégia mais eficiente para o manejo sustentável frente à ação infecciosa dos organismos fitopatogênicos que acometem danos à cultura do milho, bem como às demais culturas de interesse agrônômico.

Fritsche-Neto; Môro (2015) evidenciam que os problemas epidêmicos de fitopatógenos são agravados em áreas que adotam o sistema de plantio direto, principalmente os relacionados à cercosporiose, helmintosporiose e podridões do colmo e espigas. Outro fator agravante é o cultivo sob irrigação, evidenciado em regiões em que a cultura se estabelece durante o ano todo. Neste sentido, Michereff; Barros (2001) citam que o controle genético é uma esperança para a proteção de cultivos e ao incremento da produtividade. Um ponto que também merece atenção é a sanidade dos grãos, em que a mesma se relaciona à quantidade de inóculo e a resistência aos fitopatógenos. E esta se associa ao bom empalhamento das espigas e também ao clima durante o desenvolvimento e o processo de maturação dos grãos na lavoura. Então, quanto menor a porcentagem de espigas com sintomas de doenças e grãos ardidos, agregará valor ao mercado (FRITSCHENETO; MÔRO, 2015).

5.1. Diversidade e variabilidade genética do milho

A exploração da cultura do milho na agricultura teve início há mais de 10.000 anos, seus grãos sempre foram primordiais, usados direta ou indiretamente na alimentação dos seres vivos, desde os povos astecas, maias, incas e a toda população mundial da atualidade (PATERNIANI; CAMPOS, 2005). No processo de domesticação da cultura, o ser humano realizou o processo de seleção para atender as suas necessidades, o que foi concentrando cada vez mais características estratégicas no processo evolutivo. Môro; Fritsche-Neto (2015) citam que, do ponto de vista evolutivo, essas características são, em geral, desfavoráveis, uma vez que aumenta a sua dependência da ação do homem para se perpetuar e sobreviver. Então, com esse processo, a espécie perdeu significativamente sua variabilidade genética, mas em alguns casos a

mesma ainda não teve grandes perdas. Neste sentido, os programas de melhoramento genético do milho têm como responsabilidade resgatar e ampliar a variabilidade do germoplasma da espécie e conservá-la em bancos de germoplasma.

A distribuição da variabilidade entre e dentro de populações e subpopulações é a estrutura genética das espécies. Nela, os alelos e os genótipos ocorrem de forma heterogênea, no espaço e no tempo, que se resulta da ação das forças evolutivas, tais como a mutação, migração, seleção e deriva genética. Essa estrutura não é formada aleatoriamente, uma vez que fatores como o tamanho da população, a forma de reprodução, o sistema reprodutivo, o fluxo gênico e o ambiente podem afetar a distribuição da variabilidade genética (HAMRICK, 1982). A diversidade genética é a porção hereditária das espécies, que vem de uma variação e pode ser observada e mensurada. Sua magnitude tem influência dos fatores como o número de locos segregantes, número de alelos em cada loco, o efeito dos alelos nas características fenotípicas, a distribuição dos locos nos cromossomos e a interação entre alelos de locos distintos (VILELA-MORALES; VALOIS; NASS, 1997; BARROSO; HOFFMANN, 2003; CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Neste intuito, a Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (CENARGEN) reuniu para conservação e armazenamento, a curto e longo prazo, a coleção base do germoplasma de milho, em que, para isso, foi criado o Banco Ativo de Germoplasma de Milho (BAG Milho), localizado na sede da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas – Minas Gerais, em que tal estratégia foi direcionada para suprir os programas de melhoramento da cultura com genótipos com adequada diversidade e variabilidade genética. O BAG Milho reúne 3.767 acessos de *Zea mays* L. e outros sete parentes próximos da espécie, sendo eles as espécies *Z. diploperennis*, *Z. mexicana* e *Tripsacum dactyloides* (ANDRADE *et al.*, 2015).

5.2. Vulnerabilidade genética do milho a fitopatógenos

Desde o início da agricultura, os produtores rurais sempre verificavam em suas lavouras a capacidade de determinadas plantas serem mais afetadas pelos fitopatógenos. Neste sentido, a

vulnerabilidade genética das espécies vegetais não é um conceito novo. Este é o risco que fatores bióticos e/ou abióticos tem de ocasionar desastres em plantas, o que é potencializado pela uniformidade genética encontrada nas plantações, em que isto é consequente da base genética estreita das culturas e, muitas das vezes, pelo fato dos agricultores não diversificarem os genótipos a serem cultivados em uma área delimitada. A modernização e a elevada tecnologia adotada na agricultura moderna e também a expansão de cultivo das culturas para áreas, geralmente, favoráveis para o desenvolvimento e proliferação dos organismos causadores de doenças em plantas aumentaram a frequência e a intensidade infecciosa dos fitopatógenos, o que pode causar danos às vezes irreparáveis aos cultivos, quando técnicas de manejo não são adotadas (DESTRO; MONTALVÁN, 1999; SANTILLI, 2009; FRITSCHÉ-NETO; BORÉM, 2012).

5.3. Princípios do controle genético a fitopatógenos

A resistência genética é descrita como sendo a habilidade da planta hospedeira em dificultar o processo infeccioso dos organismos fitopatogênicos (PARLEVLIET, 1997). A obtenção da resistência completa a esses organismos é difícil, por esta se relacionar a uma diversidade de genes. Neste sentido, a durabilidade da resistência genética é transitória, uma vez que tanto as espécies vegetais, quanto os fitopatógenos sofrem um constante processo de coevolução, caracterizando uma constante pressão de seleção entre o patógeno e o hospedeiro (PARLEVLIET, 2002).

Os genótipos podem ser imunes, ao não ser hospedeiro de um determinado patógeno, além de existir uma variabilidade entre a suscetibilidade e a resistência aos fitopatógenos, dentro do contexto do melhoramento genético da cultura. Essa variabilidade é resultante de características morfológicas, fisiológicas e genéticas de cada genótipo. A resistência pode ser caracterizada de acordo com suas características como vertical ou horizontal (VAN DER PLANK, 1963), em que a determinação do uso de uma ou outra em um programa de melhoramento genético será determinado pelo melhorista, com base nas características da cultura, do ambiente e do patógeno alvo.

A resistência vertical é do tipo qualitativa, possuindo herança monogênica ou oligogênica, se expressa por meio de genes maiores, sendo raça específica, o que a limita a uma ou a um número restrito de raças fisiológicas dos fitopatógenos, e sua durabilidade é baixa, em que os patógenos tem maior facilidade de superar os genes ligados à resistência, principalmente pela sua coevolução e aos mecanismos relacionados à sua variabilidade genética, sendo eles as mutações e recombinação (VAN DER PLANK, 1982; JOHNSON, 1984). Deste modo, para aumentar a durabilidade da resistência vertical é necessária a combinação de um maior número de genes de resistência às raças fisiológicas, diminuindo assim, a possibilidade de superação. Tal processo é dificultado, por requerer maior número de avaliações e tempo (CAMARGO, 1995; MUNDT, 1990).

Por outro lado, a resistência horizontal ou parcial é do tipo quantitativa, possui herança poligênica, é caracterizada por possibilitar a baixa penetração e esporulação do patógeno, diminuindo então, sua taxa média de infecção, não é raça específica e tem alto período de latência. Mesmo não impedindo totalmente a infecção do patógeno, esse tipo de resistência é, na maioria dos casos, melhor por retardar tal processo, e isso é facilmente observado em genótipos suscetíveis (PARLEVLIET; ZADOKS, 1977; HOFFMAN *et al.*, 2006), o que facilita o processo de seleção, por exemplo. Por tanto, a resistência horizontal é uma estratégia durável, não elimina o patógeno, diminuído as mutações desses organismos, e que promove meios para que o hospedeiro não sofra danos prejudiciais (THOMÉ *et al.*, 1999). Então, esse é o tipo de resistência mais investigado pelos programas de melhoramento genético da atualidade (POLAND *et al.*, 2009).

6. Estratégias clássicas do melhoramento genético para a obtenção de cultivares resistentes as doenças

Ao longo dos anos, o melhoramento genético auxiliou no processo de domesticação da cultura do milho no desenvolvimento, principalmente, de cultivares altamente produtivas e adaptadas às regiões estratégicas do agronegócio mundial. No Brasil tal processo não foi diferente, em que, a partir de pesquisas dos setores público e privado, já foi permitido o crescimento da importância econômica

da cultura e a possibilidade de cultivá-la em todas as regiões agrícolas brasileiras. O melhoramento genético do milho para resistência a doenças já possibilita diminuir as perdas de rendimento de grãos frente às epidemias dos fitopatógenos no campo. Segundo Andrade *et al.* (2011), um dos maiores desafios do melhoramento genético da cultura no momento é identificar fontes de resistência às doenças específicas, em que o surgimento das mesmas possa ocorrer de maneira repentina ou se adaptar nas plantas.

O primeiro ponto a ser levado em conta pelo melhoramento do milho visando à resistência a fitopatógenos é o estudo da herança da resistência, o qual investiga o número de genes da cultura que permitem a manifestação da doença. A próxima etapa é a avaliação da severidade do maior número de raças fisiológicas do patógeno alvo em híbridos individualmente. E por fim, a identificação de genes de resistência ou suscetibilidade do hospedeiro, em que, neste momento, a biotecnologia é uma grande aliada, pois suas ferramentas de avaliação não sofrem influência do ambiente em relação aos resultados (DESTRO; MONTALVÁN, 1999; BORÉM; MIRANDA, 2013; BUENO; MENDES; CARVALHO, 2013).

Alguns pontos importantes devem ser levados em conta para a obtenção de cultivares de milhos resistentes a fitopatógenos, são:

- Busca por fontes de resistência, em que o germoplasma a ser investigado pode ser da mesma espécie ou afins, as quais possuam genes de resistência;
- Realizar a transferência dos genes de resistência por meio de hibridação;
- Delinear o meio pelo qual a resistência irá se manter nos descendentes;
- Avaliar a resistência com base na variabilidade patogênica, se alinhando ao estudo da integração patógeno x hospedeiro x ambiente. A variabilidade genética de fitopatógenos se caracteriza pela presença de diferentes formas ou raças fisiológicas dos mesmos.
- Verificar a complexidade da herança da resistência;
- Diferenciar o nível de resistência ou suscetibilidade do hospedeiro a partir de intensidades adequadas da doença, em

que a melhor estratégia é conduzir ensaios preliminares sob condições controladas;

- Ao final, devem ser realizados testes no campo, para verificar a resistência em ambientes diversificados.

Depois de formada uma população base, após os procedimentos de hibridação, o que irá delinear a melhor estratégia, a princípio clássica, para a condução da população segregante, terá como base a herdabilidade da resistência, as características do patógeno alvo, os métodos de inoculação para a avaliação da resistência fisiológica; para no final, empregar as ferramentas biotecnológicas no processo de seleção. Os principais métodos clássicos do melhoramento de milho visando à resistência a doenças são descritos por Destro; Montalván (1999), Borém; Miranda (2013) e Bueno; Mendes; Carvalho (2013), e suas particularidades são apresentadas a seguir.

Os melhoristas avaliam a melhor estratégia clássica, mas existem alguns meios complementares para aumentar a durabilidade da resistência nos genótipos, em especial quando se trata da resistência vertical. A piramidação de genes, a rotação de genes e a adoção de multilinhas são as mais utilizadas para esta finalidade.

7. Melhoramento ao nível populacional

O melhoramento ao nível populacional busca aumentar a frequência de alelos de resistência ao patógeno alvo na população, bem como de genótipos resistentes. Várias são os métodos empregados com essa finalidade, porém, para espécies alógamas como o milho e pelo objetivo ser a obtenção da resistência, os métodos mais eficientes são a seleção massal e a seleção com teste de progênies.

8. Melhoramento visando à obtenção de híbridos

De acordo com Viégas; Miranda Filho (1978), em programas de melhoramento genético de milho várias são as vantagens quando se tem por objetivo o desenvolvimento de híbridos, em especial por permitir a associação de genes de resistência dos genitores em apenas um genótipo, além de se obter genótipos superiores e uniformes em menor espaço de tempo, em que as plantas terão o mesmo nível de resistência

ao patógeno alvo. No momento de se realizarem os cruzamentos das linhagens para o desenvolvimento de híbridos resistentes às doenças é importante combinar genótipos com diferentes genes de resistência a diversas doenças e/ou raças do patógeno alvo. E então, vários tipos de híbridos podem ser obtidos, em que cada um tem as suas vantagens e desvantagens, os principais são:

- **Híbrido simples:** obtido a partir do cruzamento de duas linhagens endogâmicas distintas, em que esta é a cultivar mais utilizada na agricultura da atualidade;
- **Híbrido simples modificado:** sua obtenção ocorre da mesma forma que o híbrido simples, mas é empregado como genitor feminino um híbrido simples entre duas linhagens aparentadas;
- **Híbrido duplo:** obtido por meio do cruzamento entre dois híbridos simples, em que os mesmos foram desenvolvidos por linhagens não aparentadas;
- **Híbrido triplo:** sua obtenção ocorre a partir do cruzamento entre uma linhagem endogâmica e um híbrido simples, o qual foi desenvolvido por linhagens não aparentadas;
- **Híbrido triplo modificado:** o cruzamento ocorre aplicando como genitor masculino um híbrido simples entre linhagens aparentadas e o feminino um híbrido simples entre linhagens não aparentadas;
- **Híbrido múltiplo:** é obtido a partir da combinação de mais de cinco linhagens não aparentadas;
- **Híbrido intervarietal:** sua obtenção se baseia a partir do cruzamento entre duas variedades;
- **Topcross:** é obtido cruzando-se uma linhagem endogâmica e uma variedade.

Neste sentido, é importante o desenvolvimento de linhagens homozigotas ou endogâmicas, as quais tem a capacidade reprodutiva, e então, nelas devem conter os genes de resistência para originar os híbridos resistentes. Para isso, a principal estratégia é realizar sucessivas autofecundações, pelo menos até a sétima geração, em que o melhorista escolherá o método para a condução da população, os dois métodos mais utilizados são o método genealógico e o SSD (*Single Seed Descent*).

10. Outras estratégias

A seleção recorrente é um método superior por manter a variabilidade a partir da concentração de alelos favoráveis com vários genes de resistência ao patógeno alvo (resistência horizontal) e de outros caracteres de interesse agrônômico; o que amplia gradualmente a base genética da espécie permite sua preservação e a utilização do germoplasma. E o retrocruzamento é um dos métodos mais precisos geneticamente, mas que é complementar a outras técnicas clássicas, que tem por objetivo elevar a frequência dos genes de resistência ao patógeno alvo. A maior aplicação deste método é para a introgressão de genes maiores de resistência (resistência vertical) em genótipos suscetíveis.

11. Biotecnologia x Controle genético das doenças do milho

O desenvolvimento de marcadores de DNA, também chamados marcadores moleculares, alterou profunda e irreversivelmente a maneira pela a qual se conduz o melhoramento genético de plantas. Dentre as principais aplicações dos marcadores moleculares para o melhoramento visando à resistência a doenças, certamente a seleção assistida por marcadores moleculares (SAM) é a de maior impacto. A SAM consiste em selecionar os indivíduos de uma população segregante com base em marcadores moleculares, intimamente ligados aos genes de resistência. Para identificação dos marcadores a serem utilizados podem ser utilizadas várias metodologias de verificação da ligação marcador/caractere de interesse tais como o mapeamento de QTLs (*QTL Mapping*), estudos de associação (*Association Studies*), estudos de associação em genômica ampla (*GWAS*), genes candidatos (*Candidate Gene Approach*), genotipagem subtrativa (*Subtractive Genotyping*), dentre outras.

Os dois principais esquemas de seleção assistida por marcadores moleculares para resistência a doenças são os retrocruzamentos por marcadores e a seleção precoce.

11.1. Retrocruzamentos assistidos por marcadores:

O método dos retrocruzamentos para incorporar a resistência a uma doença em um determinado genótipo (linhagem ou variedade) consiste em cruzar um indivíduo susceptível, normalmente uma linhagem ou variedade de alto valor comercial (pai recorrente), com

um doador resistente, que pode não ter características comerciais muito favoráveis. O intuito final desse processo é de incorporar (introgredir) apenas uma mínima porção do genoma do doador (o gene de resistência) ao genoma do parental recorrente, preservando assim todas as demais características deste. O processo convencional de retrocruzamento consiste em cruzar os parentais iniciais, obter a geração F1 e em seguida cruzar um indivíduo F1 com o parental recorrente, obtendo a geração RC1; esta é selecionada para resistência a doença e novamente cruzada com o parental recorrente para obter a geração RC2 e assim sucessivamente, conforme esquema apresentado na figura 2.

Doador	X	Recorrente (PR)		% Genoma parental recorrente
	↓			
F1	X	PR		50%
	↓			
	RC1	X	PR	75%
		↓		
		RC2	X PR	87,5%
			...	
			RC6	99,6%

Figura 2. Representação esquemática para introgressão de um gene de resistência e percentual do genoma do parental recorrente recuperado em cada geração

Neste esquema de melhoramento podemos utilizar os marcadores moleculares para selecionar os indivíduos portadores do gene de interesse, substituindo-se assim, a seleção fenotípica que deveria ser realizada a cada geração. Essa técnica é particularmente vantajosa no caso do alelo de resistência ser recessivo. Os marcadores moleculares podem ainda ser utilizados para monitorar o *background* genético do parental recorrente. Espalhando-se mais marcadores pelo genoma dos indivíduos que já sabidamente possuem o gene de interesse, pode-se selecionar dentre estes os mais similares ao parental recorrente (maior similaridade genética) que pode implicar no ganho de algumas gerações de retrocruzamento.

11.2. Seleção precoce por marcadores moleculares:

A utilização de marcadores moleculares para seleção de indivíduos nas gerações iniciais (F2, RCI) é uma das mais intuitivas aplicações de marcadores moleculares. A grande vantagem é que plantas com características indesejáveis tais como, a susceptibilidade a certas doenças, já seriam eliminadas nos estádios iniciais do programa.

12. Considerações finais

Thomas Malthus apresentou ao mundo em 1798 uma previsão catastrófica: a população humana cresce em progressão geométrica e a produção de alimentos em progressão aritmética, com o prevaletimento da fome, causando alta taxa de mortalidade de pessoas. Malthus viveu no período em que a humanidade atingiu a marca de um bilhão de habitantes. Atualmente, população mundial é de mais de sete bilhões de pessoas. Com isso, a questão malthusiana volta à tona: haverá alimentos para todos? Apesar das previsões trágicas de Malthus, a Era Antropocena tem sido de relativa abundância de alimentos, graças ao avanço tecnológico, especialmente nos países ricos, onde há notadamente fartura de alimentos. A demanda por alimentos, principalmente nos países emergentes designados BRIC (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), onde as condições de vida estão melhorando com rapidez e cresce exponencialmente. A agricultura moderna, com os cultivares melhorados e as avançadas técnicas de manejo das lavouras, possibilitou a elevação da produtividade em praticamente todas as espécies cultivadas. O sucesso obtido no melhoramento genético, especialmente no último século, foi principalmente devido à seleção visando à resistência ao estresse, em vez de seleção para maior produtividade potencial das plantas. O estresse biótico constitui uma das principais causas de redução da produtividade das lavouras de várias espécies agrícolas. Em muitos casos, pode ocorrer redução de até 100% no rendimento. Apesar dos grandes desafios à agricultura, o sucesso do melhoramento visando ao desenvolvimento de cultivares resistentes a estresses bióticos sugere que as perspectivas são promissoras e o mundo terá alimentos em quantidade e qualidade suficientes para atender à demanda de sua população.

13. Referências bibliográficas

- ANDRADE, G.S.; ALMEIDA, G.D.; BORÉM, A. Variedades com eventos piramidados. In: BORÉM, A. (Ed.). **Plantas geneticamente modificadas nos trópicos: desafios e oportunidades**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 2011. 532p.
- ANDRADE, R.V.; MARTINS NETTO, D.A.; SOUZA, F.R.S.; LEITE, C.E.P. **Recursos genéticos de milho: BAG milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/bagmilho.php>> Acesso em: 29 jul. 2015.
- BARNEY, J.B.; HESTERLY, W.S. **Administração estratégica e vantagem competitiva**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- BARROSO, P.A.V.; HOFFMANN, L.V. **Métodos de predição do comportamento de populações de melhoramento**. Campina Grande, PB: Embrapa–CNPQ, 2003. 38p. (Embrapa–CNPQ, Documentos, 108).
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013. 523p.
- BUENO, L.C.S.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, S.P. **Melhoramento genético de plantas: princípios e procedimentos**. 2. ed. Lavras, MG: Editora UFLA, 2006. 319p.
- CAMARGO, B.F. Controle genético. In: BERGAMIN FILHO, K. (Ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3ed. São Paulo: Ceres, 1995. Capítulo 37.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v.2 – Safra 2014/15, n.9 – nono levantamento, 106p., 2015.
- COSTA, R. V. da; CASTELA, C.R.; COTA, L.V. In: EMBRAPA Milho e Sorgo. **Sistemas de Produção**, 2 Versão eletrônica – 5ed. Sete Lagoas, 2009.
- CRUZ, C.D.; FERREIRA, F.M.; PESSONI, L.A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 2011, 620p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2012. v.1, 514p.

DESTRO, D.; MONTALVÁN, R. 1999. **Melhoramento genético de plantas**. Londrina, PR: UEL, 1999. 318p.

FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de Plantas para Condições de Estresses Bióticos**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. 240p.

FRITSCHÉ-NETO, R.; MÔRO, G.V. Cultivares. In: In: BORÉM, A.; GALVÃO, J.C.C.; PIMENTEL, M.A. (Eds.). **Milho: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015. p.137-153.

HAMRICK, J.L. Plant population genetics and evolution. **American Journal of Botany**, Columbus, v.69, n.10, p.1685-1693, 1982.

HOFFMAN, D.L.; CHONG, J.; JACKSON, E.W.; OBERT, D.E. Characterization and mapping of a crown rust resistance gene complex (*Pt58*) in TAM O-301. **Crop Science**, Madison, v.46, n.1, p.2630-2635, 2006.

JOHNSON, R. A critical analysis of durable resistance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.22, n.1, p.309-330, 1984.

MACHADO, A.Q.; CASSETARI NETO, D. Mais produtividade. **Caderno Técnico Cultivar: Cultura do Milho**. Goiânia, n.100, p.05-07, 2007.

MICHEREFF, S.J.; BARROS, R. **Proteção de plantas na agricultura sustentável**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2001. 368 p.

MÔRO, G.V.; FRITSCHÉ-NETO, R. Importância e usos do milho no Brasil. In: BORÉM, A.; GALVÃO, J.C.C.; PIMENTEL, M.A. (Eds.). **Milho: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015. p.9-25.

MUELER, D.S.; WISE, K.A., DUFAULT, N.S., BRADLEY, C.A CHIVERS, M.I. **Fungicides for field Crops**. The American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota, 2013. 112p.

MUNDT, C.C. Probability of mutation to multiple virulence and durability of resistance gene pyramids: further comments. **Phytopathology**, Saint Paul, v.81, n.3, p.240-242, 1991.

PARLEVLIET, J.E. Durability of resistance against fungal, bacterial and viral pathogens, presente situation. **Euphytica**, Wageningen, v.124, n.2, p.147-156, 2002.

PARLEVLIET, J.E. Present concepts in breeding for disease resistance. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.22, p.7-15, 1997. Suplemento.

PARLEVLIET, J.E.; ZADOKS, J.C. The integrated concept of disease resistance; a new view including horizontal and vertical resistance in plants. **Euphytica**, Dordrecht, v.26, n.1, p.5-21, 1977.

PATERNIANI, E.E.; CAMPOS, M.S. Melhoramento de milho. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. Ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. p.491-552.

POLAND, J.A.; BALINT-KURTI, P.J.; WISSER, R.A.; PRATT, R.C.; NELSON, R.J. Shades of gray: the world of quantitative disease resistance. **Trends in Plant Science**, Cambridge, v.14, p.21-29, 2009.

PORTER, M.E. **Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior**. Rio de Janeiro: Campus, 16 ed., 1989.

SANTILLI, J. 2009. **Agrobiodiversidade e direitos dos agricultores**. São Paulo: Peirópolis, 519 p.

SEAB, Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Análise da conjuntura agropecuária – safra 2014/15: Milho**. Jul. 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=32>> . Acesso em: 30 jul. 2015.

SMITH, D.R.; WHITE, D.G. **Diseases of Corn** in SPRAGUE, G.F.; DUDLEY, J.W (editors) **Corn and Corn Improvement 3rd Ed.** Madison, Wisconsin, 1988. 986p.

THOMÉ, G.C.H. **Genética e análise molecular da resistência parcial à ferrugem da folha em aveia**. 1999. 126 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

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, v.27, n.6, p.609-613, 2002.

VAN DER PLANK, J.E. **Host pathogen interaction in plant disease**. New York: Academic, 1982.

VAN DER PLANK, J.E. **Plant disease: Epidemics and control**. New York: Academic, 1963. 349 p.

VIÉGAS, G.P.; MIRANDA FILHO, J.B. Milho Híbrido. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G.P. (Org.). **Melhoramento e Produção do Milho no Brasil**. Piracicaba, SP: Marprint, 1978, p.257-309.

VILELA-MORALES, E.A.; VALOIS, A.C.C.; NASS, L.L. **Recursos genéticos vegetales**. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-Cenargen, 1997. 78p.

WISE, K.; MUELLER, D. 2011. **Are fungicides no longer just for fungi?** An Analysis of Foliar Fungicide Use in Corn. APSnet Features. Doi:10.1094/APSnetFeature-2011-0531.



RAFAEL MARCÃO TAVARES
Engenheiro Agrônomo, Me.
Universidade Federal de Uberlândia

ERNANE LEMES
Engenheiro Agrônomo, Me.
Universidade Federal de Uberlândia

1. Introdução

O intercâmbio rápido de informações, regularmente conhecido como globalização, afeta de várias maneiras a economia global, principalmente através da acelerada modernização dos processos produtivos e da imediata disseminação das inovações tecnológicas. Na agricultura contemporânea isso também não é diferente, e os principais reflexos estão nas técnicas de produção, que para manterem os níveis de competitividade e elevar a quantidade e a qualidade dos produtos finais precisam estar sempre na vanguarda tecnológica. Essas mudanças na forma de praticar a agricultura estão tornando o produtor rural em um empresário rural que está cada vez mais habilitado a controlar a sua linha de produção.

Uma consequência positiva da globalização na agricultura moderna é a possibilidade de redução de danos ao meio ambiente com a adoção de técnicas precisas e conservacionistas. No entanto, técnicas ainda obsoletas de manejo agrícola, como a utilização inadequada de produtos fitossanitários ou o uso excessivo do solo sem sua adequada conservação, estão prejudicando os ecossistemas e deteriorando a capacidade produtiva do ambiente agrícola. E dentro desse ambiente de resultados potencialmente prejudiciais ao meio ambiente que os conceitos de sustentabilidade vêm crescendo e têm priorizado técnicas eficientes de manejo, com retorno econômico e respeito a preservação dos recursos naturais.

Atualmente, ferramentas como a informática aliada às tecnologias em geoprocessamento e posicionamento global, além

de diversas outras tecnologias, estão proporcionando à agricultura uma nova forma sustentável de abordar a propriedade. O mercado agrícola está voltando-se para a inovação e incorporação de tecnologias fundamentais para a competitividade e sustentabilidade, atentando-se principalmente para a produção crescente de alimentos. Assim, surge a chamada agricultura de precisão, que é fundamentada em técnicas de gerenciamento agrícola cada vez mais sustentáveis, as quais consideram cada ponto das propriedades rurais de maneira diferenciada e com características específicas. Dessa maneira, a propriedade não é considerada homogênea, e sim de acordo com as suas necessidades, as quais o produtor tem conhecimento detalhado em cada parte da linha de produção ou de cada metro quadrado da sua propriedade (TSCHIEDEL & FERREIRA, 2002; BRASIL, 2013).

2. Origem da Precisão na Agricultura e no Brasil

Antes da agricultura de precisão, era inviável tratar especificamente de cada local da lavoura. Por isso, a agricultura era uma atividade baseada em valores médios, isto é, a partir de uma amostragem reduzida, muito generalizada e pouco representativa da área, as decisões de manejo eram tomadas conforme valores médios extrapolados para a toda a área, como se essa fosse homogênea (ANSELM, 2012). Mas, a agricultura de precisão surgiu e vem aprimorando-se justamente para mudar esta abordagem generalista de manejar uma propriedade rural.

Os primórdios da agricultura de precisão foram no início do século XX, porém, a origem das técnicas empregadas atualmente deu-se na década de 1980, na Europa, com a geração do primeiro mapa de produtividade, e nos EUA com a primeira adubação com doses variadas. Outro fato importante ocorreu na década de 1990 com o surgimento do GPS (*Global Positioning System*), ou Sistema de Posicionamento Global por satélites. Posteriormente, no final do século XX, surgiram e aprimoraram-se novas tecnologias, como computadores miniaturizados, satélites e sensores mais precisos, programas de sistemas de informações geográficas (SIG), entre outros conjuntos de ferramentas e técnicas de produção disponíveis para uso na agricultura, já que estes produtos foram inicialmente idealizados para outros fins (MORAES *et al.*, 2008; ANSELM, 2012).

No Brasil, os primeiros equipamentos para agricultura de precisão chegaram em 1995, como as colhedoras especialmente equipadas com monitores de produtividade em tempo real, e atualmente, a agricultura de precisão está, sobretudo, focada na aplicação em taxa variável de fertilizantes e corretivos, mas estes princípios e equipamentos também já estão disponíveis para a aplicação em taxa variável de produtos fitossanitários, especialmente para fungicidas e herbicidas. No entanto, é necessário destacar a importância de um sistema de gestão que considera a variabilidade em todos os aspectos das áreas agrícolas, ou seja, na produtividade das lavouras, no solo (características físicas, químicas e microbiológicas), infestação de pragas, doenças e plantas daninhas (BRASIL, 2013).

3. Objetivo do Gerenciamento Agrícola Preciso

A agricultura de precisão pode ser definida como uma moderna tecnologia para o manejo adequado e eficiente das culturas, dos insumos e do solo, considerando-se as variações espaciais e temporais que afetam a cadeia produtiva, e utilizando-se de recursos como o mapeamento dos fatores de produção que geram ferramentas de suporte à decisão para a aplicação localizada de insumos (ANTUNIASSI *et al.*, 2007). Trata-se, portanto, de um conjunto de técnicas que, através de um sistema de orientação via satélite, pressupõe o gerenciamento localizado da lavoura, visando a excelência de utilização de todos os processos envolvidos na produção agrícola, partindo do manejo do solo até o armazenamento do produto final.

Esta gestão de forma precisa e sustentável da propriedade rural exige a adoção de técnicas e equipamentos inovadores, como a distribuição em taxa variável dos insumos agrícolas, sistemas de informações e posicionamento geográfico, sensores ópticos, sistemas automáticos de direcionamento de máquinas, aproveitamento de adubação residual e até a semeadura noturna. Essas ferramentas tornam as práticas agrícolas cada vez mais adequadas e precisas, favorecendo o gerenciamento da unidade produtiva, reduzindo o desperdício de insumos e consequentemente diminuindo o custo da produção, trazendo benefícios econômicos para o produtor sem causar prejuízos ao meio ambiente (ANTUNIASSI *et al.*, 2007; MENDES *et al.*, 2008; BRASIL, 2013).

Assim, o objetivo principal da agricultura de precisão é aumentar a eficiência da agricultura, com base no manejo diferenciado de áreas, ou seja, aplicar tratamentos que variam de local para local, reduzindo ao máximo os desperdícios. Para isso, os produtores devem identificar a variabilidade dentro de um campo, e manejá-la para aumentar a produtividade e não prejudicar os ambientes de produção. A partir disso, a agricultura de precisão, se adotada adequadamente, permite a aplicação de insumos agrícolas nos locais corretos e nas quantidades requeridas, evitando desperdícios e otimizando as atividades agrícolas, além de melhorar as técnicas de manejo e favorecer produtividades maiores. A redução dos impactos ambientais das atividades agrícolas pela racionalização do uso de insumos é outra consequência da agricultura de precisão (TSCHIEDEL & FERREIRA, 2002; GEBBERS & ADAMCHUK, 2010; COSTA & GULHOTO, 2013).

4. Sistema de Navegação Global

Um dos fatores que mais impulsionaram a agricultura de precisão foi o surgimento do GPS, o mais popular dentre os sistemas de orientação via satélite, receptor do sistema norte-americano NAVSTAR. Outros conjuntos de satélites existentes são o GLONASS, correspondente ao sistema de satélites russos, o Galileo, pertencente à União Europeia, e o Compass, de origem chinesa. Esses conjuntos dão origem à sigla GNSS (*Global Navigation Satellite System*) ou Sistemas de Navegação Global por Satélites, que em conjunto possibilitam o posicionamento geoespacial autônomo com cobertura global, abrindo caminho para que os receptores eletrônicos determinem sua posição (longitude, latitude e altitude) com relativa precisão (ANTUNIASSI; BOLLER, 2011; BRASIL, 2013).

As informações recebidas pelo GPS sobre sua localização na superfície terrestre são instantâneas, o que permite constantemente ajustar o posicionamento das máquinas e implementos na área. O equipamento de GPS usa as informações recebidas pelos satélites para orientar outro software (controlador eletrônico) ou outros equipamentos (eletrônicos, mecânicos ou hidráulicos) a guiar a máquina nos trabalhos de campo. Qualquer sistema de posicionamento via satélites é comumente denominado de GPS, no entanto há diversos tipos

que são classificados de acordo com sua precisão no posicionamento. Recentemente, diversos aparelhos receptores multicanais estão sendo desenvolvidos para receberem o sinal de todos os conjuntos de satélites dos GNSS. Assim, maior será a “nuvem” de satélites disponíveis, e maior a acurácia no posicionamento (ANTUNIASSI & BOLLER, 2011).

Para uma agricultura de precisão eficaz é imprescindível este posicionamento acurado, com erros mínimos, pois o atributo a ser mapeado ou a aplicação localizada devem ser realizados nos pontos corretos. Devido a isso, existe uma extrema importância na correção dos erros de precisão do GPS, e uma das maneiras de corrigi-los é através das bases estacionárias de recepção de sinal GNSS, as RTK (*Real Time Kinematics*) ou posicionamento cinemático em tempo real, que são muito empregadas junto aos sistemas de pilotos automáticos, especialmente em operações de plantio mecanizado e nas pulverizações em jato dirigido (ANTUNIASSI *et al.*, 2007; ANTUNIASSI & BOLLER, 2011).

5. Sistemas de Direcionamento Via Satélite

Frequentemente são utilizados métodos convencionais para a orientação de máquinas agrícolas em faixas adjacentes, como riscadores e marcadores de solo, marcadores de espuma, correntes ou cabos, dentre outros. Porém, devido à baixa precisão e eventuais falhas humanas, estas técnicas provocam sobreposições e/ou falhas na demarcação das fileiras, dos espaçamentos desejados e na aplicação de insumos. Essas falhas aumentam os custos adicionais, além de causar danos à cultura e, principalmente, ao ambiente, devido ao excesso de insumos e resíduos de produtos fitossanitários (SHOCKLEY & DILLON, 2008; VERMEULEN & MOSQUERA, 2009; ROQUE *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2012).

Para substituir os sistemas tradicionais de direcionamento que a agricultura de precisão usam-se os sistemas de direcionamento via satélite, nos quais é necessário apenas localizar os pontos inicial e final do alinhamento de referência (ANTUNIASSI *et al.*, 2007). Os primeiros sistemas de direcionamento via satélite eram popularmente conhecidos como “barra de luz”, difundidos inicialmente na aviação agrícola e depois na pulverização terrestre. Estes dispositivos orientam

o operador da máquina na correção da rota programada, através de informação em um conjunto de luzes indicativas. É comum também a existência de um visor que informa ao operador qual o erro em relação ao alinhamento predeterminado ou qual a passada da aplicação, dentre outras informações (ANTUNIASSI *et al.*, 2007; BRASIL, 2013).

A orientação em faixas paralelas com as “barras de luz” originou os sistemas de auto esterçamento, ou piloto automático. Esses sistemas automatizados são acoplados por meio hidráulico ao sistema de direção das máquinas agrícola e o próprio sistema de direcionamento via satélite corrige a rota quando há necessidade (ANTUNIASSI *et al.*, 2007). Esses sistemas de pilotagem automática reduzem ao máximo as sobreposições no caminhamento no campo, além de aumentarem a capacidade operacional das máquinas, reduzirem o cansaço do operador e elevarem a velocidade de trabalho. Outra vantagem na utilização do piloto automático é em relação ao controle de tráfego nas operações agrícola, possibilitando a organização e o acompanhamento criterioso das passadas de máquinas nas lavouras, a fim de minimizar a compactação, concentrando-a em locais que podem depois ser manejados localizadamente (BAIO & MORATELLI, 2011; ANSELMINI, 2012; SOUZA *et al.*, 2012; BRASIL, 2013).

6. Mapeamento de Áreas Agrícolas

O mapeamento das áreas agrícolas é o ponto inicial no ciclo da agricultura de precisão, pois possibilita a caracterização individual de cada ponto da lavoura, a fim de separar a área total em subáreas semelhantes. Assim, o manejo adequado da lavoura acontece conforme uma caracterização detalhada dos pontos da área, segundo os *grids* de amostragem (MOLIN, 2000; INAMASU *et al.*, 2011). No entanto, o sucesso da agricultura de precisão ocorre durante todo o seu ciclo, ou seja, um processo contínuo de caracterização e tomada de decisão ponto a ponto. Por isso, além de uma caracterização espacial, é necessária também uma caracterização temporal das áreas agrícolas, ou seja, uma base histórica, safra a safra, de cada ponto da lavoura. Dessa forma, espera-se alcançar conclusões plausíveis sobre problemas específicos, além de conseguir uma sustentação maior para o gerenciamento agrícola e as tomadas de decisões (MOLIN, 2000; COELHO, 2003; GOEL *et al.*, 2003; CHIG *et al.*, 2010).

Com o propósito de caracterizar espacialmente e temporalmente a área produtiva, utilizam-se sistemas de informações geográficas (SIG) e conceitos geostatísticos, os quais são transformadas em mapas de atributos, ilustrando espacialmente o desempenho produtivo da área. Com base nas informações dos mapas de atributos (fertilidade, produtividade, compactação, etc.) é planejada a aplicação dos insumos, e para este planejamento ser conciso é fundamental uma análise da evolução e do comportamento desses atributos ao longo do tempo, além do conhecimento agrônômico para as recomendações de manejo (ANTUNIASSI *et al.*, 2007).

Uma caracterização espacial e temporal muito utilizada no mapeamento de áreas agrícolas é em relação à produtividade de cada ponto dos talhões. Estes mapas, que ilustram as diferenças de produtividade dentro de um mesmo talhão no tempo e no espaço, ajudam a identificar as causas de possíveis quedas de produtividade, como deficiências de fertilidade, compactação, fitopatologias ou a presença de plantas infestantes. Os resultados positivos dessa ferramenta são a redução dos custos de produção, o aumento de produtividade e tomadas de decisão de forma mais precisa (MOLIN, 2002; ANTUNIASSI *et al.*, 2007; WINSTEAD & SHANNON, 2010).

Outra forma de mapeamento é baseada em levantamentos da presença de plantas infestantes, a distribuição de reboleiras na lavoura e seu estágio de desenvolvimento. É necessário, portanto, processar um mapa com a distribuição espacial das plantas infestantes, além de uma base histórica de sua ocorrência, para elaborar mapas de tratamentos localizados das reboleiras, de acordo com as espécies encontradas, o nível de infestação, além de aplicações em taxa variada (BAIO & BALASTREIRE, 2000; MONQUERO *et al.*, 2008; BERNARDI *et al.*, 2014).

7. Aplicação em Taxa Variada

As aplicações de insumos e produtos fitossanitários em taxa variada, de acordo com a necessidade ou recomendação para cada local do campo, são os resultados de tomadas de decisões diferenciadas na agricultura de precisão. Essas tomadas de decisões, se baseadas no manejo fitossanitário e o planejamento adequados das lavouras, garantem a sustentabilidade do ciclo de gerenciamento agrícola preciso.

De acordo com Antuniassi *et al.* (2007), a aplicação em taxa variada de fertilizantes e corretivos na instalação da cultura ou na sua manutenção, baseando-se nas necessidades das plantas e nas recomendações para cada ponto da lavoura, é uma técnica economicamente viável na agricultura de precisão. A aplicação localizada é uma prática que compreende (i) a coleta de dados (mapeamento), (ii) a interpretação dos mapas (sistemas para suporte a decisão) e (iii) aplicação localizada.

O planejamento das tomadas de decisões resulta nos mapas de aplicação, ou de tratamentos, os quais serão interpretados pelos controladores eletrônicos das máquinas de aplicação localizada. Durante a aplicação, o receptor de sinais via satélite identifica a posição da máquina no campo e, de acordo com os mapas de aplicação, distribui os insumos, sejam fertilizantes, ou produtos fitossanitários, somente em quantidade necessária nos locais planejados. Para essa distribuição variada de insumos na área, utiliza-se de distribuidores que regulam automaticamente as dosagens em cada ponto do mapa, de acordo com as informações pré-verificadas de fertilidade. Esses equipamentos são chamados de VRT (*Variable Rate Technology*), ou equipamentos com tecnologia de aplicação em taxa variada (ANTUNIASSI *et al.*, 2007).

Dessa forma, a agricultura de precisão e o gerenciamento diferenciado permitem a aplicação nas necessidades específicas, evitando excessos e desperdícios, tornando o planejamento agrícola sustentável e ambientalmente mais correto, contribuindo para atender a crescente preocupação ambiental da sociedade e acrescentando a lucratividade da produção agrícola (MORAES *et al.*, 2008). Devido à distribuição precisa e localizada, é possível reduzir doses de insumos e custos de produção, além de aumentar produtividade e lucratividade, como ilustrado nos trabalhos de Ruffó *et al.* (2008) e Molin *et al.* (2010).

A aplicação localizada é possível através da determinação do posicionamento dos alvos na área produtiva, os quais podem ser localizados de duas maneiras: através da coleta de informações para elaboração de mapas de tratamento e posterior aplicação, ou através de um sistema *on-line* de detecção do alvo e aplicação simultânea (ANTUNIASSI & GADANHA JUNIOR, 2000; CHIG *et al.*, 2010; BERNARDI *et al.*, 2014).

A primeira opção compreende em amostragens prévias para elaboração de mapas georreferenciados dos alvos, os quais são processados com o auxílio de sistemas de suporte a decisão, gerando os mapas de tratamento ou aplicação. Em seguida, o sistema de controle do equipamento aplicador baseia-se nestes mapas para comandar a distribuição localizada (ANTUNIASSI & GADANHA JUNIOR, 2000; ANTUNIASSI *et al.*, 2007).

A segunda opção, por outro lado, o equipamento ao deslocar sobre o campo de aplicação, identifica os alvos através de sensores, e a aplicação em taxa variada é realizada somente sobre as áreas identificadas, tudo em uma única operação. São utilizados sensores óticos que notam a presença de determinados alvos, baseando-se nas diferenças de reflexão da luz pelas diversas superfícies encontradas nas áreas de cultivo, como as plantas infestantes, a cultura de interesse, os restos vegetais sobre o solo e o próprio solo (ANTUNIASSI *et al.*, 2007).

Um exemplo da utilização dessa técnica foi citado por Scotford & Miller (2005), no qual a aplicação localizada em tempo real, baseada em sensores de reflectância espectral, acoplados ao pulverizador, acionava a pulverização, diminuindo consideravelmente o uso de herbicidas. Reduções nas aplicações de herbicidas, baseadas em avaliações instantâneas de plantas infestantes, foram verificadas em diversos outros trabalhos, confirmando os benefícios da técnica e contribuindo para o fortalecimento dos princípios dessa tecnologia (WANG, *et al.*, 2001; WEIS *et al.*, 2008; PIETRAGALLA & VEJA, 2012).

Outra modalidade que dispensa amostragens prévias é em relação à coleta de solo para caracterização da fertilidade em adubações de cobertura, a qual ocorre pela utilização de sensores no distribuidor de fertilizantes, que verificam a necessidade variada de nutrientes (CHIG *et al.*, 2010; BERNARDI *et al.*, 2014). As análises simultâneas às aplicações são feitas de acordo com o teor de clorofila (detecção de tons de verde) na cultura, especialmente para aplicação de nitrogênio (MACHADO *et al.*, 2004; PIETRAGALLA & VEJA, 2012; ROSSATO *et al.*, 2012).

8. Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários

A agricultura de precisão, baseada em um gerenciamento agrícola criterioso e sustentável, também engloba as tecnologias de aplicação de

produtos fitossanitários (fungicidas, inseticidas, fertilizantes foliares), principalmente, na sofisticação e desempenho dos pulverizadores. No sistema de pulverização, um computador central, no qual estão armazenadas as informações sobre cada ponto da lavoura, controla de forma precisa as aplicações e as doses recomendadas (ANTUNIASSI & GADANHA JUNIOR, 2000; MERCALDI, 2012). Além de interpretar os mapas de tratamentos, a central de controle processa instantaneamente os dados de posicionamento geográfico, recebidos através de sinais via satélite, definindo precisamente a posição do pulverizador na lavoura a fim de se realizar a aplicação localizada em volumes ou doses variadas (ANTUNIASSI *et al.*, 2007).

Através de sistemas de injeção independentes de produtos fitossanitários no circuito de pulverização da máquina, é possível variar as doses dos produtos sem alterar os volumes de aplicação, ou seja, variar apenas a concentração da calda – neste caso, o produto fitossanitário é armazenado separadamente do diluente no tanque do pulverizador, os quais são misturados somente no momento da aplicação, através da injeção do produto fitossanitário na tubulação que leva a calda aos bicos de pulverização (ANTUNISASSI; BOLLER, 2011).

O mecanismo de aplicação em taxa variada reduz consideravelmente os riscos de contaminação do operador e do próprio ambiente, pois facilita-se as operações de preparo de calda, lavagem e descontaminação do tanque. Outro caráter sustentável desse tipo de tecnologia, no que diz respeito ao rendimento operacional, é a possibilidade de utilização de dois ou mais tipos de herbicidas ao mesmo tempo, de forma diferenciada e localizada ponto a ponto, quando o pulverizador possui mais de uma linha de injeção. Além disso, há maior segurança e rapidez na troca do produto utilizado, favorecendo a logística da aplicação e do deslocamento da máquina no campo (ANTUNIASSI & GADANHA JUNIOR, 2000; ANTUNISASSI & BOLLER, 2011; MERCALDI, 2012).

Outra forma de se variar a quantidade de produto aplicado, dispensando os sistemas de injeção independente e mantendo-se a concentração da calda constante, é através da variação do volume de calda aplicado utilizando-se de pontas hidráulicas e/ou pressões diferenciadas de trabalho. As alterações de pressão de trabalho nas pontas hidráulicas podem flexibilizar em até 20% o volume aplicado, sem prejudicar o espectro de gotas, garantindo a qualidade da aplicação. Uma

flexibilidade maior vem com a utilização de múltiplos bicos ou barras de pulverização, isto é, à medida que o pulverizador desloca-se no campo a variação do volume aplicado ocorre pela utilização isolada ou em conjunto de bicos com diferentes vazões (ANTUNIASSI *et al.*, 2007).

Outra ferramenta importante no gerenciamento preciso das aplicações agrícolas são os controladores eletrônicos. Para garantir maior eficiência nas operações, os controladores eletrônicos monitoram as variações de alguns fatores operacionais e ambientais, possibilitando o gerenciamento da aplicação e o desempenho no campo, além de tomadas de decisão diferenciadas (FIGUEIREDO & ANTUNIASSI, 2006). Os controladores permitem o gerenciamento do volume de pulverização, pressão de trabalho, tamanho de gotas, abertura e fechamento de barras e seções, além do direcionamento via satélite. Outra vantagem é no ajuste de vazão com a variação da velocidade do pulverizador e a uniformidade do volume de aplicação por unidade de área. É comum também o registro dos dados de campo, parciais e totais, das condições e desempenho da aplicação, como volume, velocidade, área tratada e tempos operacionais, além do controle do local de aplicação e variação da dose do produto, por taxas variáveis ou volume constante (FIGUEIREDO & ANTUNIASSI, 2006; ANTUNIASSI & BOLLER, 2011).

Com o registro dos tempos totais e parciais durante a aplicação, é possível calcular-se a eficiência operacional do trabalho, além de contabilizar o volume de calda utilizado para alertar ao operador a necessidade de reabastecimento. Assim, nas máquinas equipadas com controladores eletrônicos, há sensores básicos que informam e registram a vazão e a velocidade instantânea da máquina (ANTUNIASSI & BOLLER, 2011). Essas ferramentas favorecem a eficiência das aplicações, além de facilitar o gerenciamento agrícola, pois ilustram dados precisos dos desempenhos operacionais e permitem tomadas de decisões localizadas, fatores importantes para a sustentabilidade no campo.

9. Considerações Finais

A agricultura de precisão é uma tecnologia moderna que objetiva a sustentabilidade da produção agrícola no panorama ecológico atual. Esta tecnologia exige um gerenciamento criterioso e localizado do

manejo do solo, dos insumos aplicados e do desenvolvimento das culturas. Para que este gerenciamento seja eficiente, há de se considerar as variações espaciais e temporais dos fatores que afetam a produtividade em cada ponto da propriedade agrícola com vista à aplicação de técnicas adequadas de manejo das culturas.

Outro ponto importante neste gerenciamento agrícola preciso e sustentável são as ferramentas modernas para a otimização dos processos na agricultura, principalmente da tecnologia de aplicação dos produtos fitossanitários. Através dessas ferramentas, aplica-se as quantidades realmente necessárias às culturas, evitando desperdícios e resíduos no ambiente, além de reduzir custos e atender da melhor forma possível as demandas das lavouras.

Assim, diante da crescente preocupação em se elevar os tetos produtivos dos alimentos, para suprir as necessidades da população mundial, além de atender as exigências ambientais e preservar os recursos naturais, a agricultura de precisão visa a otimizar o gerenciamento agrícola e aprimorar as técnicas de produção. Dessa forma, a sustentabilidade agrega-se cada vez mais à produção agrícola, juntamente com as inovações tecnológicas e a modernização da produção rural.

10. Referências Bibliográficas

ANSELMINI, A. A. **Adoção da agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. 2012, 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ANTUNIASSI, U. R.; GADANHA JUNIOR, C. D. Aplicação localizada de produtos fitossanitários. In: BOREM, A.; GIUDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 181-202.

ANTUNIASSI, U. R., BAILO, F. H. R., SHARP, T. C. **Algodão no cerrado do Brasil**. 1. ed. Brasília, DF: ABRAPA, 2007. 934 p.

ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAP, 2011. 279 p.

BAIO, F. H. R.; BALASTREIRE, L. A. Avaliação de uma metodologia prática Avaliação de uma metodologia prática para o mapeamento de plantas daninhas para o mapeamento de plantas daninhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 349-352, 2001.

BAIO, F. H. R.; MORATELLI, R. F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 367-375, 2011.

BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agricultura de precisão. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Boletim Técnico**, Brasília: Mapa/ACS, 2013. 36 p.

CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S. Tecnologias para levantamento da variabilidade dos atributos do solo para um programa de agricultura de precisão. **Uniciências**, Cuiabá, v. 14, n. 2, p. 127-149, 2010.

COELHO, A.M. Agricultura de precisão: Manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e da cultura. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3. p. 249-290.

COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. J. M. Impactos potenciais da agricultura de precisão sobre a economia brasileira. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 10, n. 2, p. 177-204, 2013

FIGUEIREDO, Z. N.; ANTUNIASSI, U. R. Uso de controladores lógicos programáveis para ensaios de avaliação de desempenho de sistemas de controle eletrônico para pulverizadores. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 134-146, 2006.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. Precision agriculture and food security. **Science**, Washington, v. 327, n. 5967, p. 828-831, 2010.

GOEL, P. K.; PRASHER, S. O.; LANDRY, J. A.; PATEL, R. M.; BONNELL, R. B.; VIAU, A. A.; MILLER, J. R. Potential of airborne hyper spectral remote sensing to detect nitrogen deficiency and weed infestation in corn. **Computers and Electronics in Agriculture**, Oxford, v. 38, n. 2, p. 99-124. 2003.

INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSONI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. **Agricultura de precisão: um novo olhar**. 1 ed. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. 334 p.

MACHADO, P.L.O. de A.; BERNARDI, A.C. de C.; SILVA, C.A. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 209 p.

MERCALDI, H. V. **Automação de um sistema de pulverização para aplicação de agroquímicos a taxa variada usando injeção direta**. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do deserto salino, no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 01, p. 19-27, 2008.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BOREM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 237-258.

MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, A. V. A.; FRASSON, F. R.; FAULIN, G. D. C.; TOSTA, W. Test procedure for variable rate fertilizer on coffee. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 569-575, 2010.

MONQUERO, P. A.; AMARAL, L. R.; BINHA, D. P.; SILVA, P. V.; SILVA, A. C.; MARTINS, F. R. A. Mapas de infestação de plantas daninhas em diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 47-55. 2008.

MORAES, P. V. D.; AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; PIESANTI, R. Agricultura de precisão no controle de plantas infestantes. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v. 15, n. 1, p. 01-14, 2008.

PIETRAGALLA, J.; VEJA, A. M. Normalized difference vegetation index. In: PASK, A.; PIETRAGALLA, J.; MULLAN, D.; REYNOLDS, M. H. (Eds.) **Physiological Breeding II: a field guide to wheat phenotyping**. Mexico: CIMMYT, 2012. p. 37-40.

ROQUE, A.A. de O.; SOUZA, Z.M. de; BARBOSA, R.S.; SOUZA, G.S. de. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 7, p. 744-750, 2010.

ROSSATO, O. B.; ANDRADE-SANCHEZ, P.; GUERRA, S. P. S.; CRUSCIOL, C. A. C. Sensores de reflectância e fluorescência na avaliação de teores de nitrogênio, produção de biomassa e produtividade do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 8, p. 1133-1141, 2012.

RUFFO, M. L.; HENNINGER, A. S.; WIEBERS, M.; BELOW, F. E. Spatial variability of corn grain and ethanol responses to nitrogen fertilizer. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2008, Denver, Colorado. **Proceedings...** Denver, 2008.

SCOTFORD, I.M.; MILLER, P.C.H. Applications of spectral techniques in northern European cereal production: a review. **Biosystems Engineering**, Amsterdã, v. 90, n. 3, p. 235-250, 2005.

SHOCKLEY, J.M.; DILLON, C.R. Costsavings for multiple inputs with swath control and auto guidance technologies. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 9., 2008, Denver. **Proceedings...** Denver: Colorado State University, 2008. 1 CD-ROM.

SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; ARAÚJO, F. S.; BARBOSA, R. S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 603-612, 2012.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002.

VERMEULEN, G.D.; MOSQUERA, J. Soil, crop and emission responses to seasonal-controlled traffic in organic vegetable farming on loam soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 102, n. 1, p. 126-134, 2009.

WANG, N.; ZHANG, W. N.; DOWELL, F. E.; PETERSON, D. E. Design of an optical weed sensor using plant spectral characteristics. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 44, n. 2, p. 409-419, 2001.

WEIS, M.; GUTJAHR C.; RUEDA-AYALA V.; GERHARDS R.; RITTER C.; SCHÖELDERLE F. Precision farming for weed management: techniques. **Gesunde Pflanzen**, Malden, v. 60, n. 4, p. 171-181, 2008.

WINSTEAD, A.; SHANNON, H. N. **Adoption and use of precision agriculture technologies by practitioners**. Auburn University, Working Paper, 2010.

MANEJO DO CAFEIEIRO PARA ALTAS PRODUTIVIDADES

8

Felipe Santinato
Engenheiro Agrônomo, Me.
Universidade Estadual Paulista- UNESP

Carlos Diego da Silva

Lucas Caixeta Vieira

Vanessa Mendes

Victor Afonso Gonçalves

*Graduandos em Agronomia
Universidade Federal de Viçosa UFV - Rio Paranaíba

1. Introdução

O objetivo desta revisão é orientar o acadêmico e o Engenheiro Agrônomo recém-formado a manejar corretamente a lavoura cafeeira, preparando-os para o exercício da sua profissão. O texto é dotado de dados técnicos nas principais áreas do conhecimento agrônômico, buscando a consolidação da informação e difusão do conhecimento, auxiliando o cafeicultor brasileiro.

2. Instalação da lavoura

2.1. Condições climáticas entre outras

- Temperatura: 19° a 22° (apta); 22° a 23° (marginal) e inferiores a 18° e superiores a 23° (inapta). Por isso, dependendo da latitude em que se planta existem altitudes limites para o plantio.
- Pluviosidade: déficit hídrico inferior a 100 mm anuais (apta); 100 a 200 mm (marginal) e superior a 200 mm (inapta). Deve-se adotar sistema de irrigação obrigatoriamente nas regiões inaptas e, opcionalmente, nas demais. O cafeeiro demanda aproximadamente 1.500 mm anuais, distribuídos principalmente nos períodos de floração (setembro e outubro) e de granação (janeiro e fevereiro).

- Observações: Evitar plantio em encostas, nas regiões frias, devido ao risco de geada de capote e elevada incidência de doenças como *Phoma/Ascochyta*. Evitar plantio em terrenos pedregosos (cascalho), pois a lavoura tende a “falhar” após alguns anos de condução. Ater-se para o tipo de herbicida utilizado na área em cultivos anteriores de soja e algodão (fazer teste de germinação com feijão). Evitar áreas que contenham nematoide *exigua*, pois demandará elevado custo de controle ao longo dos anos. Não plantar em áreas que contenham nematoide *paranaensis*.

2.2. Variedades e mudas

Utilizar preferencialmente os Catuaís (maior parte da área plantada no Brasil). Plantar outras variedades em pequenos talhões. Utilizar somente as recomendadas pelo IAC e Procafé. Conhecer o viveiro em que se adquiriram as mudas (tomar cuidado com mudas que contenham nematoides, Mancha aureolada, fungos de solo e oriundas de sementes não rastreadas). Plantar mudas com no máximo seis pares de folhas. Utilizar mudas produzidas em sacolinhas plásticas (693 cm³), tubete grande (180 cm³) e TNT grande (260 cm³). Recipientes menores não são indicados. Certificar-se de que as mudas foram aclimatadas e tiveram pulverizações protetivas com fungicidas e cúpricos.

2.3. Época do plantio

Os meses mais indicados são outubro e novembro. Em segundo plano dezembro e janeiro. Evitar plantios em fevereiro e março. Isto não somente pelas chuvas, mas também pelas elevadas temperaturas que atrasam ou impedem o desenvolvimento das plantas. Plantios efetuados em março/abril produzem, na primeira safra, até 40% e 20% a menos que os plantios de outubro/novembro e dezembro/janeiro, respectivamente.

2.4. Forma de plantio

Optar sempre pelo plantio manual. Se utilizar mecanizado, preparar o solo nivelando-o ao máximo. Além disso, acompanhar o plantio observando se as mudas estão sendo colocadas corretamente (cuidado

com o peão torno). É comum haver 10 a 15% de replantio. Fazê-lo o mais rápido possível, quando necessário, para uniformidade da lavoura.

2.5. Preparo e correção do solo

Área de cerrado ou lavoura perene anterior = subsolagem + aração + grade niveladora. Área de cultura branca anterior = subsolagem opcional + grade niveladora. Após o preparo do solo, efetuar a abertura dos sulcos (evitar variação na profundidade do sulco, evitar sulcos rasos). Realizar a calagem em área total elevando o V% para 60. Escolher a fonte conforme análise de solo. Optar por produtos de reação rápida, maiores PRNT e granulometria menor.

2.6. Espaçamento

De 3,8 a 4,0 m entre linhas (para a mecanização) e 0,5 a 0,7 m entre plantas. Em regiões montanhosas e/ou de pequenas propriedades (até 5 ha) pode-se optar pelo plantio adensado (2,5 m entre linhas, mantendo o espaçamento entre plantas). Nessas, opta-se este espaçamento somente quando não há a possibilidade de mecanização.

2.7. Adubação

No sulco de plantio utilizar 5.000 kg ha⁻¹ de esterco de galinha podendo adicionar 2.500 kg ha⁻¹ de palha de café ou ainda 10.000 kg ha⁻¹ de esterco de curral (2ª opção). Podem-se substituir estas fontes convencionais por compostos orgânicos, desde que se tenha a garantia comercial de cada lote adquirido. Na compra destes materiais sempre inspecionar a qualidade do produto (decantando as amostras) para verificar a presença de fraudes como areia, gesso e outros materiais. Inspeccionar o peso da carga (teor de umidade), pois é comum a fonte vir molhada (ganhando peso extra, oriundo de água). Todas as fontes devem estar bem “curtidas”.

Fazer a fosfatagem e adubação potássica conforme análise de solo e ajustá-las conforme as tabelas de composição/extração química do cafeeiro (Tabelas 1 e 2), optando por fontes específicas que contenham micros como Yoorin Master II S e Top Phos, para o P e Kcl para o K. Após adicionar todos os componentes nutricionais fechar o sulco com

o misturador. O misturador é essencial para homogeneizar os insumos no interior do sulco, evitando que estes se concentrem em determinadas partes ou profundidades.

Tabela 1. Fosfatagem no plantio com base na composição química do Cafeeiro – Santinato, R. (2007)

Ana. Solo	Resina	< 6	6 a 12	13 a 30	31 a 60	>60
Teores (ppm)	Melich	< 5	5 a 10	11 a 20	21 a 30	>30
Kg/ha		150	125	100	75	50

Tabela 2. Adubação potássica com base na composição química do Cafeeiro – Santinato, R. (2007)

Ana. Solo					
Teores % de K na CTC	<1,5	1,5 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 7,0	>7,0
Kg/ha 125		100	75	50	25

2.8. Manejo de plantas infestantes

Preferencialmente limpar a lavoura utilizando dessecador em área total e após a incorporação do material aplicar herbicida pré-emergente em faixa de 2,0 m ao longo da linha de plantio. Reaplicar após o surgimento do mato nesta faixa, alternando princípios ativos.

Pode-se manter o restante da área com mato baixo (roçadora) ou preferencialmente plantar na entrelinha milho ou clotalária (quebra vento + controle de nematoides + outros benefícios). Após o plantio todas as aplicações de herbicida o aplicador deve utilizar chapéu Napoleão e outros protetores (evitar ventos fortes também é importante além de proceder a operação mais devagar).

2.9. Irrigação

Em área de irrigação obrigatória certificar-se que o sistema está funcionando adequadamente e plantar somente quando estiver funcionando. Sempre contratar profissional especializado para instalar o sistema e proceder às manutenções. Optar sempre por lâminas maiores, pois darão garantia do fornecimento hídrico mesmo em anos de elevadas temperaturas.

3. Considerações sobre a implantação da lavoura

O engenheiro agrônomo responsável deve estar presente em todos os momentos dessa fase de condução: escolha das mudas, preparo do solo, adubação e plantio. Deve saber utilizar os conhecimentos adquiridos ao longo de sua formação, tais como: verificar se os implementos estão corretamente ajustados para as operações de preparo do solo, se a adubadora está aplicando a dose correta. O plantio do café deve ser realizado preferencialmente como solo úmido, ou seja, após uma “boa chuva”. Caso tenha um período de estiagem após o plantio preparar para irrigar as mudas no campo.

É importante ficar atento para alguns detalhes como: qualidade do adubo, formulação correta. Quanto a aplicação de herbicidas ou outros produtos químicos ficar atento ao tempo de vencimento. Já a matéria orgânica observar a procedência, pois existem muitos sem qualidade no mercado.

Tais sugestões permite evitar problemas no início do plantio, evitando maiores consequências na futura lavoura.

4. Condução da lavoura no período de formação (0 a 30 meses):

4.1. Adubação de cobertura

Fazer de três a cinco parcelamentos do nitrogênio alternando as fontes (ureia, sulfato e nitrato ou outros). Pode-se utilizar fertilizante de liberação lenta como ciclus e polyblen fazendo apenas uma aplicação. As opções de fertilizantes nitrogenados com tecnologias protetivas são uma boa opção dependendo do custo (Sulfammo Meta 29 e Super N).

De 0 a 6 meses o café exige 13,25 e 10,23 kg de N ha⁻¹ em áreas irrigadas e de sequeiro, respectivamente.

De 7 a 18 meses exige-se 143,25 e 22,1 kg de N ha⁻¹, em áreas irrigadas e de sequeiro, respectivamente.

De 19 a 30 meses deve-se aplicar 324,7 kg de N ha⁻¹ em área irrigada e/ou com produtividade acima de 70,0 sacas ben. ha⁻¹ e 168,78 kg de N ha⁻¹ em área de sequeiro e/ou produtividade de 30,0 sacas ben. ha⁻¹. Além disso, aplica-se neste período o N conforme a produtividade esperada (2,0 kg de N ha⁻¹ para cada saca ben. ha⁻¹). Eventualmente, há a necessidade de aplicar micronutrientes como ácido bórico.

4.2. Adubação foliar

- Nos primeiros dois meses aplicar de 15 em 15 dias (calda de 50 L ha⁻¹ com concentração de 0,2 a 0,3% dos produtos contendo 10% de N, 8% de Zn, 2 a 3% de Mg, 0,5% de B, alternando o Mg com o Mn).
- Após essas pulverizações fazer mensalmente, até os 180 dias de plantio (0,2% de sulfato de zinco, 0,1% ácido bórico, 0,25% ureia, 0,2% sulfato de magnésio ou manganês à 0,15%). Sempre elevar as concentrações em cada pulverização, chegando à dose 50% maior, na última pulverização.
- Dos 7 a 18 meses: Pulverizações espaçadas em 25 a 35 dias, dobrando as concentrações. Pode aplicar juntamente 3 a 5% de açúcar ou melação.
- Dos 19 a 30 meses: Aplicações espaçadas de 30 a 40 dias. Aplicar 0,5 a 1% de concentração de adubos foliares completos (várias marcas). Antes e depois da florada fazer pulverização extra com produtos que contenham 10% de cálcio e 6% de boro.

5. Fitossanidade

Controlar doenças e pragas preventivamente utilizando no primeiro ano de condução doses 50% inferiores às recomendadas na lavoura adulta.

Nas lavouras adultas utilizar volume de calda de 500 l ha⁻¹, já nas novas pode-se utilizar 300 l ha⁻¹. Sempre regular o pulverizador e verificar se as pontas estão adequadas e com filtros. O engenheiro agrônomo deve certificar-se de que as pulverizações foram realizadas corretamente (regulagem do implemento e dose correta), e se não choveu após a aplicação.

5.1. Doenças

5.1.1. Ferrugem

Novembro a março (ferrugem tardia até junho). Controla-se com três aplicações foliares de triazóis específicos ou triazóis + estrobirulinas normalmente em dezembro, fevereiro e abril (intercaladas de 60 em

60 dias). Há opções de controle que utilizam aplicações via solo, complementadas com foliares. Redobrar a atenção com a ferrugem em lavouras mais “fechadas”, sombreadas por elas mesmas e lavouras de alta produtividade.

5.1.2. Cercosporiose

Praticamente o ano todo no cerrado. Controla-se aplicando duas a quatro vezes estrobirulinas específicas (Pyraclostrobrina, Picoxystrobrina, Trifloxistrobrina ou Azoxistrobrina). A cercospora ocorre muito no cerrado e ataca os frutos também, fazendo-os perder renda e cair no chão precocemente. Não deixar esta doença entrar na lavoura. Nas áreas mais quentes como Araguari, Catalão e Norte de Minas a ocorrência é muito severa.

5.1.3. Mancha aureolada

Doença de difícil controle, notadamente em plantas novas. As opções de controle são poucas: Kazumin, DioxiPlus e Duo, além de cúpricos com ação coadjuvante. Caso a identifique na lavoura iniciar a aplicação e repeti-la 10 dias depois. Sempre após uma chuva de pedra ou ataque de carneirinho e lagartas é importante proteger as plantas com cobre (mais de 2,0 kg ha⁻¹) e ater-se a presença desta doença. Atenção nas regiões mais altas e frias.

5.1.4. Phoma/Ascochyta

Doença que quando ocorre alastra-se facilmente, chegando a ficar quase que incontrolável. Ocorre nos períodos da florada (setembro), mas pode se estender até o final do ano ou ainda, persistir, se as chuvas prolongarem. Fazer aplicações na pré e pós-florada e adicionais caso necessário. Utilizar Cantus ou Nativo ou Folicur + Rovral (alternar o ingrediente ativo). Em regiões frias e altas a ocorrência é maior.

5.2. Pragas

5.2.1. Bicho Mineiro

Dezembro à abril, mas pode se estender (gosta de calor). Aplicar inseticidas de modos de ação diferenciados, ovicidas, fisiológicos e de

“choque”, quebrando o ciclo da praga em vários momentos (Altacor, Nomolt, Cartap, Rimon, Clorpirifós e etc.). Geralmente são duas aplicações.

5.2.2. Broca do café

Dezembro à colheita. A primeira aplicação deve ser realizada aproximadamente 90 dias após a florada (período de transito da broca). A aplicação deve-se repetir 60 dias depois. O sucesso do controle da broca também depende da qualidade da colheita e do recolhimento do café de chão (remover o inóculo). Aplicar Benevia em lavouras de produtividade acima de 30 sacas/ha e ou áreas de alto foco da doença. Em lavouras com baixa incidência da praga ou produtividade baixa controlar com inseticidas menos eficientes como Clorpirifós.

5.2.3. Ácaro vermelho

O aracnídeo desenvolve bem com clima quente. Caso apareça utilizar Omite e Orthus. Considerado uma praga ocasional.

5.2.4 Ácaro plano

Gosta de se esconder na vegetação (foge do sol) por isso o controle é difícil. Aplicar Omite + Talento ou Orthus + Talento. Sempre utilizar volume de calda elevado (700 L ha⁻¹ para mais). Praga ocasional.

6. Avaliações

- Avaliar o primeiro e segundo par de folhas (Phoma/Ascochyta).
- Para as demais pragas e doenças avaliar o terceiro e quarto pares. Coletar 50 a 100 folhas no talhão, em zigue-zague, dos dois lados da linha do cafeeiro (50% de cada lado), no terço médio.
- Transformar os dados obtidos em porcentagem.
- Dependendo da estrutura da fazenda as avaliações devem ser semanais ou quinzenais

- Para a broca deve-se coletar 200 frutos no talhão, e abrir os brocados com cuidado para não matar a broca.
- Para o Bicho Mineiro a avaliação deve ser no terço superior (pois lá que ela começa a atacar), devendo abrir as minas e contabilizar as larvas vivas.
- Atenha-se para os sintomas das doenças, pois existem vários estágios (por exemplo: ferrugem encubada, esporulada e curada).
- Organize planilhas de avaliação para os técnicos e registre os dados, dessa forma você terá mais segurança na recomendação, além de ter um banco de dados de incidência em cada talhão.

7. Adubação de lavouras adultas

Evitar utilizar fertilizantes formulados NPK (promove o desequilíbrio nutricional), utilizar fontes convencionais (ureia, sulfatos, nitratos e etc.). Para outras fontes, montar pequenos ensaios em alguns talhões da fazenda verificando se há mesmo o benefício especulado. Em caso de áreas irrigadas pode-se fazer até 20 parcelamentos via fertirrigação utilizando fontes solúveis (resultados excelentes).

- Aplicações: São realizadas 3 a 5 aplicações de N e K e apenas uma de P. São realizadas de 4 a 5 pulverizações foliares que podem acompanhar as de fitossanidade. Uma pulverização na pré florada outra na pós e três a quatro de enchimento de grão; com intervalos de 30 a 35 dias.
- Utilizar as equações propostas por Santinato, R (2007) para as adubações:

$$N = [70 + (PE * 2)] * FE \quad (1)$$

$$K = [50 + (PE * 2,5)] * FE \quad (2)$$

$$S = [3 + (PE * 0,15)] * FE \quad (3)$$

$$P = [6 + (PE * 0,5)] * FE \quad (4)$$

Em que;

N = Necessidade de nitrogênio (kg ha^{-1})

K = Necessidade de potássio (kg ha^{-1})

S = Necessidade de enxofre (kg ha^{-1})

P = Necessidade de fósforo (kg ha^{-1})

PE = Produtividade esperada (sacas de café ben. ha^{-1})

FE = Fator espaçamento ((100/espacamento entre linhas) *
espacamento entre plantas)

Tabela 3. Adequações para a adubação nitrogenada.

Correção do N em função da M.O (g/dm ³)									
Solo	Arenoso			Médio			Argiloso		
Nível	<10	10 a 20	>20	<20	20 a 40	>40	<30	30 a 50	>50
Ajuste	Dose	-10%	-20%	Dose	-10%	-20%	Dose	-10%	-20%

Tabela 4. Adequações para a fosfatagem.

Correção do P		
Níveis (mg/kg)		
Resina	Melich	Procedimento
<5	<5	Aumentar 50% da dose
6 a 12	6 a 10	Aumentar 25%
13 a 30	11 a 20	Manter a dose
31 a 60	21 a 30	Não aplicar em carga baixa e aplicar 50% em carga alta
>60	>30	Não aplicar

Tabela 5. Adequações para a adubação potássica.

Correção do K	
% de K na CTC	Ajuste
<1,5	Aumentar 50% da dose
1,6 a 3,0	Aumentar 25% da dose
3,1 a 5,0	Manter a dose
5,1 a 7,0	Reduzir a dose em 50% na carga baixa e em 25% na carga alta
>7,0	Reduzir 75% em carga baixa e 50% em carga alta

Tabela 6. Adequações para a adubação com enxofre.

Correção do S	
Níveis em mg/kg	Ajuste
<2,5	Aumentar a dose 50%
2,6 a 5,0	Aumentar a dose 25%
5,1 a 10,0	Manter a dose
10,1 a 20,0	Reduzir 50% em carga baixa e 25% em carga alta
>20,1	Reduzir em 75% na carga baixa e 50% na carga alta

- c) Para os micronutrientes consultar livro *Cultivo do Cafeeiro Irrigado por Gotejamento*, Santinato, R (2012).

8. Podas

- a) As podas são realizadas em lavouras depauperadas, com falta de saia e presença de ramos finos, com internódios curtos e em pequeno número (inferior à 6). Deve-se pegar o histórico de produtividade da lavoura e analisar o quanto ela produziu nos últimos quatro anos. Se há grande declínio na produção, se a próxima safra será de carga baixa, colher o café presente nos pés e iniciar a poda.
- b) A poda deve ser iniciada o mais cedo possível (agosto/setembro) e deve ser minimamente agressiva. Opte por decotes altos (2,4 a 2,6 m) e esquelete somente se for necessário. Não há a necessidade de fazer desbrota, a não ser que os ramos ladrões invadam a entrelinha dificultando as operações mecanizadas. No caso de recepa, recepar de 20 a 40 cm e conduzir 2 brotos somente.

9. Colheita

A colheita do café no Cerrado deve ser realizada 100% mecanizada desde a primeira safra produtiva. Na primeira safra sugerir o aluguel de colhedoras adaptadas (Nivalmag) pois foram projetadas para esta situação (ramos próximos ao solo). Nas demais safras pode-se utilizar qualquer máquina, preferencialmente com duas passadas da colhedora. Utilizar velocidades acima de 1.200 m/h nas duas passadas,

podendo a primeira ser a 1.600 m/h. Quanto as vibrações utilizar até 700 rpm na primeira e até 850 rpm na segunda. Em lavouras de carga muito alta (acima de 80,0 sacas/ha) pode utilizar a máquina até três vezes.

- a) Após a colheita da planta, proceder ao recolhimento mecanizado utilizando recolhedores novos. Sempre certificar se o solo está corretamente nivelado para esta operação. Caso não, proceder à grade niveladora ou ainda a trincha (em situações menos graves).
- b) Na colheita do café é essencial a presença do engenheiro agrônomo para fazer o planejamento da colheita. Determinar como e quando cada talhão será colhido, calcular a demanda de hora/máquina e com tal informação, planejar a compra de maquinário para as safras seguintes.

10. Recomendações

Nas recomendações técnicas ter argumentos consistentes com o amparo da literatura cafeeira para não despertar dúvidas quanto a seu posicionamento profissional. Caso tenha dúvidas em algum ponto específico buscar em fontes de pesquisas sólidas as informações necessárias aos seus questionamentos.

O planejamento da atividade deve ser organizado para facilitar a operacionalização da implantação da cultura, facilitando o levantamento dos custos e cronograma das etapas em datas preestabelecidas.

O conhecimento técnico dos encarregados e outros parceiros, aumenta as chances de sucesso na implantação e condução da cultura e a possibilidade de adequar as atividades com a capacidade de cada um, ao mesmo tempo buscar melhorias em suas deficiências.

Quando executar um projeto de implantação da cultura de café buscar utilizar os recursos que a propriedade dispõe para amenizar os custos iniciais da atividade.

Outra sugestão importante é desenvolver pequenos ensaios nas propriedades buscando conhecer melhor os produtos e técnicas que possam ser úteis na implantação de uma área maior.

O profissional Engenheiro Agrônomo para alcançar o sucesso e respeito deve ficar atento as atualizações do mercado através das pesquisas, congressos, revistas e outros.

11. Referências bibliográficas

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. G.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro e Varginha: MAPA/PROCAFÉ, 2010. 542 p.

CANNELL, M.G. Crop physiological aspects of coffee bean yield – a review. **Kenya Coffee**, 41:245-253, 1976.

SANTINATO, R., FERNANDES, A.L.T. **Cultivo do cafeeiro irrigado por gotejamento**. 2. Ed. Uberaba: Autores, 388p., 2012.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na Cultura do Café**. Belo Horizonte: O Lutador, 2.ed., 476p., 2008.

SILÍCIO NA AGRICULTURA

O nutriente benéfico não essencial



Ernane Lemes
Engenheiro Agrônomo, Me.
Universidade Federal de Uberlândia

Rafael Assis
Engenheiro Agrônomo, Me.
Centro Universitário do Planalto de Araxá - UNIARAXÁ

Gaspar Henrique Korndörfer
Engenheiro Agrônomo, Me., Dr.
Universidade Federal de Uberlândia

I. Introdução

O elemento silício (Si) está presente em mais de 370 minerais que em conjunto são a matéria-prima que compõem a maioria dos solos (Wedepohl, 1995). Tão grande é a presença deste elemento que cerca de 61,5% e 28,8% da crosta terrestre é composta por SiO_2 e Si, respectivamente, sendo, portanto, o segundo elemento mais abundante em nosso planeta (Wollast e McKenzie, 1983; Wedepohl, 1995). Na solução do solo o Si está principalmente na forma de ácido silícico (H_4SiO_4 ou $\text{Si}(\text{OH})_4$) (Iler, 1979; Dove *et al.*, 1995), e sua concentração depende da solubilidade dos silicatos primários e secundários presentes no solo, da temperatura do ambiente, do tamanho das partículas, assim como de sua composição química e da integridade das camadas superficiais dos minerais (Drees *et al.*, 1989). Contudo, a concentração de ácido silícico no solo varia majoritariamente entre 0,1 e 0,6 mM dm^{-3} (McKeague e Cline, 1963; Savant *et al.*, 1997).

Todas as plantas que se desenvolvem no solo contêm Si em alguma extensão (Epstein, 1994), e diversas evidências de que o Si está envolvido em diferentes funções benéficas nas plantas têm sido extensivamente descritas (Richmond e Sussman, 2003; Datnoff *et al.*, 2007; Pilon-Smits *et al.*, 2009; Cooke e Leishman, 2010; Guntzer *et al.*, 2012; Sahebi *et al.*, 2015). Os efeitos benéficos do Si às plantas incluem: maior produção de biomassa através de alterações nas características morfológicas das plantas (altura de planta, maior profundidade do

sistema radicular, melhor arquitetura das folhas, resistência física dos órgãos vegetais, etc), redução da transpiração foliar, maior tolerância à seca, à inundação, à geada, à salinidade e à toxidez por metais pesados, e considerável resistência a pragas e aos fitopatógenos (Ma e Yamaji, 2006; Rebitanim *et al.*, 2015).

A quantidade de Si em uma planta é dependente da espécie e da quantidade de ácido silícico disponível no substrato; entre as espécies de plantas a diferença de concentração de Si é a maior do que para qualquer outro elemento, variando os teores de Si de 0,1 a 16% (m/m) (Sangster e Hobson, 1986; Marschner, 1995; Epstein, 1999; Datnoff *et al.*, 2001; Ma e Takahashi, 2002). O Si é absorvido da solução do solo pelas plantas de forma passiva, com o fluxo de massa, e/ou ativamente através de proteínas transportadoras, como por exemplo, ocorre nas raízes do arroz (Ma *et al.*, 2001; 2003), e então precipitado como sílica amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) predominantemente onde e quando a água evaporar das plantas (Jones e Handreck, 1967; Ma *et al.*, 2001; Neumann, 2003). Embora algumas das propriedades atribuídas ao Si serem diretamente derivadas dessa deposição de sílica amorfa nas folhas, outras propriedades podem ser consideradas como uma consequência da bioatividade de ácido monossilícico (Fauteux *et al.*, 2005).

Apesar de quantitativamente ser um importante elemento nos solos, e das inúmeras referências de seus benefícios às plantas, o Si recebeu relativamente pouca atenção por parte de pesquisadores em relação aos outros elementos. Inclusive, o Si ainda permanece fora da lista dos elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, principalmente porque não se enquadra na definição clássica de essencialidade estabelecida por Arnon e Stout (1939).

2. Silício na Planta

O Si é o único elemento envolvido na defesa simultânea da planta a vários estresses, sendo, portanto, seus efeitos benéficos melhor observados quando as plantas estão sujeitas a alguma condição problemática (Ma, 2004). Atualmente existem duas hipóteses complementares sobre como o Si atuaria na proteção da planta a estresses de origem biótica e abiótica. Yoshida *et al.* (1962) relataram a ocorrência de uma camada de sílica (SiO_2) com espessura média de

2,5 μm , localizada imediatamente abaixo da cutícula foliar do arroz, e identificaram esta camada como responsável pela resistência do arroz ao desenvolvimento da bruzone (*Magnaporthe grisea*), uma das principais doenças fúngicas da cultura. Esta camada constitui a *barreira física* promovida pela presença do Si na planta, que, apesar de não ser uma proteção ininterrupta sobre a folha - não a cobre como uma película contínua - está associada à resistência das plantas às pragas e doenças. A presença e a densidade de células silificadas na epiderme foliar são comumente responsáveis por impedirem, ou dificultarem, a herbivoria e a penetração de fitopatógenos (Datnoff *et al.*, 2007).

Ao investigarem algumas características citológicas das plantas atacadas por pragas e doenças, assim como a presença de diferentes metabólitos tóxicos aos fitopatógenos, diversos estudos observaram que a resistência das plantas quando tratadas com Si não poderia ser explicada exclusivamente pela presença de sílica na epiderme foliar (Chérif *et al.*, 1994; Fawe *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2002; Rodrigues *et al.*, 2003; Fauteux *et al.*, 2005; Schurt *et al.*, 2014). Estes, e diversos outros estudos demonstraram que o Si tem a propriedade de desencadear a ativação da produção de substâncias (compostos fenólicos, lignina, fitoalexinas, proteínas quelatizantes de cátions, etc) que prejudicam o desenvolvimento de pragas e fitopatógenos nos tecidos da planta hospedeira, constituindo uma verdadeira *barreira bioquímica* aos diversos tipos de estresses.

Estudos vêm mostrando que o conteúdo de silício da parede celular das células da epiderme pode ser muito importante na resistência de plantas a doenças; e que a supressão dos depósitos de silício pode induzir suscetibilidade. Quando o extrato de uma interação compatível patógeno-hospedeiro é infiltrado em hospedeiro incompatível, a resistência e o conteúdo de silício decrescem (Assis e Korndörfer, 2015).

O Si está presente na seiva das plantas como ácido silícico (Casey *et al.* 2004) que é a forma considerada bioativa do Si (modulador da barreira bioquímica), no entanto, essa fração de Si solubilizado nas planta é mínima se comparado com a fração sólida presente como sílica amorfa nos pontos onde ocorre a saída de água da planta (Ding *et al.*, 2008). A sílica amorfa presente nas células vegetais é regularmente conhecida como fitólitos, ou células silificadas, que se formam sem o dispêndio

de energia da planta através da polimerização do ácido silícico quando sua concentração supera a $1,67 \text{ mM dm}^{-3}$ (Ma e Yamagi, 2006; Currie e Perry, 2007). Os fitólitos se acumulam nos espaços intercelulares, nos tricomas, nas folhas, raízes e órgãos reprodutores, e inclusive podem estar associados a compostos orgânicos como carboidratos e lignina na parede celular (Inanaga *et al.*, 1995). Impurezas na solução de seiva, como o alumínio (Al), ferro (Fe), titânio (Ti), manganês (Mn), zinco (Zn), fósforo (P), cobre (Cu) e nitrogênio (N) podem se coprecipitar nos fitólitos (Clarke, 2003), indicando como o Si pode agir na mitigação dos efeitos fitotóxicos do excesso de diversos metais no solo.

3. Estresses bióticos

A fertilização com Si promove a redução da severidade, e do desenvolvimento de doenças, como a mancha parda (*Bipolaris oryzae*), a queima da bainha (*Rhizoctonia solani*) (Datnoff *et al.*, 1992) e a brusone (*Magnaporthe grisea*) do arroz (Datnoff *et al.*, 1997); a ferrugem marrom (*Puccinia melanocephala*) da cana de açúcar (Dean e Todd, 1979); o oídio (*Uncinela necator*) da videira (Bowen *et al.*, 1992); a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) da soja (Lemes *et al.*, 2011), etc. O controle de até 30% da brusone na grama Santo Antônio (*St. Augustine grass - Stenotaphrum secundatum*) foi obtido a partir das aplicações de Si; e a aplicação de fungicidas com Si potencializou o efeito do controle sobre a doença (Brecht *et al.*, 2001), exemplificando como a fertilização com Si, aplicado sozinho ou combinado com fungicida, pode aumentar a tolerância das plantas às doenças.

Em mudas de ervilha, a aplicação de silicato de potássio reduziu o número de lesões causadas por *Mycosphaerella pinodes* (mancha de ascoquita) e aumentou a atividade de quitinases (enzima que degrada quitina, um polissacarídeo da parede celular dos fungos) e da β -1,3-glucanase (enzima que degrada β -glucanas, outro polissacarídeo da parede celular dos fungos) (Dann e Muir, 2002). Níveis elevados de fitoalexinas também foram encontrados em arroz infectado com brusone (*M. grisea*) (Rodrigues *et al.*, 2003) e em trigo infectado com oídio (*Blumeria graminis*) (Remus-Borel *et al.*, 2005) quando tratados com Si. No caso do oídio, foi demonstrado que o Si não elimina o patógeno da planta hospedeira, mas reduz seu desenvolvimento (Ghanmi *et*

al., 2004; Remus-Borel *et al.*, 2005). Os efeitos da aplicação de Si também estão relacionados com o atraso no surgimento da ferrugem asiática em campos tratados com Si via solo e a redução da severidade da doença (Lemes *et al.*, 2011), assim como com aumento da produção de enzimas de defesa pelas plantas tratadas com Si (Cruz *et al.*, 2013).

Os efeitos benéficos da fertilização com o Si têm sido amplamente demonstrados para muitos patógenos em diversas plantas (Datnoff *et al.*, 2007; Guntzer *et al.*, 2012; Ning e Liang, 2014), no entanto, as respostas das plantas a patógenos envolvendo o Si como um modulador da produção de substâncias de defesa ainda não são completamente entendidas.

A fertilização com Si mitiga os efeitos de outros estresses bióticos como a herbivoria causada por mamíferos (Huitu *et al.*, 2014), e reduz os danos causados por insetos pragas de plantas (Cooke *et al.*, 2011; Guntzer *et al.* 2012). Estas propriedades do Si são consequências da *barreira física* formada pelo acúmulo de Si na epiderme das folhas (Laing *et al.*, 2006; Hunt *et al.*, 2008). Essa deposição de Si na epiderme foliar é responsável por reduzir a palatabilidade das forrageiras e danificar as peças bucais das pragas (Massey e Hartley, 2009), reduzindo os danos causados às plantas. O acúmulo de Si nas folhas pode ser induzido após a herbivoria, com respostas nas plantas específicas às espécies de pragas e à quantidade de danos inferidos às plantas (Massey *et al.*, 2007).

Este efeito mecânico do Si na proteção das plantas contra herbivoria também é relatado para pragas como as brocas (*Chilo suppressalis*, *Scirpophaga incertulas*), a cigarrinha verde (*Nephotettix cincticeps*) e castanha (*Nilaparvata lugens*) do arroz, a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e a broca rosada (*Sesamia calamistis*) do milho, a lagarta *Diatraea saccharalis* na cana-de-açúcar, o besouro castanho (*Tribotium castaneum*) do trigo (Meena *et al.*; 2013), e a mosca branca (*Bemisia tabaci*) em pepino (Correa *et al.*, 2005). Embora os efeitos benéficos de Si sejam observados empiricamente, os mecanismos por detrás de todos estes efeitos estão apenas começando a ser compreendidos para um número ainda limitado de plantas e suas pragas.

4. Estresses abióticos

O Si também é reconhecido por aliviar certos estresses abióticos que afetam as plantas, como a presença de metais pesados, os

desequilíbrios nutricionais, a salinidade, o excesso de luz UV, a geada, o calor e o estresse hídrico (Neumann e Nieden, 2001; Cooke *et al.*, 2011). O Si pode abrandar os impactos dos estresses abióticos por meio de uma variedade de mecanismos, incluindo o aumento da produção de substâncias antioxidantes pelas plantas, complexação e coprecipitação de íons metálicos nas raízes e folhas, redistribuição dos nutrientes na planta, imobilização de íons metálicos ao nível de solo, modificação da taxa de absorção de um nutriente, reflexão da radiação UV prejudicial e redução da evaporação foliar (Epstein, 1999; Ma e Yamaji, 2006; Liang *et al.*, 2007).

No caso de solos com problemas de salinidade, o Si compensa parcialmente os efeitos negativos dos sais (majoritariamente cloreto de sódio – NaCl) através da produção de superóxido dismutases e catalases - enzimas que protegem a planta contra danos oxidativos (Al-aghaby *et al.*, 2004; Gong *et al.* 2006). A diminuição da permeabilidade da membrana plasmática e o desenvolvimento mais vigoroso do sistema radicular, também foram observados para a cevada quando fertilizada com Si (Liang *et al.* 1996, 2003). A absorção de sódio (Na) foi reduzida em plantas de trigo tratadas com Si (Saqib *et al.* 2008), demonstrando como o Si pode atuar de diversas maneiras para amortizar os danos causados pelo excesso de sais no solo. Na cultura do trigo também foi observado um benefício significativo através da aplicação do Si com relação à tolerância à seca (Gong *et al.*, 2005), e foi sugerido que este efeito benéfico estaria associado ao aumento da capacidade antioxidante das plantas que eram fertilizadas com Si. Este efeito reduziria os danos oxidativos oriundos do excesso de espécies reativas de oxigênio (EROs) produzidas em condições de estresse hídrico.

Com relação ao excesso de elementos no solo, o Si está associado a resultados superiores quando comparado com tratamentos que não receberam Si. Em condições de excesso do elemento alumínio no solo, o Si foi considerado benéfico para as plantas por promover a formação de aluminossilicatos (Ramos *al.* 2006; Liang *et al.*. 2007), e a liberação de compostos fenólicos pelas plantas que quelatizam o Al (Kidd *et al.* 2001), contribuindo para reduzir sua concentração na solução do solo (efeito no solo). Nas plantas foi observado que o excesso de Al, assim como o excesso de outros metais (cobre, cádmio, zinco, por exemplo), é

parcialmente imobilizado nas estruturas dos fitólitos (efeito na planta), o que reduz sua toxicidade (Neumann e zur Nieden, 2001; Hodson e Sangster, 2002; Liang *et al.*, 2007).

A aplicação de Si na cultura do arroz reduziu os efeitos fitotóxicos do excesso de Fe através do incremento do poder oxidativo das raízes, limitando os danos causados pelo excesso de Fe no solo (Ma e Takahashi, 2002). Já o excesso de Mn na cultura do pepino teve seus efeitos deletérios (necroses foliares) mitigados devido à sua imobilização nas paredes celulares de plantas fertilizadas com Si (Horiguchi e Morita, 1987). Além deste efeito causado pelo Si também foi observado uma melhor distribuição do Mn no tecido foliar, limitando seus efeitos fitotóxicos (Ma *et al.*, 2001).

Para condições de deficiência de nutrientes essenciais, como o P - além dos efeitos sobre o pH do solo que favorecem a disponibilidade e a absorção de P - a fertilização com Si melhora a eficiência de utilização deste nutriente incrementando a produção de enzimas relacionadas às fosforilações (Eneji *et al.*, 2008). Tal observação é uma vantagem às plantas em condições de baixa disponibilidade natural de P, como ocorre na maioria dos solos do Cerrado (Goedert *et al.*, 1986). No entanto, em condições experimentais de excesso de P, a aplicação de Si limitou a absorção de P através da redução da taxa de transpiração foliar (Ma *et al.*, 2001). Outros nutrientes como o nitrogênio (N) e cálcio (Ca) tiveram suas absorções melhoradas com a aplicação de silicatos (Mali e Aery, 2008a; 2008b).

Todos estes resultados positivos para a aplicação de Si nas culturas demonstram que a absorção de Si pelas plantas estimula a produção de diversas substâncias antioxidantes que reduzem os danos oxidativos comuns nesses estresses. No entanto, embora os efeitos benéficos do Si sejam observados empiricamente em muitos casos, os mecanismos que governam todos estes efeitos estão apenas começando a serem compreendidos, e apenas para um número limitado de culturas.

5. Fontes de Si

Embora o Si seja abundante na maioria dos solos, a sua disponibilidade para a absorção pelas plantas é reduzida, pois as formas de Si no solo são de baixa solubilidade. Esta situação faz com que

sejam observados bons resultados com a aplicação de fertilizantes silicatados. A aplicação de Si como fertilizante passou a ser rotina nos campos de produção de arroz no Japão, durante a década de 50, e atualmente é aplicado em vários países e para diversas culturas onde os efeitos benéficos da aplicação de Si foram observados (Datnoff *et al.*, 2001; Guntzer *et al.*, 2012).

Existem vários materiais ricos em Si total e passíveis de serem aplicados no solo. Porém, uma grande parte dos mesmos é de baixa solubilidade no solo. (Korndörfer e Gascho, 1999). As principais fontes de silício para uso na agricultura são: escórias de siderurgia, wollastonita, (é um silicato de cálcio muito empregado em experimentação como fonte de Si), subprodutos da produção de fósforo elementar, silicato de cálcio, silicato de sódio, termofosfato, silicato de magnésio e silicato de potássio. (Korndörfer *et al.*, 2004)

Um fertilizante silicatado, além de conter bons níveis de Si solúvel para satisfazer as necessidades das plantas, precisa apresentar um baixo custo final de produção, boas características físico-químicas que facilitem o armazenamento e a aplicação, e a ausência de substâncias contaminantes (Gascho, 2001); atualmente poucas fontes de Si atendem a todos os requisitos. Diferentes fertilizantes contendo Si, como a wollastonita (silicato de cálcio - CaSiO_3), os resíduos de siderurgia e fontes orgânicas como a palhada de arroz (Savant *et al.*, 1997; korndörfer *et al.*, 1999; Gascho, 2001; Hossain *et al.*, 2001), têm sido testadas, e os resultados demonstraram que as fontes orgânicas foram muito eficientes em disponibilizar o Si às plantas e apresentaram elevados rendimentos na cultura do arroz. As aplicações foliares de Si (silicato de potássio) também foram estudadas, no entanto, as aplicações de Si viad solo foram mais eficientes em suprir o elemento à soja e controlar melhor a ferrugem asiática da soja (Lemes *et al.*, 2011).

Os silicatos de cálcio, na forma de escórias provenientes da atividade siderúrgica e da produção de P, são amplamente utilizados como fertilizantes silicatados. (Korndörfer *et al.*, 2004a). O silicato de potássio é uma fonte cara, altamente solúvel, e apenas recomendada para o cultivo hidropônico. Outras fontes não usuais de Si já testadas foram o silicato de cálcio hidratado e a sílica gel, cada um com suas qualidades e limitações (Gascho, 2001).

6. Conclusões e Perspectivas

Apesar de não ser considerado um nutriente essencial – e apresentar mais um papel de metabólito secundário - o Si tem um impacto positivo no desenvolvimento e produtividade das plantas. No entanto, a carência de Si nos solos sob intenso cultivo, sem a reposição deste nutriente, pode ser a causa dos rendimentos decrescentes observados para diversas culturas, especialmente nos trópicos.

Os benefícios de uma fertilização com Si são mais expressivos quando as plantas sofrem algum estresse, seja biótico ou abiótico, sendo por isso o Si considerado como um elemento de proteção, sendo na defesa da planta que o Si entra em ação e expõe suas funções. Entre as questões ainda não compreendidas estão os efeitos do Si nas plantas que estão sujeitas a estresses combinados (doenças e pragas, calor, deficiência hídrica, UV, etc), que prejudicam simultaneamente as plantas, similarmente às condições de campo de produção comercial.

Os benefícios do Si às plantas são inquestionáveis, além de uma estratégia ecologicamente aceitável é uma ferramenta acessível para aumentar a produção agrícola, especialmente se considerarmos as necessidades crescentes de produção de alimentos para atender uma população que em menos de 30 anos chegará a 9 bilhões de indivíduos. A logística e o manejo adequado da fertilização com Si pode aliviar muitos dos estresses que atingem as culturas agrícolas, reduzindo as perdas devidas de produção e aumentando a eficiência agrícola do uso da terra.

7. Referências bibliográficas

AL-AGHABARY, K.; ZHU, Z.; SHI, Q. 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *J Plant Nutr*, 27:2101-2115.

ARNON, D.; STOUT, P. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol*. 14:371-375.

ASSIS, R.T.; KORNDÖRFER, G.H. 2015. Interação entre o estado nutricional e o desenvolvimento de doenças. In: Lemes, E.M; Castro, L.H.S; Assis, R.T; Doenças da Soja – Melhoramento Genético e Técnicas de Manejo. Editora Millennium, Campinas-SP. Cap. 15, p. 253-273.

BOWEN, P.; MENZIES, J.; EHRET, D.; SAMUEL, L.; GLASS, A.D.M. 1992. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. *J Am Soc Hortic Sci*, 117:906-912.

BRECHT, M.L.; DATNOFF, L.E.; KUCHARÉK, T.; NAGATA, R. 2001. Effect of silicon and chlorothalonil on suppression of gray leaf spot in St. Augustinegrass. *Phytopathology*, 91:S11

CASEY, W.H.; KINRADE, S.D.; KNIGHT, C.T.G.; RAINS, D.W.; Epstein, E. 2004. Aqueous silicate complexes in wheat, *Triticum aestivum* L. *PlantCell and Environment*, 27:51-54.

CHÉRIÉ, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R.R. 1994. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology*, 84:236-242.

CLARKE, J. 2003. The occurrence and significance of biogenic opal in the regolith. *Earth-Science Reviews*, 60:175-194.

COOKE, J.; LEISHMAN, M.R. 2011. Is plant ecology more siliceous than we realise? *Trends Plant Sci*. 16(2):61-68.

CORREA, R.S.B.; MORAES, J.C.; AUAD, A.M.; CARVALHO, G.A. 2005. Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. *Neotrop. Entomol.* 34:429-33.

CRUZ, M.E.A.; RODRIGUES, F.Á.; POLANCO, L.R., CURVÊLO, C.R.S.; NASCIMENTO, K.J.T.; MOREIRA, M.A; BARROS, E.G. 2013. Inducers of resistance and silicon on the activity of defense enzymes in the soybean-*Phakopsora pachyrhizi* interaction. *Bragantia*, 72(2):162-172.

CURRIE, H.A.; PERRY, C.C. 2007. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. *Ann. Bot.* 100, 1383-1389.

DANN, E.K.; MUIR, S. 2002. Peas grown in media with elevated plant-available silicon levels have higher activities of chitinases and β -1, 3-glucanase, are less susceptible to a fungal leaf spot pathogen and accumulate more foliar silicon. *Aust.Plant Pathol*, 31:9-13.

DATNOFF, L.E.; DEREN, C.W.; SNYDER, G.H. 1997. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Protection*, London, 16(6):525-531.

DATNOFF, L.E.; RODRIGUES, F.A.; SEEBOLD, K.W. 2007. Silicon and plant disease. In *Mineral Nutrition and Plant Disease*, pp. 233-246. Eds L.E. Datnoff, W.H. Elmer and D.M. Huber. St. Paul, MN, USA: The American Phytopathological Society.

DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; DERAN, C.W. 1992. Influence of silicon fertilizer grade on blast and brown spot development in rice yields. *Plant Dis.*, 76:1182-1184.

DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (eds.) 2001. *Silicon in agriculture*. *Studies in Plant Science*, Elsevier, Amsterdam.

DEAN, J.L.; TODD, E.H. 1979. Sugar rust in Florida. *Sugar J.* 42:10

DING, T.P.; ZHOU, J.X.; WAN, D.F.; CHEN, Z.Y.; WANG, C.Y.; ZHANG, F. 2008. Silicon isotope fractionation in bamboo and its significance to the biogeochemical cycle of silicon. *Geochimica et Cosmochimica,Acta*, 72:1381-1395.

DOVE, P.M. 1995. Kinetic and thermodynamic controls on silica reactivity in weathering environments, in White, A. F., Brantley, S. L. (eds.): *Chemical weathering rates of silicate minerals*. *Rev. In Mineralogy* 31, Mineralogical Society of America, Washington D. C., pp. 235-290.

DREES, L.R.; WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; SANKAYI, A.L. 1989. Silica in soils: Quartz and disordered silica polymorphs. Chap. 19, in Dixon, J. B., Weed, S. B. (eds.): *Minerals in soil environments*. SSSA Book series No.1, Madison, WI, pp. 913-974.

ENEJI, A.E.; INANAGA, S.; MURANAKA, S.; LI, J.; HATTORI, T.; AN, P.; TSUJI, W. 2008. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilisers. *Journal of Plant Nutrition* 31:355-365.

EPSTEIN, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 91, 11-17.

Epstein, E. 1999. Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50:641-664.

FAUTEUX, F.; REMUS-BOREL, W.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. 2005. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiol Lett*, 249:1-6.

FAWE, A.; MENZIES, J.G.; CHERIF, M.; BÉLANGER, R.R. 2001. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH (eds) *Silicon in agriculture. Studies in plant science*, 8. Elsevier, Amsterdam, pp. 159-169.

GASCHO, G.J. 2001. Silicon sources for agriculture. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH (eds) *Silicon in agriculture*. Elsevier, Amsterdam, pp 197-207.

GHANMI, D.; MCNALLY, D.J.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. 2004. Powdery mildew of *Arabidopsis thaliana*: a pathosystem for exploring the role of silicon in plant-microbe interactions. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 64:189-199.

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. 1986. Fósforo. In: Goedert, W.J. (Ed.). *Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo*. Planaltina: Embrapa-CPAC; São Paulo: Nobel, 1986. p.129-163.

GONG, H.J.; RANDALL, D.P.; FLOWERS, T.J. 2006. Silicon deposition in the root reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings by reducing bypass flow. *Plant, Cell Environ* 29:1970-1979.

GONG, H.J.; ZHU, X.Y.; CHEN, K.M.; WANG, S.M.; ZHANG, C.L. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, 169:313-321.

- GUNTZER, F.; KELLER, C.; MEUNIER, J.-D. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1):201-213.
- HODSON, M.J.; SANGSTER, A.G. 2002. X-ray microanalytical studies of mineral localization in the needles of white pine (*Pinus strobus* L.). *Ann Bot*, 89:367-374.
- HORIGUCHI, T., MORITA, S. 1987. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. IV. Effect of silicon on alleviation of manganese toxicity of barley. *J Plant Nutr*, 10:2299-2310
- HOSSAIN, K.A.; HORIUCHI, T.; MIYAGAWA, S. 2001. Effects of silicate materials on growth and grain yield of rice plants grown in clay loam and sandy loam soils. *Journal of Plant Nutrition* 24:1-13.
- HUITU, O.; FORBES, K.M.; HELANDER, M.; JULKUNEN-TIITTO, R.; LAMBIN, X.; SAIKKONEN, K.; STUART, P.; SULKAMA, S.; HARTLEY, S. 2014. Silicon, endophytes and secondary metabolites as grass defenses against mammalian herbivores. *Front. Plant Sci.* 5:478. doi: 10.3389/fpls.2014.00478
- HUNT, J.W.; DEAN, A.P.; WEBSTER, R.E.; JOHNSON, G.N.; ENNOS, A.R. 2008. A novel mechanism by which silica defends grasses against herbivory. *Ann Bot*, 102:653-656.
- ILER, R.K. 1979. The chemistry of silica – solubility, polymerization, colloid and surface properties, and biochemistry. Wiley & Sons, New York, p. 866.
- INANAGA, S.; OKASAKA, A.; TANAKA, S.; 1995. Does silicon exist in association with organic compounds in rice plants? *Soil Sci Plant Nutr*, 41:111-117.
- JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. 1967. Silica in soils, plants and animals. *Adv. Agron.* 19:107-149.
- KIDD, P.S.; LLUGANY, M.; POSCHENRIEDER, C.; GUNSE, B.; BARCELO, J. 2001. The role of root exudates in aluminium resistance and silicon-induced amelioration of aluminium toxicity in three varieties of maize (*Zea mays* L.). *J Exp Bot*, 52:1339-1352.

KIM, S.; KIM, W.; PARK, E.; CHOI, D. 2002. Silicon-induced cellwall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. *Phytopathol.* 92:1095-1103.

KORNDÖRFER, G.H.; G.J. GASCHO. 1999. Avaliação de fontes de silício para o arroz. In: Congresso Nacional De Arroz Irrigado. Pelotas, 1999. Anais. Pelotas: EMBRAPA. p. 313-316.

KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, N.M.; SNYDER, G.H.; MIZUTANI, C.T. 1999. Avaliação de métodos de extração de Si para solos cultivados com arroz de sequeiro. *Rev. Bras. Ciência Solo. Viçosa/MG.* 23(1):101-106.

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F.; SNYDER, G.H. 1999a. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. *R. Bras. Ciências. Solo,* 23:623-629.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO M.S. 2004. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU. 23p. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim Técnico, 01- 3ª. Edição).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA. H.S.; NOLLA. A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004a. 34p. (Boletim Técnico, 2).

LEMES, E.M.; MACKOWIAK, C.L.; BLOUNT, A.; MAROIS, J.J.; WRIGHT, D.L.; COELHO, L.; DATNOFF, L.E. 2011. Effects of silicon applications on soybean rust development under greenhouse and field conditions. *Plant Disease,* 95:317-324.

Liang, Y.; SUN W.; ZHU, Y.G.; CHRISTIE, P. 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. *Environ. Pollut.* 147: 422-428.

MA, J.F. 2003. Functions of silicon in higher plants. In: Müller, W.E.G. (ed.): *Silicon biomineralization.* Springer Verlag, Berlin, pp. 127-148.

Ma, J.F. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50(1):11-18.

Ma, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. 2001. Silicon as a beneficial element for crop plants, in Datnoff, L. E., et al. (eds): *Silicium in agriculture.* Studies in Plant Science 8, Elsevier, pp. 17-39.

- Ma, J.F.; Takahashi, E. 2002. Soil, Fertilizer and Plant Silicon Research in Japan. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Ma, J.F.; YAMAJI, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science* 11:392-397.
- MALI, M.; AERY, N.C. 2008a. Influence of silicon on growth, relative water contents and uptake of silicon, calcium and potassium in wheat grown in nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, 31:1867-1876.
- MALI, M.; AERY, N.C. 2008b. Silicon effects on nodule growth, drymatter production, and mineral nutrition of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171:835-840.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed., Academic Press, San Diego.
- MASSEY, F.; ENNOS, A.; HARTLEY, S. 2007. Herbivore specific induction of silica-based plant defences. *Oecologia*, 152(4):677-683.
- MASSEY, F.; HARTLEY, S. 2009. Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. *J. Anim. Ecol.* 78,281-291.
- MCKEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. 1963. Silica in soils. *Adv. Agron.* 15:339-396.
- MEENA, V.D.; DOTANIYA, M.L.; VASSANDA COUMAR; RAJENDIRAN, S.; AJAY; KUNDU, S.; SUBBA RAO, A. 2013. A Case for Silicon Fertilization to Improve Crop Yields in Tropical Soils. *Proc Natl Acad Sci India Sect B Biol Sci* , 84(3):505-518.
- NEUMANN, D. 2003. Silicon in plants. In Müller, W.E.G. (ed.): *Silicon biomineralization*. Springer Verlag, Berlin, pp. 149-162.
- NEUMANN, D.; ZUR NIEDEN, U. 2001. Silicon and heavy metal tolerance of higher plants. *Phytochemistry*, 56, 685-692.
- NING, D.F.; LIANG, Y.C. 2014. Silicon-mediated Plant Disease Resistance: Current Knowledge and Perspectives. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 20(5):1280-1287.

PILON-SMITS, E.; QUINN, C.; TAPKEN, W.; MALAGOLI, M.; SHIAVON, M. 2009. Physiological functions of beneficial elements. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12:267-274.

RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; Pereira, H.S.; Camargo, M.S. 2006. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(5):849-857.

REBITANIM, N.A.; REBITANIM, N.Z.; TAJUDIN, N.S. 2015. Impact of silicon in managing important rice diseases: blast, sheath blight, brown spot and grain discoloration. *IJAAR*. 6(3):71-85.

REMUS-BOREL, W.; MENZIES, J.G.; BELANGER, R.R. 2005. Silicon induces antifungal compounds in powdery mildew-infected wheat. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 66, 108-115.

RICHMOND, R.E.; SUSSMAN, M. 2003. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. *Current Opinion in Plant Biology*, 6:268-272.

RODRIGUES, FÁ; BENHAMOU, N.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B.; BÉLANGER, R.R. 2003. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. *Phytopathology*, 93:535-546.

ROGALLA, H.; ROMHELD, V. 2002. Role of leaf apoplast in silicon-mediated manganese tolerance of *Cucumis sativus* L. *Plant Cell and Environment*, 25:549-555.

SAHEBI, M.; HANAFI, M.M.; AKMAR, A.S.N.; RAFII, M.Y.; AZIZI, P.; TENGOUA, F.F.; AZWA, J.N.M.; Shabanimofrad, M. 2015. Importance of Silicon and Mechanisms of Biosilica Formation in Plants. *BioMed Research International*, vol. 2015, Article ID 396010, 16 p.

SANGSTER, A.G.; HODSON, M. J. 1986. Silica in higher plants. In: *Ciba Foundation Symposium 121*. J. Wiley & Sons, Chichester, pp. 90-111.

SAQIB, M.; ZORB, C.; SCHUBERT, S. 2008. Silicon-mediated improvement in the salt resistance of wheat (*Triticum aestivum*) results from increased sodium exclusion and resistance to oxidative stress. *Functional Plant Biology*, 35:633-639.

SAVANT, N.;SNYDER, G.;DATNOFF, L. 1997. Depletion of plant available silicon in soils: A possible cause of declining rice yields. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28:1245-1252.

SCHURT, D.A.; CRUZ, M.F.A.; NASCIMENTO, K.J.T.; FILIPPI, M.C.C.; RODRIGUES, F.A. 2014. Silicon potentiates the activities of defense enzymes in the leaf sheaths of rice plants infected by *Rhizoctonia solani*. *Tropical Plant Pathology*, 39(6), 457-463.

WEDEPOHL, K.H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59:1217-1232.

Wollast, R.; McKenzie, F.T. 1983. The global cycle of silica, in Aston, S. R. (ed.): *Silicon geochemistry and biochemistry*. Academic Press, San Diego, pp. 39-76.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. 1962. Chemical forms, mobility, and deposition in the rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 8(3):107-113.

Caio César Salgado
Engenheiro Agrônomo, Me. Ph.D
Cotton Breeder na Monsanto – Delta Pine.

Leonardo Humberto Silva e Castro
Engenheiro Agrônomo, Me.
Universidade Federal de Uberlândia

Ernane Miranda Lemes
Engenheiro Agrônomo, Me.
Universidade Federal de Uberlândia

Elvécio Gomes da Silva Júnior
Graduando em Agronomia
Universidade Federal de Uberlândia
CorpIntern na Monsanto – Delta Pine

I-Introdução

1.1. Importância da qualidade da fibra para o sistema de produção

A qualidade da fibra do algodão é determinada por diversos fatores, dentre os quais, destacam-se: fatores genéticos e morfológicos das plantas, fatores climáticos, aspectos agronômicos (nutricionais, fitossanitários e condução de lavoura). O processo de colheita e de beneficiamento tem papel fundamental na manutenção da qualidade da fibra obtida no campo. O interesse do produtor em obter fibra de alta qualidade se inicia antes mesmo do plantio da lavoura, com a escolha das variedades a serem cultivadas. Programas de melhoramento genético do algodoeiro sempre visam ao incremento da produtividade e rendimento de pluma. Avanços tecnológicos têm permitido aos produtores brasileiros alcançar patamares produtivos nunca alcançados.

Vários parâmetros de qualidade são considerados visando o melhoramento da fibra do algodoeiro. O comprimento de fibra é o caráter de fibra do algodão mais importante, determinando a quantidade de fibras que podem ser sobrepostas entre si. Quanto maior

a sobreposição, mais fibras se ligam, o que aumenta a resistência do fio (AHMAD *et al.*, 2003).

A finura da fibra, estimada pelo índice *micronaire*, é outro parâmetro importante para o melhoramento visando a resistência do fio. Quanto melhor a finura do fio de algodão, mais fibras por seção transversal são utilizadas, resultando em maior resistência do fio. Discutindo sobre as influências de diversos parâmetros de qualidade de fibra, Broughton *et al.* (1992) reconheceram que o aumento do comprimento de fibra gera uma maior resistência do fio ao atrito por alguma força externa. O comprimento e resistência da fibra têm sido diretamente influenciados pelo processamento têxtil e provavelmente continuarão sendo aprimorados devido aos avanços tecnológicos cada vez mais constantes na indústria, como por exemplo, a velocidade de urdição (KOHÉL, 1999; AMJAD, 1999; LIMA; BELOT, 2014).

Nas safras de 1990/91 até 1998/99, valores de uniformidade do comprimento da fibra abaixo de 80% eram comuns na grande maioria dos materiais, sendo essa situação compartilhada por outros países como Argentina, Bolívia e Paraguai (SANTANA *et al.*, 1998). No entanto, a indústria têxtil não aceita atualmente valores inferiores a 82%, comumente encontrados nas análises HVI para a grande maioria dos cultivares comercializados. Os padrões de resistência de fibra também foram elevando-se ao longo das safras, encontrando-se valores de 22 a 33 g tex⁻¹, atualmente (SANTANA *et al.*, 1998; CARDOSO *et al.*, 2003; FONSECA *et al.*, 2004; VILELA *et al.*, 2007; COUTINHO, ANDRADE, PEGORARO, 2015; CARVALHO *et al.*, 2015).

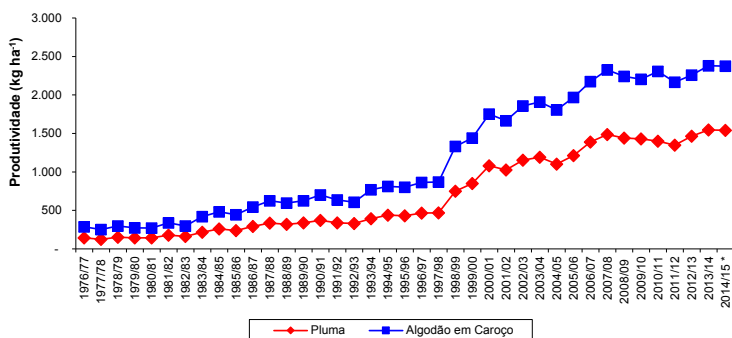


Figura 1. Média histórica de produtividade de pluma e de algodão em caroço por área no Brasil. (CONAB, 2015). *Média estimada.

Como resultado desses esforços conjuntos, a cotonicultura no Brasil ficou mais competitiva, tornando-se o primeiro país em produtividade em sequeiro (ABRAPA, 2015). Deve-se destacar a safra de 1997/98, pois com a organização dos produtores e incentivos em pesquisa e transferência de tecnologias, o Brasil conseguiu elevar a produtividade de pluma e algodão em caroço (Figura 1), equiparando a qualidade do algodão nacional aos tipos de algodão importados pela indústria brasileira, além da consolidação da região do cerrado como principal produtora da cultura (FREIRE, 2015). Vários fatores podem influenciar na qualidade final da fibra, abordaremos nos próximos tópicos os principais fatores que podem influenciar ou determinar a qualidade da fibra do algodão.

2- Classificação da fibra do algodão

A classificação da fibra do algodão é um conjunto de procedimentos padronizados que categoriza a fibra segundo suas características físicas. Esta classificação baseada em padrões universais também permite (i) sugerir o valor comercial do lote, (ii) indicar qual o melhor uso para a fibra como matéria-prima, (iii) uniformizar as negociações e as operações que irão trabalhar com a fibra, e (iv) direcionar os programas de melhoramento do algodoeiro. Os primórdios da avaliação e classificação padronizada da fibra do algodão foram na Inglaterra do final do século XVIII (SANTANA *et al.*, 1998), e anteriormente a esta época, a fibra era classificada apenas segundo seu tipo e comprimento. Portanto, o estabelecimento de métodos que permitissem avaliar com precisão e rapidez as características da fibra sempre foi uma necessidade entre os produtores e comerciantes do algodão (KONDO; SABINO, 1989).

No entanto, desde 1995, os padrões norte-americanos de classificação foram adotados como universais, atualmente, a fibra de algodão é classificada segundo o sistema proposto pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) para categorizar suas diversas qualidades físicas (BOLSA DE MERCADORIAS & FUTURO, 2002; BRASIL, 2002), cabendo ainda ao USDA a confecção e a atualização dos procedimentos para uma classificação universal da fibra do algodão. Este sistema de classificação foi desenvolvido para realizar medições em larga escala das características físicas de amostras de algodão, em

um período mínimo de tempo, através de equipamentos HVI (*High Volume Instruments*). Em 2002, o Ministério de Agricultura instituiu o padrão americano como o formato oficial de classificação da fibra do algodão no Brasil (Instrução Normativa nº 63, de 5 de dezembro de 2002), o que possibilitou atender aos cotonicultores com relação a necessidade de padrões para a exportação da fibra.

A classificação da fibra do algodão pode ser determinada sob dois aspectos, a *qualidade intrínseca* e a *qualidade extrínseca* (SANTANA *et al.*, 2007). A qualidade intrínseca envolve, fundamentalmente, a genética da cultivar que deve atender às necessidades do produtor com relação ao rendimento de produção e às expectativas da indústria de transformação com relação às características tecnológicas da fibra. São parâmetros da qualidade intrínseca: o comprimento de fibras, a resistência das fibras ao rompimento, sua maturidade e cor. A qualidade extrínseca, no entanto, depende das condições climáticas, da fertilidade do solo, da incidência de pragas e doenças, além das condições de colheita, armazenamento e processamento da pluma. São parâmetros da qualidade extrínseca: a presença de matéria estranha, a formação de nós nas fibras (*neps*) e irregularidades na preparação industrial da massa de fibras. Ambas as qualidades da fibra do algodão podem ser aferidas de forma visual e instrumental.

2.1. Classificação Visual da Fibra do Algodão

A classificação da fibra do algodão é feita por fardo (150-180 kg pluma), em uma amostra de 150 g de fibra (75 g cada lado do fardo). Essa amostra é separada em duas porções que são encaminhadas para a classificação visual e para a classificação instrumental (HVI). Na classificação visual é determinado o padrão visual da amostra, onde são categorizadas a cor da fibra, a preparação, a folha, e a carga de matéria estranha presente. A cor da fibra é composta por duas avaliações, o brilho [luz refletida pela amostra; unidade: Rd (%)] e a tonalidade ou amarelecimento (unidade: +b), que se situa entre o branco e o amarelo. A preparação se refere à rugosidade das mechas de fibra (fibra enrodilhada ou encarneirada). A folha é a estimativa visual da quantidade de partículas de folha do algodoeiro que aderiram à fibra após a colheita e o beneficiamento. A matéria estranha presente são

fragmentos contaminantes diferentes da folha, que quando encontrada recebe uma denominação especial, *call* (p.ex. fibras de caule, fragmentos de outras plantas, terra, óleo).

O padrão visual é uma classificação composta por três dígitos [p.ex. 31-5, 41-4 (padrão de base comercial), 63-2]. Os dois primeiros dígitos representam o *grau de cor da fibra* - são 30 graus atualmente registrados pelo USDA. O primeiro dígito é o *tipo*, e refere-se ao brilho e à homogeneidade de aspecto da fibra, variando de 1 a 8 - mais brilho e menos rugosidade, menor será o número; e o segundo dígito é a *cor*, e refere-se à tonalidade ou amarelecimento - quanto maior o número, mais amarelo é o algodão - 1: branco; 2: ligeiramente creme; 3: creme; 4: avermelhado; e 5: amarelado estanhado. O terceiro dígito representa o *grau de folha*, que varia de 1 a 7 - 1: amostra sem fragmentos de folhas do algodoeiro; 7: amostra muito suja. Na avaliação HVI o terceiro dígito diverge do padrão visual, e refere-se ao *quadrante*, e que expressa a intensidade da cor; o grau de folha na avaliação HVI é expresso aparte pela letra T (*trash*).

Para padronização dessa classificação visual, o USDA libera anualmente padrões universais que são amostras de algodão montadas em caixas com todos os tipos de classificação das fibras do algodão. Estes padrões são utilizados para a classificação visual e o comércio do algodão em todo o mundo. O profissional responsável pela classificação deve ser capacitado e habilitado para a função. Atualmente, é exigido que o classificador seja da área agrária ou têxtil (engenheiro agrônomo, técnico agrícola/agropecuário ou engenheiro têxtil, técnico têxtil). O credenciamento do classificador é efetuado pelo Ministério da Agricultura através de curso específico homologado pelo próprio Ministério, que fornecerá uma habilitação de classificador que capacita o agente a emitir o Certificado de Classificação que é o documento hábil comprobatório da realização da classificação obrigatória de determinado lote de fibras.

A classificação do padrão visual é muito sensível à qualidade da luz ambiente, o que exige ambientes regularizados. A norma NBR 12276/1991 orientava a iluminação de salas de classificação, e definia especificações, tais como a cor do piso e paredes, e a disposição de amostras. As características de fibra determinadas pela classificação

visual são essencialmente cosméticas e de interesse secundário para a indústria de transformação. Pela necessidade econômica e técnica de uma descrição mais completa da fibra do algodão, outros parâmetros importantes para a fiabilidade e a qualidade dos produtos têxteis precisam ser determinados através de instrumentos que integram várias outras medições.

2.2. Classificação Instrumental da Fibra do Algodão

Os critérios que definem a compra de uma matéria prima pela indústria têxtil são estabelecidos a partir da relação custo e benefício da fibra a ser adquirida. Os lotes que atendem os padrões exigidos por cada indústria têxtil são mais bem avaliados e pagos conforme a qualidade que atingirem. Para determinar se uma amostra segue os padrões de fibra que a indústria exige são necessárias avaliações precisas, instrumentadas e com limites bem definidos para a categorização comprovada da amostra. Entre as principais características avaliadas para a classificação de um lote está o comprimento de fibra, o índice *Micronaire* (finura da fibra relacionada à maturidade) e a resistência da fibra (CHANSELME, 2006). As fibras com comprimento menor dificultam a obtenção de fios de qualidade para a indústria têxtil, já as fibras imaturas não absorvem a tintura adequadamente, enquanto que fibras de baixa resistência se quebram facilmente durante a tecelagem, depreciando o valor comercial do lote (BACHELIER, 2004).

A classificação instrumental da fibra de algodão é uma determinação automática e objetiva das características importantes da fibra que de outra forma seriam impraticáveis de se avaliar visualmente. Essa classificação instrumental se dá pelo uso dos instrumentos HVI, como mencionado anteriormente, e que determinam de forma prática todas as medidas das características das fibras do algodão, como: comprimento (UHML); uniformidade do comprimento (UI); índice de fibras curtas (SFI); *Micronaire* (MIC); resistência (STR); alongamento (ELG); maturidade da fibra (MR); grau de cinza (RD); grau de amarelamento (+b); *trash* de folha (fragmentos contaminantes) e *neps* (*neps* grama⁻¹) (CHANSELME, 2006; CHANSELME, 2014). Entre os principais equipamentos que compõe um HVI, destaca-se o fibrógrafo (determina o comprimento e a uniformidade de

comprimento), o *Micronaire* (determina a finura e a maturidade), e o estelômetro (resistência e alongamento). A seguir são comentadas as características têxteis mais importantes das fibras do algodão:

Comprimento da fibra do algodão (UHML) - uma porção, ou franja, de fibras é retirada da amostra representativa de um fardo, e as fibras são paralelizadas por escova rotatória, e então as fibras são mensuradas e o *comprimento médio da metade mais longa* das fibras expresso em polegadas (1/32) e milímetros. A uniformidade de comprimento (UI) é a relação entre o comprimento médio das fibras totais e o UHML, e é expresso em percentual. A UI representa a homogeneidade do comprimento das fibras do fardo e é uma inferência da qualidade da fiação.

Índice *Micronaire* (IM) - é uma medição da maturidade fisiológica da fibra, e conseqüentemente de sua espessura. Para fibras provenientes de algodões da mesma variedade, as variações do IM correspondem a variações de maturidade. O IM é determinado a partir da resistência ao fluxo de ar que passa por um chumaço de fibra de massa e volume determinados. A amplitude considerada ideal para a maioria dos propósitos da fibra do algodão está entre 3.7 a 4.2 IM. Valores de IM abaixo dessa amplitude indicam fibras imaturas, enquanto que IM altos são desfavoráveis à resistência do fio de fibras.

Resistência - uma franja de fibras é presa entre duas pinças espaçadas em 3,2 mm; as pinças são então separadas até o ponto de ruptura das fibras. A resistência medida pelo HVI é calculada a partir da força em gramas necessária para quebrar a franja de fibras (gramas tex^{-1}). Esta distância percorrida pelas pinças até o ponto de ruptura das fibras é utilizada para determinar o alongamento (%).

Outras características da fibra ainda podem ser determinadas pelo HVI, como (i) o grau de cor, que procura reproduzir os resultados da classificação visual a partir da medição da reflectância (Rd, %) e do índice de amarelamento (+b); (ii) as impurezas (*trash*), que é o percentual da amostra coberta por partículas de matéria estranha escura (folha, fragmentos de caroço, fibras de caules, etc.). Um valor de *trash* de 1.5 indica que as partículas escuras representam 1,5% da área da amostra avaliada; (iii) a taxa de fibras curtas (SFC ou SFI) representa a quantidade de fibras com comprimento inferior a 12,7 mm (% da massa

da amostra); (iv) o número de *neps*, que determina a quantidade de nós que os feixes de fibra apresentam por grama da amostra sendo esta característica, e a taxa de fibras curtas, fortemente determinadas pelos processos de beneficiamento; e (v) o índice de consistência (SCI) que é uma característica calculada do conjunto de outras tantas variáveis, e um parâmetro para a indústria têxtil determinar os melhores índices de produtividade (CHANSELME, 2014).

3- Qualidade e fatores que afetam a qualidade da fibra

A cultura do algodoeiro por muito tempo foi uma das fontes mais promissoras para a geração de renda e mão de obra para pequenas, médias e grandes propriedades da agricultura familiar no semiárido do estado de Minas Gerais. Alguns fatores foram responsáveis pelo derrocamento desta atividade nesta região, tais como a falta de política agrícola e a adesão de técnicas inapropriadas para o seu cultivo, a elevada incidência de pragas e doenças, as mudanças na matriz tecnológica e a elevação nos custos de produção (SILVA; BASTOS; WANDERLEY JÚNIOR, 2007).

Hoje, o cenário da cadeia produtiva do algodão sofreu grandes mudanças, principalmente relacionadas à busca pela máxima qualidade do seu produto. O melhoramento genético foi o principal fator que auxiliou nesse processo, possibilitando, além da melhoria da qualidade do algodão produzido no Brasil, o cultivo em outras áreas, que anteriormente não era possível o plantio. Neste sentido, o principal investimento para a promoção do sucesso produtivo da cadeia é a adoção de cultivares melhoradas em relação às características intrínsecas e extrínsecas relacionadas à qualidade da fibra. Dessa forma, alguns cuidados devem ser tomados ao escolher a cultivar a ser empregada, pois se relaciona também a importante investimento.

Em se tratando da cultivar de algodoeiro ideal, para a máxima qualidade, a mesma deve possuir resistência às principais pragas e doenças, o seu porte deve ser adequado para a mecanização da colheita, alta produtividade e boa qualidade da fibra. Além destes fatores, as técnicas de cultivo devem ser adequadas em relação às condições edafoclimáticas da região (BELTRÃO, 2004; SANTOS, 2007).

A qualidade da fibra está relacionada a três principais características: o comprimento, a maturidade e a resistência (ZABOT,

2007). Para a indústria têxtil, uma fibra curta impossibilita a obtenção de fios de qualidade. A imaturidade da fibra diminui a absorção da quantidade de tinta. E a falta de resistência acarretará danos como a quebra dos fios durante os processos de tecelagem, diminuindo o seu valor comercial (BACHELIER, 2004). Somada à qualidade, é importante o atingimento de elevados níveis de produtividade, fator esse que está intimamente ligado à alta tecnologia (ROSOLEM, 2001).

As características da fibra são indicadores globais importantes que designam a qualidade dos produtos do algodão (SANTANA; SANTANA; BELTRÃO, 2007). As características intrínsecas que mais se relacionam à qualidade são o comprimento, o diâmetro ou finura, a espessura da parede secundária ou maturidade, o *micronaire*, a resistência e o alongamento. Já as características extrínsecas são fatores que refletem indiretamente na qualidade da fibra, as quais são a cor, preparação, presença e o teor de *neps* e contaminantes, tais como restos vegetais, terra, secreções açucaradas, polipropileno, fragmentos das cascas, dentre outros (MARQUIE *et al.*, 2002; ALGODÃO BRASIL, 2003).

Como dito, a qualidade da fibra é fator primordial para o sucesso da cadeia produtiva do algodoeiro. Porém, existem diversos fatores que acarretam danos a essa qualidade, os quais geram grandes perdas econômicas. Esses fatores serão divididos em (i) bióticos, (ii) abióticos e os relacionados à (iii) colheita e ao (iv) beneficiamento, respectivamente.

3.1. Fatores bióticos

Os fatores bióticos são grandes entraves para o sucesso da cotonicultura, uma vez que, dependendo da intensidade que ocorrem nos cultivos, os danos podem ser irreparáveis. Esses fatores se relacionam às pragas, doenças e plantas infestantes. Um fator impactante é a diversidade desses fatores e os momentos em que esses se tornam presentes na lavoura, o que dificulta muito o manejo. Existem diversas técnicas para o controle desses fatores, mas o principal está relacionado à genética da cultivar. Muitos programas de melhoramento estão focados nesses fatores, para que sejam possibilitados ganhos de produtividade e a elevação da qualidade da fibra.

As mudanças pelas quais a cotonicultura brasileira vem passando estão intimamente ligadas ao deslocamento das áreas produtoras das

regiões Sul e Sudeste para o Centro Oeste. Essa mudança, aliada aos sucessivos cultivos proporcionaram o aumento da produção e a otimização do uso do solo, o que favorece, principalmente, a reprodução de insetos-pragas da cultura, o que promoveu a intensidade de ataque e ocorrência dos mesmos dificultando o controle (PAPA; CELOTO, 2014).

Dentre as pragas mais importantes são relacionadas o pulgão-do-algodoeiro [*Aphis gossypii* (Glover) (Hemiptera: Aphididae)], broca-da-raiz [*Eutinobothrus brasiliensis* (Hambl., 1937)], percevejo-castanho [*Scaptocoris castanea* (Perty, 1830) (Hemiptera: Cydnidae)], tripses [*Frankliniella schultzei* (Trybom, 1920) (Thysanoptera: Thripidae)], curuquerê-do-algodoeiro [*Alabama argilacea* (Hübner, 1818) (Lepdoptera: Noctuidae)], lagartas-das-maçãs [*Heliothis virescens* (Fabricius, 1781) e *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepdoptera: Noctuidae)], bicudo-do-algodoeiro [*Anthonomus grandis* (Boh., 1843) (Coleoptera: Curculionidae)] e o ácaro rajado [*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)]. Esses insetos-pragas são capazes de acarretar danos às partes da planta, tais como, as raízes, caule, folha, botões florais, flores, maçãs e capulhos, gerando então, danos à produtividade e afetando diretamente na qualidade das sementes e da fibra (BELTRÃO, 2004; SANTOS, 2007). Para o controle dessas pragas, as principais estratégias são o monitoramento, que é o primeiro fundamento para o manejo integrado; verificar o nível de dano econômico; o uso de feromônio; a adoção do controle biológico; aplicação de silício e indutores de resistência; o controle químico; a isca tóxica; e o algodão Bt (PAPA; CELOTO, 2014).

As condições edafoclimáticas e o sistema de cultivo extensivo com poucas cultivares, em sua maioria suscetíveis a mais de um fitopatógeno, aumentaram os níveis epidêmicos das doenças. As principais doenças da cultura são a mancha-de-ramulária [*Ramularia areola* (Atk.) (sinônimos: *Ramularia gossypii* Speg. Ciferi e *Cercospora gossypii* Speg.)], ramulose [*Colletotrichum gossypii* South. (var. *cephalosporioides* Costa.)], mancha-angular [*Xanthomonas citri* subsp. *malvacearum* (Smith) Vaut. (sinônimo: *Xanthomonas campestris* pv. *Malvacearum* (Smith) Dye)], mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum* Lib. De Bary) e a murcha de fusário [*Fusarium oxysporum* Schlechtend. f. sp. *vasinfectum* (Atk.) Snyder & Hansen] (SUASSUNA; COUTINHO, 2014).

A presença de plantas infestantes no cultivo do algodoeiro é o fator que mais compromete a qualidade da fibra do algodoeiro, em que as principais espécies são *Ipomea* spp., *Bidens pilosa*, *Desmodium tortuosum*, *Commelina nudiflora* L., *Digitaria sanguinalis* L. Scop., *Althernanthera ficoidea* L.f. Br., *Sida rhombifolia* L., *Sida cordifolia* L., *Sida rhombifolia* L., *Merremia aegyptia* L. Urban e *Ipomoea aristolochiaefolia* HBK Don. O controle deve ser realizado em todos os estádios fenológicos da cultura (RICHETI *et al.*, 2003).

3.2. Fatores abióticos

Os fatores abióticos são importantes, principalmente, por afetarem na qualidade intrínseca da fibra do algodão, recebendo importância similar à produtividade. O efeito desses fatores na qualidade da fibra é variável, estando relacionados com ênfase na temperatura (i), luminosidade (ii), água (iii) e nutrição da cultura (iv).

(i) Temperatura: esse fator é importante por afetar nas características da fibra. Segundo Krieg; Hequet (2005), o aumento da temperatura pode favorecer o grau de deposição de celulose nas fibras do algodoeiro, se relacionando à resistência das mesmas. Em relação ao comprimento da fibra, a temperatura tem função variável, estando as influências das temperaturas mínimas ou noturnas mais ligadas a esse fator. Bradow; Davidonis (2010) evidenciam que, para o comprimento máximo da fibra, as temperaturas noturnas devem estar entre 19 °C e 20 °C. As temperaturas médias durante a formação das maçãs devem estar abaixo de 25 °C (REDDY *et al.*, 1999). Já as temperaturas máximas devem estar entre 30 °C e 35 °C, sendo que, ao estudar o efeito dessas temperaturas no comprimento da fibra, foi observada uma correlação linear negativa. Então, o aumento da temperatura máxima reduziu de forma significativa os valores do comprimento da fibra do algodão (MEREDITH, 2005).

(ii) Luminosidade: esse fator tem elevada influência a partir do florescimento das plantas, uma vez que acarreta elevado nível de abortamento das estruturas reprodutivas do algodoeiro, pelo fato de reduzir a produção de carboidratos, governada pela relação entre o conteúdo de auxinas e etileno/ácido abscísico (GUINN, 1974). Essas estruturas têm duas fases de elevada suscetibilidade, em que

primeiramente se inicia após a emissão do botão floral, diminuindo quando se aproxima a abertura da flor. A segunda fase vem após a antese, em que as maçãs pequenas tem elevada suscetibilidade ao abortamento, processo esse que é diminuído conforme a parede celular vai se tornando mais lenhosa, diminuindo os riscos de queda dos frutos (em torno de 14 dias após a abertura da flor).

(iii) Água: esse fator se associa à temperatura, uma vez que uma das funções da água é a da manutenção da temperatura do dossel das plantas. No caso do algodoeiro, cerca de 95% da água absorvida é utilizada para o resfriamento da planta, mantendo a temperatura das folhas no limite ideal (23,5 °C a 30 °C) e favorecendo a atividade enzimática. Neste sentido, durante o processo fotossintético, quando a transpiração da água é reduzida, principalmente nas folhas, a energia não dissipada durante a evaporação aquece o tecido das plantas. Uma estratégia é a adoção da irrigação, mas no Centro Oeste não é observado o uso potencial dessa técnica, uma vez que aumenta o custo de produção. Segundo Sousa *et al.* (2009) Essa técnica possibilita a diminuição da incerteza climática no cultivo de sequeiro, definindo-se quando e quanto irrigar, baseando-se no desenvolvimento da cultura, para que as necessidades das plantas possam ser atendidas. Além do resfriamento da planta a água é importante para criar pressão de turgescência (expansão das células e enrijecimento das estruturas das plantas), é solvente para possibilitar a absorção dos nutrientes do solo e componente de processos bioquímicos, com ênfase na fotossíntese (YEATES, 2014).

(iv) Nutrição: durante todo o ciclo produtivo, o algodoeiro absorve os nutrientes, em que a quantidade depende do desenvolvimento das plantas e da carga pendente. No período entre o florescimento e a frutificação as taxas de absorção diária dos nutrientes são elevadas, e é diminuída na maturação das maçãs (MULLINS; BURMESTER, 2010). A imaturidade da fibra do algodoeiro acarreta na quebra durante o processamento, o que diminui o rendimento das máquinas, causando *neps* que depreciam os tecidos e provocam manchas, provenientes da absorção irregular de corantes e outros produtos químicos utilizados durante o processo de tingimento (GRIDI PAPP *et al.*, 1992). Neste contexto, a insuficiência de nutrientes no solo podem possibilitar a perda

de qualidade. A insuficiência dos três principais nutrientes pode gerar os seguintes problemas: A insuficiência de nitrogênio reduz a velocidade de crescimento das plantas; diminuição do número de folhas; queda de botões florais, frutos e flores; maturação prematura dos frutos devido à seca e queda das folhas; queda de produção. Em relação ao fósforo, a insuficiência diminui o crescimento das plantas; escurecimento e diminuição das folhas; e exagerada queda de produtividade. Já níveis diminutos de potássio seca as folhas mais antigas, em que as mesmas caem; diminui o ciclo produtivo da cultura, antecipando o período de maturação dos frutos, acarretando danos à produtividade e qualidade do algodão (ZABOT, 2007):

3.3. Fator colheita

Com o avanço da tecnologia no desenvolvimento de colhedoras mecanizadas, a colheita do algodoeiro passou a ser quase 100% automatizado, principalmente as colhedoras do tipo Picker, em sua maioria, e as Stripper para colheita em linha estreita ou ultraestritas. Essa etapa do sistema produtivo do algodoeiro é extremamente importante para a preservação da qualidade da fibra, principalmente diminuindo a degradação da mesma. As perdas durante a colheita ficam em torno de 5 e 15%, em 6% ao utilizar as colhedoras Picker e 25% para as Stripper. Cerca de 90% do algodão do Brasil é colhido pelas colhedoras do tipo Picker, em que os fusos de aço com diversos movimentos de rotação possibilitam o enrolamento e extração do capulho aberto cada vez mais limpo, sem impurezas e com maior capacidade de colheita. Já as colhedoras do tipo Stripper são as mais antigas, cujo sistema de colheita consiste no arranchamento do capulho inteiro da planta e logo após, eliminar carpelos do capulho e pedaços de ramos laterais, processo esse que é possibilitado pelo sistema *HL* de autolimpeza (BELOT; VILELA, 2014).

Alguns fatores afetam na qualidade do processo de colheita, que influenciará também na qualidade da fibra do algodão. A **adequação da lavoura (i)** está relacionada ao declive da área, sendo preferidas áreas mais planas, o controle da altura das plantas, o controle de plantas infestantes, pragas e doenças, além do desfolhamento e abertura total dos capulhos. Durante a **realização da colheita (ii)** deve ser verificada

a perda de algodão caído no chão e que fica em plantas não colhidas, estando relacionadas à regulagem das colhedoras. A regulagem das colhedoras é um fator importante durante o processo de colheita, sendo importante verificar a pressão das placas, em que, quanto maior for a pressão, menor quantidade de algodão fica na planta; distância do desfibrador para o fuso, sendo importante distâncias menores, para evitar o embuchamento, que reduz a eficiência do processo; ajuste da escova de limpeza dos fusos, dependente das condições climáticas; ajuste da posição dos fusos em relação às barras do tambor, o que limita os riscos de incêndio; ajuste da altura do tambor, variável em relação à cultivar e às condições do talhão; e lubrificação, com o intuito de evitar problemas de perdas e contaminações.

A **umidade (iii)** é outro fator que afeta na qualidade da colheita, sendo que este valor não pode ultrapassar 11-12% para não acarretar danos ao armazenamento. O **armazenamento (iv)** pode ser em fardões ou fardinhos, sendo importante o monitoramento dos índices de temperatura e umidade juntos diariamente. E os mesmos devem ser separados por talhão, cultivar e época de plantio, e cobertos.

3.4. Fator beneficiamento

Durante o processo de beneficiamento do algodão deve ser respeitada a separação realizada durante o armazenamento (talhão, cultivar, época de plantio, bordadura, restos de lastro de fardões, áreas diferenciadas, maturidade, dentre outros). A umidade deve ser reduzida, a qualidade do corte e a regulagem no eixo das serras deve ser verificada, de forma constante, para que não ocorram contaminações. O tratamento dos restos de algodão, tais como, fibrila, aparas, algodão manchado, dentre outros, deve ser realizado separadamente e os lotes identificados. Devem ser observadas as condições de limpeza da pluma e o percentual de fibrila ou de qualquer outro contaminante durante o beneficiamento (RESENDE, 2013).

4- Avanços no melhoramento para qualidade da fibra

Atualmente, o cotonicultor possui muitos materiais adaptados à sua região como consequência de estudos cada vez mais apurados de adaptabilidade e estabilidade dos materiais. A conexão entre o uso

de marcadores moleculares na seleção das populações segregantes e as técnicas de melhoramento da cultura foram determinantes para seleção de variedades mais produtivas. Com a demanda de padrões mais elevados de qualidade de fibra na indústria têxtil, os programas estão agindo e traçando metas de melhorias nos aspectos intrínsecos e extrínsecos da fibra do algodão (Tabela 1).

Tabela 1. Comparação da qualidade de fibra por meio de HVI da base comercial de 2012 dos Estados Unidos e Austrália.

Característica Interesse	Base USA	Base AUS	Meta
Comprimento de fibra (mm)	26,9	29,0	>29,0
Resistência de fibra (g/tex)	26,0	27,0	>28,0
Micronaire	3,5 - 4,9	3,5 - 4,9	3,8 - 4,5

Fonte: Adaptado de Constable *et al.* (2015).

4.1. Mapeamento de QTLs para melhorar a qualidade de fibra do algodão

Com os avanços da tecnologia de marcadores moleculares, a seleção assistida por marcadores (SAM), combinada com retrocruzamento convencional, tornou-se uma técnica eficaz para a introdução de várias características em um único indivíduo fora do contexto. Alguns marcadores moleculares AFLP foram utilizados para a detecção de codificação de polimorfismos de sequências de genes alvo em uma população segregante, de modo que estes polimorfismos de transcrição podem ser utilizados diretamente como marcadores genéticos (BIEZEN *et al.*, 2000; BRUGMANS *et al.*, 2002; LIU *et al.*, 2009). Outros sistemas de marcadores moleculares também têm fornecido valiosas ferramentas para a análise genética de características complexas como o DNA complementar (cDNA).

O genoma do algodão tem 988 QTLs mapeados representando 25 traços usando populações interespecíficas e intraespecíficas. Vários pesquisadores já detectaram QTLs associados com propriedades de fibra de ambas as populações, bem como em suas gerações posteriores

(PATERSON *et al.*, 2003; WANG *et al.*, 2006; YU *et al.*, 2013). Os QTLs obtidos a partir de populações interespecíficas foram responsáveis por 80% dos QTLs de qualidade da fibra. A base genética estreita dentro dos cultivares de algodão tornou-se um grande desafio para o melhoramento genético de *G. hirsutum* em vários países.

Uma das maneiras de aumentar a qualidade da fibra é entender os fatores genéticos que condicionam a sua qualidade. A tecnologia de marcadores moleculares de DNA fornece um método para definir os fatores genéticos que afetam a qualidade da fibra. O primeiro mapa genético para o algodão foi construído por Reinisch *et al.* (1994), utilizando o polimorfismo de comprimento de fragmentos de restrição (RFLP) e, desde então, numerosos mapas genéticos foram construídos e utilizados em mapeamento de QTL com base em populações interespecíficas (PATERSON *et al.*, 2003; LACAPE *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2011; FANG; YU, 2012).

Atualmente, 748 QTLs (Tabela 2) relacionados com características de qualidade de fibra foram mapeados em 42 mapas moleculares (SAID *et al.*, 2013). Embora a grande maioria destes QTLs foram detectados com base em populações interespecíficas, as aplicações bem-sucedidas destes QTLs raramente são reportadas devido às limitações da população interespecífica como esterilidade, anormalidade citológica e floração extremamente tardia, indicando que o mapeamento de QTLs é mais prático com populações intraespecíficas de algodão. Para o QTL identificado em populações intraespecíficas de algodão, a limitação é a baixa resolução do marcador de mapa genético (LI *et al.*, 2013).

Além disso, a maioria destes QTLs detectados é de baixo efeito e não estáveis em ambientes ou populações, mostrando baixo valor para a aplicação, sugerindo que alguns QTLs estáveis e fortes ainda estão em necessidade de serem explorados com mais populações. A expressão dos genes em diferentes fases de desenvolvimento da fibra de algodão indica que há uma grande quantidade de alelos envolvidos no desenvolvimento da fibra e na sua determinação de qualidade, e por isso, muito mais QTLs serão identificados com novas populações ou sob novos ambientes (PATERSON *et al.*, 2012).

Tabela 2. Mapeamento de QTLs já realizados por diversos autores para qualidade de fibra.

Autor	Periódico	Ano	QTLs	População	Tipo
Jiang	et al. Proc. of the Nat. Aca. of Sci.	1998	7	F2	Fibra
Paterson	et al. Theo. And Applied Genetics	2003	24	F2/F3	Fibra
Mei	et al. Theo. And Applied Genetics	2004	3	F2	Fibra
Chee	et al. Theo. And Applied Genetics	2005	17	BC3F2	Fibra
Draye	et al. Theo. And Applied Genetics	2005	36	BC3F2	Fibra
Lacape	et al. Crop Science	2005	61	BC1,2,BC2S1	Fibra
Shen	et al. Molecular Breeding	2005	28	F2, F2:3	Fibra
Wang	et al. Euphytica	2006	24	RIL	Fibra
Qin	et al. Theo. And Applied Genetics	2008	20	4WC	Fibra e Prod.
Chen	et al. Theo. And Applied Genetics	2009	20	RIL	Fibra
Wu	et al. Euphytica	2009	56	RIL	Fibra
Zhang	et al. Molecular Breeding	2009	13	RIL	Fibra
Lacape	et al. BMC Plant Biology	2010	233	RIL	Fibra
Zhang	et al. Theo. And Applied Genetics	2011	30	BC3F1	Fibra
Sun	et al. Molecular Breeding	2012	39	RIL	Fibra
Wang	et al. Theo. And Applied Genetics	2012	33	CSIL	Fibra
Zhang	et al. Molecular Breeding	2012	60	F1:2, 1:3	Fibra
Wang	et al. Molecular Breeding	2013	21	F2/F2:3	Fibra
Yu	et al. Euphytica	2013	103	F2:F2:3	Fibra
Yu	et al. Theo. And Applied Genetics	2013	67	RIL	Fibra e Prod.

Fonte: Adaptado de ASHOKKUMAR; KUMAR; RAVIKESAVAN (2015).

4.2. Engenharia Genética envolvendo qualidade de fibra

Em todo o mundo, a fibra de algodão sofre desvantagens econômicas devido à competição com fibras sintéticas utilizadas na fabricação de fios têxteis por causa de suas características pobres de fiabilidade (KARACA *et al.*, 2002). A melhoria de algumas características, tais como o comprimento das fibras, resistência e uniformidade, que empregam vários genes candidatos impulsionados por promotores específicos de fibra aumentaria a competitividade do algodão em relação às fibras sintéticas (JOHN, 1997). John e Keller (1996) desenvolveram plantas de algodão transgênicas que sintetizam um polímero termoplástico, o poli-D-3-hidroxi-butarato (PHB), pela expressão específica de genes da fibra Phab e PhAc de *Alcaligenes eutrophus*, agora chamado de *Ralstonia metallidurans*. As fibras a partir destas plantas transgênicas exibiram melhores propriedades térmicas e de isolamento. No algodão de fibra marrom, Li *et al.* (2004) relataram um aumento de 15% no comprimento e resistência da fibra ao expressar genes de síntese de celulose ACSA e AcSB de *Acetobacter xylinum*. Além disso, Li *et al.* (2009) obtiveram aumentos no comprimento (28,36%) e resistência (8,32%) de fibra de algodão, expressando o gene da fibroína (FBN) do bicho-da-seda (*Bombyx mori*). As tentativas para melhorar a qualidade da fibra de algodão, também foram feitas através da introdução de genes derivados de plantas, tais como expansinas (ZHU *et al.*, 2006) e sacarose sintases (JIANG *et al.*, 2012). A superexpressão do gene responsável pela síntese de sacarose da batata (SUS) em algodão sob o controle do promotor constitutivo S7 do vírus SCSV resultou num aumento da acumulação de açúcares em fibra transgênica. Além disso, as plantas transgênicas poderiam produzir mais fibras (30%) e sementes (23%) em comparação com as plantas testemunhas não modificadas geneticamente (XU *et al.*, 2012). Da mesma forma, Jiang *et al.*, (2012), também divulgaram um aumento no comprimento e resistência de fibra de algodão produzidos a partir de plantas transgênicas que superexpressam o gene GH-SusAI, responsável pela síntese de sacarose no algodão (*Gossypium hirsutum*). É evidente que muitos estudos buscam uma maneira de melhorar a qualidade de fibra de algodão, porém, o custo/benefício da tecnologia empregada na transformação e regeneração genética, ainda é sua maior limitação para implantação.

5. Referências bibliográficas

- ABRAPA. **Estatísticas: O Algodão no Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://www.abrapa.com.br/estatisticas/Paginas/Algodao-no-Brasil.aspx>>. Acesso em: 03/09/2015.
- AHMAD, I.; NAWAZ, M. S.; TAYYAB, M. Influence of Cotton Fibre Fineness and Staple Length Upon Yarn Lea Strength. **International Journal of Agriculture & Biology**, 5(4):642-644, 2003.
- AMJAD, M. Relationship of Cotton properties and yarn properties. **Textech Millennium Issue**, National College of Textile Engineering, Faisalabad, Paquistão. p. 102-104, 1999.
- ALGODÃO BRASIL. **Qualidade: resultado da Evolução da Cadeia Produtiva**. Ano 1, Nº 2, mar/abril. 2003.
- ASHOKKUMAR, K.; KUMAR, K. S.; RAVIKESAVAN, R. An update on conventional and molecular breeding approaches for improving fiber quality traits in cotton - A review. **African Journal of Biotechnology**, 13:10, 2015.
- BECHELIER, B. **Modernização na classificação do algodão**. 2004. Disponível em: <http://www.iam.gov.mz/IMG/pdf/Modernisacao_da_classificacao_do_algodao_em.pdf>. Acesso em: 14 Ago 2015.
- BELOT, J.L.; VILELA, P. Colheita. In: BORÉM, A.; FREIRE, E.C. **Algodão: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. p.295-312.
- BELTRÃO, N.E.M. Pragas do algodoeiro. In BELTRÃO, N.E.M.; ARAÚJO, A.E. (Ed.). **Algodão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.265. (coleção 500 perguntas, 500 respostas).
- BIEZEN, E. A.; JUWANA, H.; PARKER, J.; JONES, J. cDNA-AFLP display for the isolation of *Peronospora parasitica* genes expressed during infection in *Arabidopsis thaliana*. **Molecular Plant-Microbe Interactions Journal**, 13:895-898, 2000.
- BOLSA DE MERCADORIAS & FUTUROS. 1992. **Resultados de testes de HVI e sua interpretação**. São Paulo, 158 p.

BRADOW, J.M.; DAVIDONIS, G.H. Effect of environment on fiber quality. In: STEWART, J.M.; OOSTERHUIS, D.M.; HEITHOLT, J.; MAUNEY, J.R. (Eds.). **Physiology of Cotton**, Springer, 2010. P.229-245.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 63, de 05 de dezembro de 2002. Brasília, 2002.

BROUGHTON, R. M.; MOGAHZY, Y. E.; HALL, D. M. **Mechanism of yarn failure**. *Textile Research Journal*, 62:131-134, 1992.

BRUGMANS, B.; DEL CARMEN, A. F.; BACHEM, C. W. B.; OS, V. H.; ECK, H. J. V.; VISSER, R. G. F. A novel method for the construction of genome wide transcriptome maps. **The Plant Journal**, 31(2):211-222, 2002.

CARDOSO, G. D.; BELTRÃO, N. E. M.; PEREIRA, J. R.; GONDIM, T. M. S.; BRUNO, R. L. A. Arranjos de plantas em duas cultivares de algodoeiro herbáceo, BRS 186 precoce 3 e BRS 187 8H, no cariri cearense. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, 7:2-3, 2003.

CARVALHO, L. P.; SALGADO, C. C.; FARIAS, F. J. C.; CARNEIRO, V. Q. Estabilidade e adaptabilidade de genótipos de algodão de fibra colorida quanto aos caracteres de fibra. **Ciência Rural**, 45(4):598-605, 2015.

CHANSELME J.L. (editor técnico) 2014. **Manual de Beneficiamento do Algodão**, AMPA (Associação Matogrossense dos Produtores de Algodão) e IMAmt (Instituto Matogrossense do Algodão), Cuiabá, MT, Brasil. 367 p.

CHANSELME, J. L. A qualidade da fibra de algodão em relação a seus mercados. In: MORESCO, E. (Org.) **Algodão: pesquisas e resultados para o campo**. Cuiabá: Facual, 2006. p. 327-358.

CONSTABLE, G.; LLEWELLYN, D.; WALFORD, S. A.; CLEMENT, J. D. Cotton Breeding for Fiber Quality Improvement. In: **Industrial Crops: Breeding for Bioenergy and Bioproducts**. Springer New York, p. 191-232, 2015.

COUTINHO, C. R.; ANDRADE, J. A. S.; PEGORARO, R. F. Produtividade e qualidade de fibra de cultivares de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) na região do semiárido mineiro. **Essentia** -

Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA, 16(2), 2015.

FANG, D. D.; YU, J. Z. Addition of 455 microsatellite marker loci to the high-density *Gossypium hirsutum* TM-1 x *G. barbadense* 3-79 genetic map. **Journal of Cotton Science**, 16:229–248, 2012.

FONSECA, R. G.; SANTANA, J. C. F.; BELTRÃO, N. E. M.; FREIRE, E. C.; SANTOS e VALENÇA, A. R. Potencialidades tecnológicas de fibra disponíveis nos programas de melhoramento genético da Embrapa Algodão nos Estados do Ceará e do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, 8:763-769, 2004.

FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**. ABRAPA, 2015.

GRIDI PAPP, I.L. et al. **Manual do produtor de algodão BM&F**: Bolsa de Mercados & Futuros. São Paulo: 1992.

GUINN, G. Abscission of cotton floral buds and bolls as influenced by factor affecting photosynthesis and respiration. **Crop Science**, Madison, v.14, n.1, p.291-293, 1974.

JIANG, Y.; GUO, W.; ZHU, H.; RUAN, Y. L.; ZHANG, T. Overexpression of GhSusA1 increases plant biomass and improves cotton fiber yield and quality. **Plant Biotechnology Journal**, 10: 301–312, 2012.

JOHN, M. E.; KELLER, G. Metabolic pathway engineering in cotton: biosynthesis of polyhydroxybutyrate in fiber cells. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 93: 12768–12773, 1996.

JOHN, M. E. Cotton crop improvement through genetic engineering. **Critical Reviews in Biotechnology**, 17: 185–208, 1997.

KARACA, M.; SAHA, S.; JENKINS, J. N.; ZIPE, A.; KOHEL, R.; STELLY, D. M. Simple sequence repeat (SSR) markers linked to the Ligon lintless (Li(1)) mutant in cotton. **Journal of Heredity**, 93: 221–224, 2002.

KOHEL, R. J. Cotton germplasm resources and the potential for improved fiber production and quality. In: Basra, A. S. **Cotton Fibers**.

The Haworth Press, New York, EUA. p.167-182, 1999.

KONDO, J.I.; SABINO, N.P. 1989. **Classificação tecnológica do algodão**. Campinas: Instituto Agrônômico, v.2, p. 42.

KRIEG, D.R.; HEQUET, E.F. Fiber quality variation within a cotton plant as affected by genetics and environment. **Proc. Beltwide Cotton Conferences**, National Cotton Council, January 4-7, 2005, New Orleans LA, USA, 6p. 2005.

LACAPE, J. M.; JACOBS, J.; ARIOLI, T.; DERIJCKER, R.; FORESTIER-CHIRON, N.; LLEWELLYN, D.; JEAN, J.; THOMAS, E.; VIOT, C. A new interspecific, *Gossypium hirsutum* x *G. barbadense*, RIL population: towards a unified consensus linkage map of tetraploid cotton. **Theoretical and Applied Genetics**, 119:281–292, 2009.

LI, C.; WANG, X.; DONG, N.; ZHAO, H.; XIA, Z.; WANG, R.; CONVERSE, R. L.; WANG, Q. QTL analysis for early-maturing traits in cotton using two Upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) crosses. **Breeding Science**, 63:154–163, 2013.

LI, X.; WANG, X. D.; ZHAO, X.; DUTT, Y. Improvement of cotton fiber quality by transforming the *acsA* and *acsB* genes into *Gossypium hirsutum* L. by means of vacuum infiltration. **Plant Cell Reports**, 22:691–697, 2004.

LI, F. F.; WU, S. J.; CHEN, T. Z.; ZHANG, J.; WANG, H. H.; GUO, W. Z.; ZHANG, T. Z. Agrobacterium-mediated co-transformation of multiple genes in upland cotton. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, 97: 225–235, 2009.

LIMA, J. J.; BELOT, J. L. A fibra de algodão: qualidade e classificação. In: **Manual de Boas Práticas de Manejo do Algodoeiro em Mato Grosso**. Cuiabá, Mato Grosso, IMA-MT, p. 280-287, 2014.

LIU, H. W.; WANG, X. F.; PAN, Y. X.; SHI, R. F.; ZHANG, G. Y.; MA, Z. Y. Mining cotton fiber strength candidate genes based on transcriptome mapping. **Chinese Science Bulletin**, 54:4651–4657, 2009.

MARQUIE, C.; BACHELIER, B; GAWRYSIAK, G; GOURLOT, J.P; VIOT, C. Porqué y cómo preservar la calidad de la fibra de algodón. In “**Actas del 1 er Seminario sobre la Preservación de la Calidad de la Fibra de Algodón durante el Desmote Industrial en Paraguay**”. Caacupé y Coronel Oviedo, Paraguay, 25/02-28/02, Marquie C. e Viot C. Eds. CIRAD-CA. Embajada de Francia. Asunción. Paraguay. p.41 - 53. 2002.

MEREDITH, W.R.J. **Influence of cotton breeding on yield and fiber quality problems**. 2005. Disponível em: <<http://www.cottoninc.com/fiber/quality/Fiber-Management/Conferences/2005-Conference/GeorgiaCottonUpdateMeredith.pdf>>. Acesso em: 14 Ago 2015.

MULLINS, G.L.; BURMESTER, C.H. Relation of growth and development to mineral nutrition. In: STEWART, J.M.; OOSTERHUIS, D.M.; HEITHOLT, J.M.; MAUNEY, J.R. (Eds.). **Physiology of Cotton**. Springer, New York, 2010. p.97-105.

PAPA, G.; CELOTO, F.J. Manejo de pragas. In: BORÉM, A.; FREIRE, E.C. **Algodão: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. p.216-249.

PATERSON, A. H.; SARANGA, Y.; MENZ, M.; JIANG, C. X.; WRIGHT, R. J. QTL analysis of genotype environment interaction affecting cotton fiber quality. **Theoretical and Applied Genetics**, 106:384-396, 2013.

PATERSON, A. H.; WENDEL, J. F.; GUNDLACH, H.; GUO, H.; JENKINS, J.; JIN, D. C.; LLEWELLYN, D.; SHOWMAKER, K. C.; SHU, S. Q.; UDALL, J.; YOO, M. J.; BYERS, R.; CHEN, W.; DORON-FAIGENBOIM, A.; DUKE, M. V.; GONG, L.; GRIMWOOD, J.; GROVER, C.; GRUPP, K.; HU, G. J.; LEE, T. H.; LI, J. P.; LIN, L. F.; LIU, T.; MARLER, B. S.; PAGE, J. T.; ROBERTS, A. W.; ROMANEL, E.; SANDERS, W. S.; SZADKOWSKI, E.; TAN, X.; TANG, H. B.; XU, C. M.; WANG, J. P.; WANG, Z. N.; ZHANG, D.; ZHANG, L.; ASHRAFI, H.; BEDON, F.; BOWERS, J. E.; BRUBAKER, C. L.; CHEE, P. W.; DAS, S.; GINGLE, A. R.; HAIGLER, C. H.; HARKER, D.; HOFFMANN, L. V.; HOVAV, R.; JONES, D. C.; LEMKE, C.; MANSOOR, S.; RAHMAN, M.

U.; RAINVILLE, L. N.; RAMBANI, A.; REDDY, U. K.; RONG, J. K.; SARANGA, Y.; SCHEFFLER, B. E.; SCHEFFLER, J. A.; STELLY, D. M.; TRIPLETT, B. A.; VAN DEYNZE, A.; VASLIN, M. F. S.; WAGHMARE, V. N.; WALFORD, S. A.; WRIGHT, R. J.; ZAKI, E. A.; ZHANG, T. Z.; DENNIS, E. S.; MAYER, K. F. X.; PETERSON, D. G.; ROKHSAR, D. S.; WANG, X. Y.; SCHMUTZ, J. idization of *Gossypium* genomes and the evolution of spinnable cotton fibres. **Nature**, 492:423–428, 2012.

REDDY, K.R.; DAVIDONIS, G.H.; JOHNSON, A.S.; VINYARD, B.T. Temperature regime and carbom dioxide enrichment after cotton boll development and fiber properties. **Agronomy Journal**, v.91, n.5, p.851-858, 1999.

REINISCH, A. J.; DONG, J.; BRUBAKER, C. L.; STELLY, D. M.; WENDEL, J. E.; PATERSON, A. H. A detailed RFLP Map of Cotton, *Gossypium hirsutum* \times *Gossypium barbadense* — chromosome organization and evolution in a disomic polyploidy genome. **Genetics**, 138:829–847, 1994.

RESENDE, A. **Influências na qualidade de fibra**. Informativo AMIPA: 2013. p.5.

RICHETI, A.; ARAÚJO, A.E.; MORELLO, C.L.; SILVA, C.A.D.; LAZAROTTO, C.; AZEVEDO, D.M.P.; FREIRE, E.C.; ARANTES, E.M.; LAMAS, F.M.; RAMALHO, F.S.; ANDRADE, F.P.; MELO FILHO, G.A.; FERREIRA, G.B.; SANTANA, J.C.F.; AMARAL, J.A.B.; MEDEIROS, J.C.; BEZERRA, J.R.C.; PEREIRA, J.R.; SILVA, K.L.; STAUT, L.A.; SILVA, L.C.; CHITARRA, L.G.; BARROS, M.A.L.; CARVALHO, M.C.S.; LUZ, M.J.S.; BELTRÃO, N.E.M.; SUASSUNA, N.D.; SILVA, O.R.R.F.; FERREIRA, P.F.; SANTOS, R.F.; FONSÊCA, R.G. **Cultura do algodão no Cerrado**. Embrapa Algodão, Sistemas de Produção 2, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoCerrado/index.htm>> Acesso em: 14 Ago 2015.

ROSOLEM, C.A. **Informações Agronômicas nº 95: Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro**. Botucatu, SP: Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, 2001. p.1.

SAID, J. I.; LIN, Z. X.; ZHANG, X. L.; SONG, M. Z.; ZHANG, J. F. A comprehensive meta QTL analysis for fiberquality, yield, yieldrelatedandmorphologicaltraits, droughttolerance, anddiseaseresistanceintetraploidcotton. **BMC Genomics**, 14:776, 2013.

SANTANA, J. C. F.; COSTA, J. N.; CARVALHO, L. P.; VIEIRA, R. M.; ANDRADE, J. E. O. Características tecnológicas da fibra com ênfase na fiabilidade de cultivares de algodão herbáceo do Mercosul. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, 2(2), 1998.

SANTANA, J.C.F de.; WANDERLEY, M.J.R.; BELTRÃO, N.E de M. 1998. Tecnologia da fibra e do fio do Algodão, análises e interpretações dos resultados. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste (Dourados, MS). **Algodão: Informações Técnicas**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, Campina Grande EMBRAPA-CNPA, 267 p.

SANTANA, J.C.F; SANTANA, J. da S.; BELTRÃO, M.C.M. 2007. Fibras do algodão. In: **Algodão no cerrado do Brasil**. Brasília: ABRAPA, cap. 17, p. 213-226.

SANTOS, W.J. Manejo de pragas do algodão com destaque para o cerrado brasileiro. In: FREIRE, E.C. (Ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**. Brasília: ABRAPA, 2007. p.403-478.

SILVA, M.N.B.; BASTOS, C.S.; WANDERLEY JÚNIOR, J.S.A. **Conhecimento tradicional**: bases científicas para a produção do algodão orgânico no Curimataú Paraibano. Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2007. 10 p. (Comunicado Técnico, 301).

SOUSA, P.S.; MEDEIROS, J.F.; MATOS, J.A.; MELO, S.B.; FERREIRA, R.C. efeito de lâminas de irrigação sobre algumas características de produção em condições controladas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.25, n.6, p.90-95, 2009.

SUASSUNA, N.D.; COUTINHO, W.M. Manejo de Doenças. In: BORÉM, A.; FREIRE, E.C. **Algodão: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. p.250-270.

VILELA, P. M. C. A.; BELOT, J. L.; ZAMBIASI, T. C.; ABADIA, R. Desempenho de cultivares de algodão nos municípios de Primavera do Leste e Campo Verde, Estado do Mato Grosso, safra 2005/2006.

In: 6º Congresso Brasileiro de Algodão, Uberlândia, **Anais**, Campina Grande: Embrapa Algodão, p.7, 2007.

YEATES, S. Efeitos do estresse hídrico na fisiologia do algodoeiro. In: ECHER, F.R. (Ed.). **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes**. Instituto Mato-Grossense do Algodão, Cuiabá, MT: 2014. p.63-77.

XU, S. M.; BRILL, E.; LLEWELLYN, D. J.; FURBANK, R. T.; RUAN, Y. L. Overexpression of a potato sucrose synthase gene in cotton accelerates leaf expansion, reduces seed abortion, and enhances fiber production. **Molecular Plant**, 5: 430–441, 2012.

YU, J. W.; ZHANG, K.; LI, S. Y.; YU, S. X.; ZHAI, H. H.; WU, M.; LI, X. L.; FAN, S. L.; SONG, M. Z.; YANG, D. G.; LI, Y. H.; ZHANG, J. F. Mapping quantitative trait loci for lint yield and fiber quality across environments in a *Gossypium hirsutum* × *Gossypium barbadense* backcross inbred line population. **Theoretical and Applied Genetics**, 126:275–287, 2013.

YU, Y.; YUAN, D. J.; LIANG, S. G.; LI, X. M.; WANG, X. Q.; LIN, Z. X.; ZHANG, X. L. Genome structure of cotton revealed by a genome-wide SSR genetic map constructed from a BC1 population between *Gossypium hirsutum* and *G. barbadense*. **BMC Genomics**, 12:15-17, 2011.

ZABOT, L. **A cultura do algodão: (*Gossypium hirsutum* L.)**. Santa Maria, RS: Centro de Ciências Rurais, 2007. p.15-37.

ZHU, S. W.; GAO, P.; SUN, J. S.; WANG, H. H.; LUO, X. M.; JIAO, M. Y.; WANG, Z. Y.; XIA, G. X. Genetic transformation of green-coloured cotton. **In Vitro Cellular & Developmental Biology**, 42: 439–444, 2006.

WANG, B. H.; GUO, W. Z.; ZHU, X. F.; WU, Y. T.; HUANG, N. T.; ZHANG, T. Z. QTL mapping of fiber quality in an elite hybrid derived-RIL population of upland cotton. **Euphytica**, 152:367–378, 2006.

LISTA COLABORADORES DO LIVRO

Aluízio Borém
Engenheiro Agrônomo, Me., PhD.
Universidade Federal de Viçosa.

Caio César Salgado
Engenheiro Agrônomo, Me. Ph.D
Cotton Breeder na Monsanto – Delta Pine.

Camila de Moraes Raymundo
Zootecnista, Me.
Faculdades Associadas de Uberaba – FAZU

Carlos Diego da Silva
Graduando em Agronomia
Universidade Federal de Viçosa UFV - Rio Paranaíba

Cibele Nataliane Facioli Medeiros
Engenheira Agrônoma, Me.
Bio Soja Indústrias Químicas e Biológicas

Elbia Messias da Silva
Bióloga
Colégio Tiradentes Uberaba

Elvécio Gomes da Silva Júnior
Graduando em Agronomia
Universidade Federal de Uberlândia
CorpIntern na Monsanto – Delta Pine

Ernane Miranda Lemes
Engenheiro Agrônomo, Me.
Universidade Federal de Uberlândia

Felipe Santinato
Engenheiro Agrônomo, Me.
Universidade Estadual Paulista- Unesp

Fernando Simoni Bacilieri
Engenheiro Agrônomo, Me.
Universidade Federal de Uberlândia

Gaspar Henrique Korndörfer
Engenheiro Agrônomo, Me., Dr.
Universidade Federal de Uberlândia

Guilherme Salge Roldão
Bacharel em Administração
Faculdades Associadas de Uberaba- FAZU

Heyder Diniz Silva
Engenheiro Agrônomo, Me., Dr.
Discovery Breeder na Monsanto do Brasil.

João Ismael da Silva
Biólogo
Fundação Cultural de Uberaba

Leonardo Humberto Silva e Castro
Engenheiro Agrônomo, Me.
Universidade Federal de Uberlândia

Lucas Caixeta Vieira
Graduando em Agronomia
Universidade Federal de Viçosa UFV - Rio Paranaíba

Rafael Marcão Tavares
Engenheiro Agrônomo, Me.
Universidade Federal de Uberlândia

Rafael Tadeu de Assis
Engenheiro Agrônomo, Me.
Centro Universitário do Planalto de Araxá - UNIARAXÁ

Tony Márcio da Silva
Biólogo, Me., Dr.
Centro Universitário do Planalto de Araxá-UNIARAXÁ

Vanessa Mendes
Graduando em Agronomia
Universidade Federal de Viçosa UFV - Rio Paranaíba

Victor Afonso Gonçalves
Graduando em Agronomia
Universidade Federal de Viçosa UFV - Rio Paranaíba

Vinícius Antônio Maciel Júnior
Engenheiro Agrônomo, Me.
Faculdades Associadas de Uberaba- FAZU



COMPOSER

Diagramação - Impressão - Acabamento

Av. Segismundo Pereira, 145 - B. Santa Mônica
Uberlândia - MG - Fone: (34) 3236-8611
www.composer.com.br



UNIARAXÁ

CENTRO UNIVERSITÁRIO

Apoio:

