

# AGRONOMIA

colhendo as safras do  
conhecimento

Alegre-ES  
CCAIE-UFES  
2017

**AGRONOMIA:**  
Colhendo as Safras do Conhecimento

Alegre – ES  
CCAUFES  
2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)  
Bibliotecária: Perla Rodrigues Lôbo – CRB-6 ES-000527/O

---

A281      Agronomia [recurso eletrônico] : colhendo as safras do conhecimento / organizadores, Catariny Fontana Nicoli ... [et al.]. - Dados eletrônicos. - Alegre, ES : UFES, CAUFES, 2017. 243 p. : il.

ISBN: 978-85-61890-95-7

Modo de acesso: <[www.alegre.ufes.br](http://www.alegre.ufes.br)>

1. Agronomia. 2. Sustentabilidade. 3. Solos. 4. Fitossanidade. 5. Melhoramento genético. 6. Biotecnologia. I. Nicoli, Catariny Fontana, 1998-.

CDU: 63

---

## **ORGANIZADORES**

Catariny Fontana Nicoli Lucas Mareto  
Cledenilson Monhol Marcelo Soares Altoé  
Edilson Marques Junior Matheus Ricardo da Rocha  
Hiago Zambão Falqueto Patrícia Elisa da Silva Moreira  
Ingrid Fioresi Sartori Rilarity Xavier dos Santos  
Isadora Rodrigues Garcia Renato Ribeiro Passos  
Joicy Lemos Polastreli Rosemberg Bragança  
Jorge Tadeu Fim Rosas Ualace de Oliveira dos Reis  
Kaique dos Santos Alves Willian Bucker Moraes  
Kleyton Albino Brandão

## **AGRONOMIA:**

Colhendo as Safras do Conhecimento

Alegre – ES  
CCAUFES  
2017

## AUTORES

- Adimara Bentivoglio Colturato.** Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC), USP de São Carlos/SP, Laboratório de Sistemas Embarcados Críticos (LSEC). E-mail: adimara@gmail.com.
- Alexandre L. Nepomuceno.** Agrônomo. Doutor em em Ciências - Biologia Molecular e Fisiologia de Plantas. Pesquisador. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. E-mail: alexandre.nepomuceno@embrapa.br.
- Ana Paula Candido Gabriel Berilli.** Bacharel em Biologia. Doutora em Melhoramento Genético Vegetal. Professora EBTT. Campus de Itapina. Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: ana.berilli@ifes.edu.br.
- Anarely Costa Alvarenga.** Engenheira Agrônoma. Doutoranda em Produção Vegetal. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: anarely.eng.agronoma@gmail.com.
- Arthur Bernardeli.** Engenheiro Agrônomo. Estudante de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento. Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária. Universidade Federal de Viçosa. E-mail: arthur.bernardeli@ufv.br.
- Bárbara J. P. Borges.** Farmacêutica-Bioquímica. Advogada. Mestra em Ciências. Doutoranda. Núcleo de Biotecnologia. Centro de Ciências da Saúde. Universidade Federal do Espírito Santo. Rede Nordeste de Biotecnologia. E-mail: bjpgborges@gmail.com.
- Breno Benvindo dos Anjos.** Engenheiro Agrônomo. Mestrando em Produção Vegetal. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: bbdanhos@gmail.com.
- Carla Cristina Gonçalves Rosado.** Engenheira Florestal. Doutora em Genética e Melhoramento. Pós-doutoranda da Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: carlagrosado@yahoo.com.br.
- Carlos Eduardo Magalhães dos Santos.** Engenheiro Agrônomo. Doutor em Genética e Melhoramento. Professor Adjunto, Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Agrarias Universidade Federal de Viçosa. E-mail: carlos.magalhaes@ufv.br
- Edilson Marques Junior.** Graduando em Agronomia. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: edilsonmarquesjr@hotmail.com.
- Edson Luiz Furtado.** Departamento de Produção Vegetal, Universidade Estadual Paulista (UNESP) Botucatu/SP. E-mail: elfurtado@fca.unesp.br.

**Elen de Lima Aguiar-Menezes.** Engenheira Agrônoma. Doutor em Fitotecnia (Entomologia). Professor Associado I. Departamento de Entomologia e Fitopatologia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. E-mail: emenezes@ufrj.br

**Guilherme de Resende Camara.** Engenheiro Agrônomo. Doutorando em Produção Vegetal. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: grcamara@hotmail.com.

**Isadora Rodrigues Garcia.** Graduanda em Agronomia. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: isadorargz@hotmail.com.

**Julião Soares de Souza Lima.** Engenheiro Agrícola. Doutor em Ciências Florestais. Professor Titular, Departamento de Engenharia Rural. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: limajss@yahoo.com.br.

**Kaique dos Santos Alves.** Graduando em Agronomia. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: kai-quealves@hotmail.com.

**Kalinka Regina Lucas Jaquie Castelo Branco.** Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC), USP de São Carlos/SP, Laboratório de Sistemas Embarcados Críticos (LSEC). E-mail: kalinka@icmc.usp.br.

**Luiz Cláudio Costa Silva.** Engenheiro Agrônomo. Doutor em Genética e Melhoramento. Pós-doutorando em Bioquímica Aplicada. Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular. Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária. Universidade Federal de Viçosa. E-mail: luizclaudio.ufv@gmail.com.

**Marcelo Soares Altoé.** Graduando em Agronomia. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: marcelosoaresaltoe@hotmail.com.

**Maria Lucia Zaidan Dagli.** Médica Veterinária. Doutora em Ciências - Patologia Experimental e Comparada. Professora Titular. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Universidade de São Paulo. E-mail: mlzdagli@usp.br.

**Marta Cristina Teixeira Leite.** Nutricionista. Doutora em Microbiologia Agrícola. Professora EBTT. Campus de Itapina. Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: marta.leite@ifes.edu.br.

**Maximiller Dal-Bianco.** Bacharel em Bioquímica. Doutor em Ciências Biológicas (Bioquímica). Professor Adjunto I. Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular. Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária. Universidade Federal de Viçosa. E-mail: maximiller@ufv.br.

- Newton Denis Piovesan.** Engenheiro Agrônomo. Doutor em Genética e Melhoramento. Pesquisador. Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária. Universidade Federal de Viçosa. E-mail: ndpiovesan@gmail.com.
- Otacílio José Passos Rangel.** Engenheiro Agrônomo. Doutor em Solos e Nutrição de Plantas. Professor DIV-II. Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. E-mail: ojprangel@ifes.edu.br.
- Patricia M. B. Fernandes.** Bióloga. Doutora em Ciências - Bioquímica e Biologia Molecular. Professora Titular. Núcleo de Biotecnologia. Centro de Ciências da Saúde. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: patricia.fernandes@ufes.br.
- Rafael Delmond Bueno.** Licenciatura em Ciências Biológicas. Doutor em Bioquímica Agrícola. Pós-doutorando em Genética Molecular de Plantas. Departamento de Fitotecnia. Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária. Universidade Federal de Viçosa. E-mail: rafaeldelbueno@yahoo.com.br.
- Ramon Amaro de Sales.** Engenheiro Agrônomo. Mestrando em Produção Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: ramonamarodesales@gmail.com.
- Renato Ribeiro Passos.** Engenheiro Agrônomo. Doutor em Solos e Nutrição de Plantas. Professor Associado III. Departamento de Agronomia. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: renatoribeiropassos@hotmail.com
- Robson Ferreira de Almeida.** Engenheiro Agrônomo. Doutor em Fitotecnia. Professor EBTT. Campus de Itapina. Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: robson.almeida@ifes.edu.br.
- Rodrigo Monte Lorenzoni.** Engenheiro Agrônomo. Mestre em Produção Vegetal. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: rodrigomlorenzoni@gmail.com.
- Samuel de Assis Silva.** Engenheiro Agrônomo. Doutor em Engenharia Agrícola. Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Rural. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: sasilva@pq.cnpq.br.
- Sávio da Silva Berilli.** Engenheiro Agrônomo. Doutor em Produção Vegetal. Professor EBTT. Campus de Itapina. Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: savio.berilli@ifes.edu.br.
- Taís Cristina Bastos Soares.** Farmacêutica Bioquímica. Doutora em Bioquímica Agrícola. Professor Associado I. Departamento de Farmácia e Nutrição. Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: tcbsoares@yahoo.com.br.

**Thiago de Freitas Ferreira.** Biólogo. Doutor em Produção Vegetal. Pós-doutorando em Genética e Melhoramento. Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária. Universidade Federal de Viçosa. E-mail: thiagofbe@hotmail.com.

**Waylson Zancanella Quartezeni.** Engenheiro Agrônomo. Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura). Professor EBTT. Campus de Montanha. Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: waylson.quartezeni@ifes.edu.br.

**Wellingson Assunção Araujo.** Engenheiro Agrônomo. Mestrando em Genética e Melhoramento. Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa. E-mail: wellingson.araujo@hotmail.com.

**Willian Bucker Moraes.** Engenheiro Agrônomo. Doutor em Proteção de Plantas. Professor Adjunto C. Departamento de Agronomia. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: willian.fito@gmail.com.



# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> USO DE RESÍDUOS NA AGRICULTURA	10
<b>CAPÍTULO 2</b> USO DO SOLO EM SISTEMAS ORGÂNICOS DE PRODUÇÃO	39
<b>CAPÍTULO 3</b> MANEJO FITOSSANITÁRIO EM SISTEMAS ORGÂNICOS DE PRODUÇÃO NO BRASIL	63
<b>CAPÍTULO 4</b> MELHORAMENTO GENÉTICO DE PLANTAS NO SÉCULO XXI	93
<b>CAPÍTULO 5</b> ALIMENTOS BIOFORTIFICADOS: O FUTURO DA ALIMENTAÇÃO MUNDIAL	116
<b>CAPÍTULO 6</b> TRANSGÊNICOS: MITOS, VERDADES E PERSPECTIVAS	145
<b>CAPÍTULO 7</b> VARIABILIDADE ESPACIAL DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO SOLO E DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS NA CULTURA DA SERINGUEIRA	177
<b>CAPÍTULO 8</b> MELOIDOGYNOSE DO CAFEIEIRO: ASPECTOS ECONÔMICOS E FITOSSANITÁRIOS	194
<b>CAPÍTULO 9</b> USO DE IMAGENS AÉREAS OBTIDAS POR VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT'S) NA DETECÇÃO DE DOENÇAS EM EUCALIPTO	212
<b>CAPÍTULO 10</b> MELHORAMENTO GENÉTICO VISANDO QUALIDADE DO GRÃO DE SOJA	225



# CAPÍTULO 1

## USO DE RESÍDUOS NA AGRICULTURA

Sávio da Silva Berilli  
Ana Paula Candido Gabriel Berilli  
Marta Cristina Teixeira Leite  
Waylson Zancanella Quartezi  
Robson Ferreira de Almeida  
Ramon Amaro de Sales

### 1. INTRODUÇÃO

Quando um resíduo é estudado pela primeira vez, com a intenção de uso agrícola, um procedimento torna-se fundamental na sua classificação e destinação correta ao fim da cadeia produtiva. Esse procedimento passa por uma análise crítica a respeito da sua constituição química, pois para saber qual o melhor destino, é necessário saber quais elementos químicos estão presentes nos resíduos, tais como elementos essenciais aos vegetais (macro e micronutrientes) ou prejudiciais aos mesmos quando em quantidades um pouco acima do normal, tais como cromo, selênio, chumbo, etc. Muitas vezes alguns elementos presentes nos resíduos não são essenciais ou prejudiciais às plantas, a princípio, no entanto, a depender da quantidade existente, pode tornar-se tóxico, a exemplo do sódio, o qual pode alterar a capacidade osmótica do solo e afetar o balanço hídrico da planta, ou o alumínio, o qual pode afetar o desenvolvimento do sistema radicular e o ganho de massa das plantas.

A forma física do resíduo que pretende-se utilizar na atividade agrícola, também torna-se muito relevante, pois a depender de seu estado, quer seja líquido, pastoso ou sólido, dar-se-á uma melhor forma de aplicação na agricultura. Por exemplo, quando o resíduo é líquido, pode-se pensar na aplicação na forma de irrigação ou fertirrigação, respeitada as indicações de uso do resíduo em questão. Quando um resíduo é sólido, pode-se pensar em seu uso diretamente no solo, na cova de plantio, nos substratos de plantas,

ou na compostagem. O uso de compostagem pode aceitar resíduos de diferentes estados físicos, quer seja líquido, sólido ou pastoso.

Nesse capítulo vamos abordar os impactos dos resíduos gerados pela sociedade moderna e seus serviços e bens de consumo necessários ao conforto e ao funcionamento das indústrias, da produção agrícolas ou mesmo da presença das pessoas no ambiente. Para fins de classificação dos resíduos, daremos enfoques aos resíduos gerados nas atividades agrícolas, nas atividades industriais ou agroindustriais e os resíduos gerados pelas grandes cidades, classificados muitas vezes como resíduos urbanos.

Quanto aos resíduos oriundos da atividade rural, serão dados destaques aos resíduos da pecuária intensiva, tal como o bovino, suíno e frango. Outros resíduos de origem vegetal, derivados de lavouras, também serão abordados como fontes de matéria orgânica para produção de compostagem e componentes de substrato para propagação de mudas de espécies cultivadas ou florestais.

Será abordado o impacto da adição de resíduos na atividade microbiológica do solo, notadamente os enriquecidos com matéria orgânica, servindo de fontes de nutrientes nos ciclos biogeoquímicos dos elementos presentes no solo e na atmosfera, como o CO<sub>2</sub> e o nitrogênio.

Por fim, serão abordados aspectos legais sobre o uso e a comercialização resíduos agrícolas como fontes de matéria orgânica, substrato para propagação de plantas ou mesmo fontes de adubação orgânica da atividade agrícola.

## 2. GERAÇÃO DE RESÍDUOS PELA SOCIEDADE

Falar de resíduo não é difícil, pois eles estão por toda parte. Onde existe a atividade humana, seja em um bairro industrial, em construção ou mesmo residencial, existe a geração de resíduo. A sociedade e o lixo possuem uma relação muito próxima, pois, pela simples presença do ser humano em um ambiente, em pouco tempo, começa a geração de resíduos, seja do resto de um alimento, de um copo descartável, as sobras de um prato de refeição ou

mesmo dejetos de animais de estimação. Onde quer que esteja o homem, o lixo o acompanha.

Grandes cidades geram grandes quantidades de resíduos, sendo que cerca de 50% desses resíduos são oriundos do lixo doméstico e cerca de 50% desse lixo doméstico são de origem orgânica. A grande questão é o que fazer com tantos resíduos gerados pela sociedade? Até pouco tempo, o maior destino dos resíduos eram o despejo em lixões próximos das cidades, sem muita preocupação com o meio ambiente. No entanto, os lixões são locais inóspitos, insalubres e desumanos, que não raro, servem de lar e fonte de alimentação e renda para muitas famílias. Atualmente vem-se buscando colocar esses resíduos em aterros sanitários, com destinação um pouco mais apropriada quando comparada aos lixões. No entanto, mesmo os aterros não resolvem o problema do lixo, além de possuir um custo relativamente elevado para sua manutenção, não sendo, portanto, a solução ideal para a destinação desses resíduos.

O futuro aponta como única solução para resolver de vez esse problema ambiental de geração de resíduos, a reciclagem total do lixo, não somente dos metais, papelão e plástico. No entanto, essa questão não é tão simples quanto parece, pois depende de muitos fatores. A reciclagem de metal (como latas de alumínio), papelão e garrafa pet, já possuem uma cadeia de reaproveitamento bem definida, com catadores especializados em achar e separar apenas esses itens, por meio de cooperativas ou associações. Outros materiais são mais difíceis de serem reciclados, quer seja pela falta de tecnologia adequada para a reciclagem ou mesmo por se tornar inviável economicamente quando não há separação do lixo na fonte. Componentes eletrônicos e pilhas muitas vezes não dispõem de tecnologia apropriada para o adequado descarte e reaproveitamento de suas partes, gerando grandes volumes de lixo sem destino adequado.

Outras fontes de resíduos, como os de origem orgânica, muitas vezes não são reciclados, pois chegam contaminados nas unidades de processamento, sendo, portanto, encaminhados para aterros sanitários, produzindo grande volume de metano, com potencial poluidor de água, solo e ar através do percolado e gases gerados. Várias usinas de processamento de resíduo orgânico têm atuado na reciclagem desses resíduos, as quais transformam os restos de

alimentos, animais e vegetais, assim como podas de árvores e grama em composto orgânico com material rico em substâncias húmicas já estabilizados e prontos para retornar ao solo como adubo orgânico. No entanto, essa reciclagem só é possível com a separação do conteúdo orgânico do lixo doméstico e com o recolhimento em pontos estratégicos de grandes geradores de lixo orgânico, como feiras, CEASAs, restaurantes e supermercados. Essa separação do conteúdo orgânico tem-se mostrado um grande desafio para a sociedade moderna, pois passa pela educação de um povo, sendo necessária uma mudança de comportamento, sendo não raro, a frustração de muitos programas de coleta seletiva em várias cidades do Brasil.

### 3. APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS NA AGRICULTURA

O agronegócio tem sido a força propulsora do PIB brasileiro nos últimos tempos (CEPEA, 2017) e grande parte dessa colaboração vem do elevado investimento dos produtores rurais em tecnologia como insumos, equipamentos e investimento de alto padrão em suas lavouras. Junto com esse aumento de produção está associado um volume maior de resíduos gerados seja pelas atividades pré ou pós-colheita da agricultura moderna (CNA, 2017).

O preocupante é que este modelo de desenvolvimento agrícola pode se tornar insustentável, pois muitos desses resíduos proporcionam sérios problemas de poluição no solo, em águas superficiais e em águas subterrâneas. Isso porque os resíduos dessas atividades apresentam, em geral, grande concentração de material orgânico e o seu descarte em corpos hídricos pode proporcionar grande decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido nesse meio reduzindo os níveis de oxigênio da água causando mortalidade na vida aquática, exalação de odores fétidos e de gases agressivos, eutrofização de rios e lagos e problemas no tratamento de água para o abastecimento público (TORRES e TARIFA, 2012).

O Brasil já ocupa a quinta posição mundial entre os maiores produtores de resíduos agrícolas, gerando diariamente mais de 170

mil toneladas de produtos sólidos dos quais mais da metade têm origem orgânica (CNA, 2017). Uma alternativa excelente para destinar esse volume gerado seria reutilizá-lo na própria agricultura garantido assim a sustentabilidade da relação solo-planta.

A lei no 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, coloca que o crescimento do setor agrosilvopastoril nos últimos anos indica que a geração de resíduos continuará aumentando e, o seu manejo, tratamento e disposição devem ser adequados. Além disso, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, de setembro de 2011, institui como diretriz que, a partir do Censo Agropecuário (2015), todos os resíduos agrosilvopastoris deverão estar inventariados e os municípios ou regiões com maior volume de resíduos deverão ser identificados (ANDREAZZI et al., 2015).

Os resíduos agrícolas incluem todos os tipos de resíduos gerados pelas atividades produtivas na agricultura e agropecuária, entre eles, estão: as cascas, palhas, colmos, ramas, raízes, caroços, sabugo, folhas, frutos, sementes, galhos, gravetos, carvão, esterco bovino, cama de frango, resíduos da suinocultura, a qual é considerada, pelos órgãos de controle ambiental, a atividade agropecuária que ocasiona maior impacto ambiental (RIZZONI et al., 2012), entre outros.

Os principais sistemas de tratamento de dejetos animais envolvem a compostagem, o uso de biodigestores e esterqueiras (ANDREAZZI et al., 2015). Já os resíduos de origem vegetal têm sido destinados também para uso em compostagem e utilizados como adubos orgânicos lançados de forma direta no solo de lavouras e pastagens ou utilizados como partes de substrato para produção de mudas em viveiros (SALES et al., 2016). Neste tópico, serão abordados a compostagem, os resíduos da bovinocultura, da suinocultura e da avicultura.

A compostagem é um processo biológico de decomposição e de reciclagem da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal formando um composto que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente, sendo considerado, portanto, um processo necessário para que os nutrientes existentes na forma orgânica nos resíduos vegetais tornem-se disponíveis para a cultura (TORRES e TARIFA,

2012). O uso da compostagem promove a transformação bioquímica da matéria orgânica em sais minerais solúveis, os quais podem ser absorvidos pelas plantas e desta forma, contribuir para o seu melhor desenvolvimento (KRAUSE et al., 2017).

O esterco bovino talvez seja o resíduo mais amplamente empregado na agricultura, pela sua facilidade em ser obtido e pelos resultados que promovem na produção da lavoura e das pastagens. Quando um solo já está degradado, sem uso, torna-se compacto, sem vida. Portanto, o uso do esterco de curral favorece a melhoria na química e na física do solo, tornando-o mais estruturado e produtivo. Desta maneira, o solo é trabalhado, ficando mais arejado, com o PH neutro, apropriado para diversas culturas e, além disso, a flora microbiana começa a funcionar e as plantas a responderem ao uso da adubação orgânica. (OLIVEIRA et al., 2016).

Como desvantagem ao uso do esterco puro no uso da adubação orgânica destaca-se a imobilização temporária de nitrogênio e as quantidades de nutrientes adicionadas não estar nas proporções requeridas pelas plantas, situação esta que pode ser revertida quando se usa uma mistura de esterco e partes vegetais (SAMPAIO et al., 2007).

Normalmente em propriedades rurais a mistura esterco + água + urina (chorume - adubo orgânico na forma líquida) é colocada nos tanques onde fica armazenada em esterqueiras de 30 a 120 dias, dependendo do planejamento da distribuição do esterco no solo, em função da área a ser cultivada com culturas. É importante que as esterqueiras sejam bem revestidas para evitar a poluição das águas superficiais ou subterrâneas. A partir daí, o esterco na forma líquida ou sólida pode ser utilizado antes do plantio ou como adubação de cobertura das culturas ou pastagem.

Para uso na adubação de cobertura o esterco líquido (chorume de esterqueira) pode ser usado aplicando-se superficialmente ao solo. O esterco sólido deve estar bem fermentado ou curtido e preferencialmente deve ser aplicado nas horas de pouca insolação como, por exemplo, entre 8 e 10 horas da manhã e 16 e 18 horas da tarde, especialmente no verão, diminuindo, assim, as perdas de nitrogênio por volatilização. Para hortaliças, não é indicado a aplicação do esterco em cobertura nas folhosas que são consumidas na alimentação humana, como alface, rúcula e agrião, pois alguns



microorganismos provenientes do esterco podem prejudicar a saúde das pessoas. Em função disso, deve-se também esperar pelo menos 15 dias para colocar os animais nas pastagens, logo após a aplicação do biofertilizante em cobertura no pasto (TORRES e TARIFA, 2012).

Um dos grandes problemas do uso de esterco na forma líquida é o excesso de água utilizada para a lavagem dos estábulos ou pocilgas. A proporção ideal é de uma parte de esterco para uma parte de água. Quanto mais líquido for o material mais diluído estarão os nutrientes e maiores serão os custos de distribuição do material no campo. Um biofertilizante de boa qualidade deve ter o mínimo de água e ser proveniente de animais bem alimentados, como é o caso, na maioria das vezes, dos materiais orgânicos provenientes da suinocultura e bovinocultura de leite. Por isso, também é muito comum em propriedades de agricultura familiar, as quais, em sua maioria, possuem currais menores, retirar o esterco diariamente com enxadas, raspando o chão do curral e jogando o esterco diretamente na composteira ou na esterqueira e depois de alguns dias jogar a lanço o esterco nas pastagens (SAMPAIO et al., 2007).

A quantidade de esterco a ser aplicada nas lavouras depende diretamente dos teores de matéria seca do biofertilizante, isto é, a parte sólida. Nessa parte é onde estão concentrados os nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes. Para saber a massa seca do esterco pode-se utilizar um densímetro e uma tabela a campo. Após realizar-se a leitura das densidades, pode-se estimar com determinada precisão os teores de massa seca e até de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio (TORRES e TARIFA, 2012).

Assim, não é necessário levar amostras de esterco para os laboratórios, para fazer a análise química. O próprio agricultor, juntamente com o técnico, tem condições de identificar a qualidade do biofertilizante produzido na propriedade. Depois de determinadas às leituras de massa seca e nutrientes, pode-se calcular que quantidade de biofertilizante é possível usar nas culturas, seja isolado ou associado com outros fertilizantes e adubos verdes. As faixas de aplicações mais usadas são de 20.000 a 40.000 litros por hectare/ano, levando-se em consideração a matéria

orgânica do solo, fertilidade e a estrutura do mesmo (SAMPAIO et al., 2007).

A partir da década de 1970 a suinocultura passou a ser intensiva e confinada em nosso país, e ao mesmo tempo em que permitiu ganhos expressivos na produtividade, também desencadeou um aumento exagerado na produção de dejetos, cerca de sete quilos por animal diariamente.

Em seus dejetos são encontrados nitrogênio, fósforo, metais pesados como zinco e cobre além de microrganismos fecais patogênicos os quais podem causar sérios riscos a saúde humana, e ainda o manejo indevido da suinocultura pode provocar graves impactos ambientais na água, no solo e no ar. Para amenizar esses efeitos a legislação vigente exige um período de 120 dias de retenção em esterqueiras para que ocorra a correta fermentação e a estabilização do produto, mas esta norma, em sua maioria nem sempre é cumprida (PRÁ, 2009).

Uma das principais aplicações do dejetos de suínos é o uso na fertilização agrícola do solo e também para a produção de energia, reduzindo assim a emissão de gases. Os principais sistemas de tratamento de dejetos de suínos na forma líquida incluem o uso de compostagem (OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006), biodigestores, esterqueiras, sistemas de decantação e uso de lagoas anaeróbicas e aeróbicas (PRÁ et al., 2005).

Pesquisas têm demonstrado que sucessivas aplicações por cobertura de resíduo líquido de suíno nas lavouras promovem o aumento nos teores de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, zinco, entre outros nas camadas superficiais do solo, especialmente aqueles elementos com menor mobilidade (CASSOL et al., 2012; FABBRIS, 2013). No entanto, no caso do nitrogênio, a falta de sincronismo entre a disponibilidade do nitrogênio proveniente do resíduo e a demanda da cultura é um problema, porque cerca de 50% do nitrogênio total do resíduo de suíno já está na forma mineral prontamente disponível (FABBRIS, 2013). Aliado a isso, como geralmente a aplicação do resíduo é feita antes do plantio da lavoura, pode haver a movimentação vertical do nitrato no perfil de solo já que a demanda de nitrogênio ainda é baixa. O potássio também é prontamente disponível, já o fósforo

possui verticalização mais lenta no solo e a perda desse nutriente, portanto, é quase nula.

Na tentativa de diminuir as perdas dos nutrientes por volatilização ou escoamento, os resíduos da suinocultura estão sendo incorporados ao solo por meio do revolvimento do mesmo no momento da aplicação do resíduo.

É senso comum entre os especialistas da área que os resíduos agrícolas deveriam adotar um sistema mais eficiente e consolidado de uso, neste aspecto, o uso da cama de frango talvez seja o que já tenha alcançado esse patamar, pois este resíduo já tem toda uma logística de uso muito bem estabelecida e que é bastante usado principalmente e na região sul do país, onde grande parte da produção de frango é concebida decorrente da proximidade com as áreas produtoras da base de suas rações, como o milho e a soja.

A adubação com cama de frango se mostra muito promissora dado sua alta concentração de N, P, K e Ca associada à resposta produtiva de muitas culturas como milho, soja e pastagens. No entanto, a liberação dos seus nutrientes é mais lenta que a demanda que a planta apresenta por esses mesmos nutrientes. Para um galpão com 35.000 aves é retirado a cada ano cerca de 250 toneladas de cama de frango em cada galpão.

A cada retirada de lote de frango (45 dias), os frangos são retirados e joga-se na cama de frango cerca de 60 sacos de cal hidratada ou gesso agrícola, o produtor tem mais facilidade de encontrar o cal. Essa cal é colocada numa máquina, esparramado por toda a extensão do galpão e depois é passada uma máquina chamada de rotativa para arejar e secar os dejetos do frango, a cal baixa o pH da cama de frango e ajuda a eliminar algum patógeno como por exemplo a salmonela. Pode-se usar a palha de arroz, a maravalha e a palha de café como matéria-prima na cama de frango, sendo que o avicultor prefere a palha de arroz, porque é mais difícil de pegar umidade aumentando assim o volume da cama.

Geralmente ao final do quinto ou sexto lote de frango (correspondendo a 10 a 12 meses), a cama deve ser retirada do galpão e é vendida a produtores próximos. A cama de frango é vendida para produtores de pastagens e também são usados em suas próprias propriedades para lavoura de milho e soja. As usinas

também tão comprando para jogar nas lavouras de cana, sendo um produto muito valorizado. A tonelada da cama de frango é vendida a cerca de R\$ 90,00 reais atualmente. A cama de frango é um adubo bem completo, é considerado pelos produtores um excelente adubo, apesar de seu relativo custo elevado.

Tem-se usado no sul do país, próximo das regiões grandes produtoras de aves, em torno de 10 t/ha de cama nas lavouras ou pastagens, quando é usada pela primeira vez, e a partir do segundo ano, tem sido aplicado cerca de 5 t/ha. Para soja, milho e pastagens a cama é jogada no solo junto com palhada no momento da colheita da lavoura, até o plantio vai ainda demorar cerca de 90 dias, então nesse intervalo, a cama de frango vai se incorporando ao solo e tornando a terra mais fértil.

#### 4. INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA MICROBIOTA DO SOLO

O solo é um ambiente complexo, onde os micro-organismos desempenham um papel indispensável na ciclagem de nutrientes e degradação de diferentes tipos de resíduos, tanto agrícolas quanto industriais, contribuindo para a manutenção da qualidade do solo (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

A qualidade do solo pode ser definida como a capacidade do solo em exercer as suas funções na natureza, de modo a funcionar como meio para o crescimento das plantas; regular e compartimentalizar o fluxo de água no ambiente; estocar e promover a ciclagem de elementos na biosfera; e servir como tampão ambiental na formação, na atenuação e na degradação de compostos prejudiciais ao ambiente (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

A comunidade microbiana do solo desempenha importante papel nas funções do solo e na sustentabilidade dos agroecossistemas, como a mineralização da matéria orgânica, com implicações em sua fertilidade e no estado nutricional das plantas (GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008; NOGUEIRA, 2013). Os micro-organismos podem ser empregados como bioindicadores sensíveis e precoces no monitoramento do uso do

solo como receptor final de resíduos, uma vez que as comunidades microbianas e seus processos são dinâmicos e respondem quantitativa e qualitativamente a alterações impostas ao ambiente, refletindo os efeitos do manejo nos processos e transformações que ocorrem no solo. Em alguns casos, alterações na população e na atividade microbiana podem preceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo na melhoria ou na degradação do solo (MONOKROUSOS et al., 2006; ARAÚJO e MONTEIRO, 2007; NOGUEIRA, 2013).

Dessa forma, efeitos estimulantes ou inibitórios a partir da adição de resíduos ao solo podem ser observados, auxiliando no monitoramento da qualidade com o objetivo de prevenir a sua degradação. A atividade microbiana, além de indicador da qualidade do solo, tem grande importância no processo de reciclagem de resíduos, funcionando como um filtro biológico e podendo trazer benefícios ao solo, favorecendo a disponibilidade de nutrientes para as plantas e reduzindo a contaminação do ambiente (SILVEIRA e FREITAS, 2007; NOGUEIRA, 2013).

A biomassa microbiana é responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos utilizando os mesmos como fonte de nutrientes e energia para manutenção e multiplicação celular, podendo tornar esses nutrientes temporariamente indisponíveis no solo. Estimativas da biomassa microbiana têm sido usadas em estudos do fluxo de C e N, possibilitando ainda a associação da quantidade de nutrientes imobilizados e a atividade da biomassa microbiana com a fertilidade e o potencial de produtividade do solo (ASSIS et al., 2013; GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008).

A quantidade e composição da biomassa microbiana podem ser influenciadas por diversos fatores, entre os quais está a qualidade da matéria orgânica proveniente dos resíduos adicionados ao solo, que podem ser mais ou menos biodisponíveis à decomposição enzimática pelos micro-organismos. O crescimento microbiano pode ser limitado pela escassez de nutrientes encontrados no solo, entretanto, a adição de fontes de C ou N pode aumentar a biomassa e, com isso, temporariamente imobilizá-los na sua composição celular. Assim, a incorporação ao solo de materiais orgânicos afeta a dinâmica populacional dos micro-organismos e também a

disponibilidade de determinados nutrientes como o nitrogênio (GRAHAM et al., 2002; VENZKE FILHO et al., 2008; MÜLLER et al., 2014).

Outro fator importante relacionado a matéria orgânica que afeta a composição microbiana é a relação C/N dos resíduos adicionados, de modo que, resíduos com alta concentração de carbono, mas pouco nitrogênio (alta relação C/N) geralmente são lentamente mineralizados e induzem deficiência de nitrogênio no solo, pois os micro-organismos absorvem grande parte do N disponível, o qual só volta a ser disponibilizado após a decomposição do material adicionado (CUNHA et al., 2015).

Severino et al. (2005) avaliando o efeito da adição de torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana sobre a atividade microbiana no solo observou que a mineralização da torta de mamona ocorreu de forma mais rápida quando comparado esterco bovino curtido e ao bagaço de cana, devido, a associação entre os altos teores de nitrogênio, fósforo e potássio presentes na torta e as condições ótimas para a atividade microbiana: alta umidade, boa aeração e temperatura em torno de 28°C.

Assim, a relação C/N dos resíduos utilizados pode ocasionar distúrbios na comunidade microbiana do solo caso a mineralização seja excessivamente lenta, de modo que parte da energia que seria utilizada para crescimento e reprodução será desviada para reparo de danos e manutenção celular ocasionando a perda de parte do carbono da biomassa na forma de CO<sub>2</sub> (SAMPAIO et al., 2008).

O efeito da adição de resíduos sobre o comportamento dos micro-organismos do solo tem sido estudado utilizando-se como parâmetros ou indicadores biológicos, a biomassa microbiana, a respiração basal do solo e o quociente metabólico, bem como a atividade de certas enzimas microbianas, sendo esses sensíveis a adição de resíduos ou a qualquer modificação que ocorra no solo. Esses parâmetros são utilizados para avaliar a velocidade de decomposição da matéria orgânica bem como a liberação de nutrientes como carbono e nitrogênio, indicando se a adição desses resíduos resultam em estresse para a microbiota prejudicando a qualidade do solo, ou se podem melhorar o perfil microbiológico do solo favorecendo o adequado desempenho de suas funções (CHAER

e TÓTOLA, 2007; GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008, PORTUGAL et al., 2008; ARAÚJO et al., 2017).

A respiração basal do solo, resultado principalmente da atividade microbiana, indica a velocidade de decomposição de resíduos orgânicos adicionados ao solo, sendo afetada por fatores bióticos, como o estado fisiológico da célula microbiana, e abióticos como a umidade, a temperatura, a estrutura, a disponibilidade de nutrientes, a textura do solo, a relação C/N, a presença de resíduos orgânicos. Altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico com perdas de carbono do solo como um alto nível de atividade do ecossistema com maior decomposição e, conseqüentemente, liberação de nutrientes para as plantas, devendo ser analisada em cada contexto (SEVERINO et al., 2005; SOUZA et al., 2010).

Resíduos contendo altos teores de carbono como lodo de curtume, podem induzir a atividade microbiana do solo medida pela respiração basal. Entretanto, resíduos que apresenta a maior parte de carbono recalcitrante, representado principalmente pela lignina, pigmentos, resinas e ceras, não são imediatamente utilizados como fonte de carbono pela microbiota e tendem a permanecer mais tempo no ambiente, afetando pouco a atividade microbiana no solo (NAKATANI et al., 2011; SANTOS et al., 2013).

O efeito de dois tipos de lodo de curtume sobre a atividade e a biomassa microbiana em trabalho realizado por Passianoto et al (2001) resultou em acréscimo na produção de CO<sub>2</sub> com o aumento das doses de lodo (20, 40 e 60 t/ha), não ocorrendo inibição do processo respiratório do solo, mesmo na dose mais elevada de lodo contendo cromo ao solo. O mesmo ocorreu com a biomassa microbiana, devido ao aumento do carbono orgânico com a aplicação dos lodos, sendo que a presença do cromo não afetou a biomassa.

A avaliação da biomassa e respiração microbiana feita isoladamente pode fornecer informações limitadas sobre as respostas do solo submetido a estresse ou perturbações. A determinação do quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), definido pela razão entre a respiração basal por unidade de biomassa microbiana do solo e por unidade de tempo, permite a identificação de solos contendo biomassa mais eficiente na utilização de carbono e

energia, os quais refletem ambientes com menor grau de distúrbio ou estresse. Assim, o quociente metabólico, apresenta-se como variável mais adequada para o entendimento da aplicação de diferentes fontes de matéria orgânica ao solo, sendo um indicador sensível para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato (CHAER e TÓTOLA, 2007; SAMPAIO et al., 2008; ALVES et al., 2011).

Valores mais elevados de  $qCO_2$ , normalmente, são associados com ecossistemas jovens, submetidos a alguma condição de estresse, em que a população microbiana está oxidando carbono de suas próprias células para a sua manutenção e adaptação ao solo. Por outro lado, menores valores de  $qCO_2$  normalmente são associados com ecossistemas maduros e estáveis e sugerem disponibilidade da matéria orgânica para os micro-organismos ou resíduos de melhor qualidade (CHAER e TÓTOLA, 2007; SAMPAIO et al., 2008).

Estudo avaliando o efeito de lodo originado da parboilização do arroz sobre a microbiota do solo demonstrou que a atividade microbiana, medida pela liberação de  $CO_2$ , e a biomassa microbiana, avaliada pelos teores de C e N, assim como os teores de C orgânico do solo, aumentaram com as doses de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes da parboilização do arroz e proporcionaram diminuição no quociente metabólico do solo, podendo ser aplicado ao solo, em doses recomendadas, com benefícios à atividade e à biomassa microbiana do solo (VIEIRA et al., 2011).

Dessa forma, a aplicação de resíduos em solos agrícolas precisa seguir critérios técnico-científicos e receber monitoramento constante, uma vez que a disposição inadequada pode levar a alterar as características químicas e físicas do solo, além de ocasionar distúrbios nas comunidades microbianas comprometendo a qualidade e o potencial de uso do solo.



## 5. USO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SUBSTRATOS E SUAS CONTRIBUIÇÕES

A matéria orgânica do solo é reconhecida por apresentar influências químicas, físicas e biológicas no comportamento dos solos, podendo ser resultado da decomposição, incorporação e mineralização (NASCIEMNTO et al., 2010). Essas alterações são influenciadas por fatores bióticos e abióticos, podendo acelerar ou diminuir seu processo de decomposição, tendo como principais contribuintes os microrganismos presentes e os fatores relacionados ao clima, como temperatura e precipitação.

A matéria orgânica é um material complexo, sendo formado por materiais decompostos de origem vegetal e/ou animal. Deste modo, as substâncias orgânicas podem apresentar padrões diferentes, podendo ser materiais livres e com elevada biodisponibilidade até componentes quimicamente mais estáveis, em associação íntima com a fase mineral (CHRISTENSEN, 1992). As transformações ocorridas desde o momento de incorporação da matéria orgânica fresca até sua transformação em frações húmicas representam a evolução da matéria orgânica nos solos (GUERRA et al., 2008).

Essas transformações ocorridas se dividem em dois processos, conceituados por mineralização e humificação. A mineralização constitui as perdas ocorridas durante a decomposição dos compostos orgânicos, sendo que após esse processo, os compostos fenólicos solúveis e os tecidos pouco lignificados são estabilizados por processos bio-físico-químicos, formando assim as substâncias húmicas. (CUNHA et al., 2015). Além disso, a matéria orgânica do solo é vista como um dos principais indicadores de qualidade do solo, servindo de parâmetro para a sustentabilidade agrícola.

A utilização de compostos orgânicos na agricultura está cada vez mais sendo utilizada, devido às características proporcionadas pela mesma, como o aumento da retenção de água e nutrientes, aumento da microbiota do solo, reduz a susceptibilidade do solo à erosão, melhoria das características físicas, podendo assim acelerar o crescimento das plantas, com comportamento semelhantemente a hormônios (CALDEIRA et al., 2008; BALDOTTO e BALDOTTO, 2013; SILVA et al., 2014).

Neste sentido, a utilização de resíduos sólidos na agricultura que antes seriam descartados possui capacidade de promover além dos benefícios relacionados à química e física do solo, a diminuição da quantidade de lixo a ser aterrada, redução dos impactos ambientais, visto que os resíduos orgânicos são descartados diariamente, constituído uma grande parcela da produção total de lixo e que ao serem descartados de forma inadequada, perdem sua potencialidade, atuando somente de maneira prejudicial ao meio ambiente (JUNKES, 2002; CARMELO, 2010).

Quanto maior a quantidade de resíduos orgânicos retornados para o solo, maiores serão seus efeitos sobre a estrutura do solo, como a redução da evaporação e temperatura do solo, proteção contra perturbações naturais e antropogênicas aumento da infiltração de água no mesmo e diminuição do escoamento superficial. A matéria orgânica afeta diretamente a estabilidade dos agregados diminuindo significativamente com a redução da cobertura do solo, uma vez que a superfície dos agregados em solos sem cobertura estão expostos as forças erosivas do impacto de gotas de chuva (COSTA et al., 2013).

Dentre as possíveis utilizações da matéria orgânica, podemos destacar seu uso em substratos na produção de mudas, sendo este muito utilizado por grandes, pequenos ou médios produtores rurais. Com isso, é observado um aumento progressivo nas pesquisas relacionadas ao uso de substratos, a fim de definir estratégias que possam favorecer a propagação de mudas com qualidade, reduzindo custos de produção, visto que o substrato é um dos responsáveis por manter diversas características desejáveis as mudas (CUNHA et al., 2005; NOGUEIRA FILHO et al., 2011; GONÇALVES et al., 2014).

Podemos citar na literatura o benefício encontrado por diversos resíduos orgânicos, tais como o lodo de curtume, composto urbano, húmus, esterco de frango (BERILLI et al., 2016; SALES et al., 2016; ARAÚJO et al., 2017; LIMA et al., 2017). Esses materiais orgânicos possuem capacidade de alterar diversas características relacionadas às plantas, como as características de desenvolvimento e as características fisiológicas, detectadas por aparelhos de alta tecnologia.

Dentre as aplicações agronômicas, o uso da matéria orgânica constitui uma importante ferramenta capaz de alterar o metabolismo vegetal, dado que as diferentes fontes de matéria orgânica disponíveis oferecem uma variação muito grande dos nutrientes, possuem a capacidade de alterar a microbiota presente, além de metais potencialmente tóxicos que podem ser encontrados em determinados resíduos que podem servir como fonte de matéria orgânica para mudas.

Neste contexto, torna-se de extrema importância conhecer os atributos que a matéria orgânica possui, juntamente com sua aplicação na agricultura, a fim de determinar estratégias de uso, contribuindo assim para o meio ambiente e para a economia agrícola, dado que a matéria orgânica do solo se constitui a base fundamental para a produtividade agrícola sustentável.

## 6. UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS

Na tentativa de reduzir os transtornos causados pela crescente produção de resíduos urbanos, industriais e outros, a destinação nas atividades agrícolas e florestais tem sido propostas e estudadas por muitos pesquisadores, sendo o uso desses resíduos na propagação de plantas uma das formas mais procuradas para destinação final desses resíduos (CALDEIRA et al., 2012; BERILLI et al., 2016).

A produção de mudas florestais tem sido uma alternativa para destinação de resíduos industriais e urbanos, ressalta-se que a qualidade de uma muda está diretamente relacionada à qualidade do substrato. A qualidade física do substrato é importante, por ser utilizado num estágio de desenvolvimento em que a planta é muito suscetível ao ataque por microrganismos e pouco tolerante ao déficit hídrico (CUNHA et al., 2005).

Para a produção de mudas, alguns fatores são de grande importância, como o substrato, semente, volume do recipiente, e o manejo das mudas. Dentre esses fatores, um dos mais importantes é a composição dos substratos, uma vez que a germinação de sementes, iniciação radicular e enraizamento de estacas estão

diretamente ligados às características químicas, físicas e biológicas do substrato (CALDEIRA et al., 2000).

Os substratos podem ser compostos por um único material ou pela formulação de diferentes tipos de materiais, contudo devem apresentar características físicas, químicas e biológicas adequadas, além de disponibilidade e fácil manuseio e transporte (DELARME-LINA et al., 2013).

Na composição do substrato para o crescimento de mudas, a fonte orgânica é responsável pela retenção de umidade, controle da amplitude térmica e fornecimento de parte dos nutrientes.

Dentre os resíduos gerados pela indústria, o resíduo gerado do curtimento de couro tem chamado a atenção. A transformação de peles de bovinos em couro é uma atividade que produz como resíduos o lodo de caleiro e o lodo de curtimento, que sem uma destinação adequada, possuem grande potencial de poluição no meio ambiente. Então, faz-se necessário buscar usos mais adequados para esses materiais (QUEIROZ et al., 2012).

Visando uma destinação para o lodo de curtume Queiroz et al. (2012), avaliaram a utilização de lodo de caleiro na produção de mudas de pinho-cuiabano (*Schizolobium amazonicum*) em diferentes concentrações, substrato comercial + Lodo de caleiro (1,5 gKg<sup>-1</sup>) + NPK + FTE, ( 3 gKg<sup>-1</sup>) + NPK + FTE, (4,5 gKg<sup>-1</sup>) + NPK + FTE, (6,5 gKg<sup>-1</sup>) + NPK + FTE e (7,5 gKg<sup>-1</sup>) + NPK + FTE. Estes pesquisadores concluíram que mesmo com a ressalva quanto aos valores de pH e condutividade elétrica apresentados pelo lodo de caleiro, as misturas do substrato comercial com os adubos convencionais enriquecidos com lodo de caleiro influenciaram positivamente na qualidade das mudas produzidas, sendo uma alternativa em potencial como insumo agrícola na produção de mudas de pinho-cuiabano.

Sheer et al. (2013), avaliaram três tipos de substratos para produção de mudas de *Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes): substrato comercial de casca de Pinus compostada e vermiculita; substrato à base de resíduos de podas de árvores trituradas compostadas com lodo de esgoto aeróbio na proporção 3:1 (v:v); e substratos à base de resíduos de podas de árvores trituradas compostadas com lodo de esgoto aeróbio na proporção 2:1 (v:v). As mudas obtidas à base de lodo apresentaram diferença significativa

para altura e diâmetro do caule, com valores superiores, nas duas proporções, quando comparados com o substrato comercial.

Outros resíduos também têm sido estudados, Faria et al. (2016) estudaram a utilização de três tipos de resíduos orgânicos alternativos: esterco bovino, cama de aviário e esterco de codorna, na formulação de substrato para a produção de mudas de *Mimosa setosa* Benth. Esses pesquisadores relatam que o melhor desempenho foi obtido com 25% de substrato comercial + 35% de cama de frango + 40% de terra de subsolo, sendo esse o que proporcionou melhores médias nas características de altura, diâmetro do coleto, relação altura/diâmetro, massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular e massa seca total.

## 7. LEGISLAÇÃO PARA O USO DE RESÍDUOS NA AGRICULTURA

Na maioria das vezes os resíduos oriundos da atividade humana que se prestam para uso na agricultura, são destinados como uma forma de adubação ou fonte de matéria orgânica, como pode ser observado na legislação e normativas emitidas por órgãos competentes brasileiros, tais como as que serão apresentadas nesse tópico.

A Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, alterada pela Lei nº 12.890 de 2013 e regulamentada pelo Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004 e Alterado pelo Decreto nº 8.384, de 2014, dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. Tem por objetivos específicos: Estabelecer a obrigatoriedade da inspeção e fiscalização da produção e do comércio desses insumos; Obriga as pessoas físicas ou jurídicas que produzam ou comercializem esses insumos a promoverem o seu registro junto ao Mapa; Obriga o registro dos produtos no país; Estabelece Sanções Administrativas e delega ao Poder Executivo, a competência para estabelecer as providências necessárias para o exercício da fiscalização (BRASIL, 1980). Sendo ainda, a Base Legal nacional, atualmente em vigor, para a Resolução do Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) e as Instruções Normativas

(IN) do Mapa (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), que por sua vez, são as principais ferramentas legais na reciclagem e uso de resíduos orgânicos.

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 375 de 29 de agosto de 2006 dá instruções sobre a reciclagem do uso agrícola do lodo de esgoto gerado em estações de tratamento de esgoto. A resolução visa o aproveitamento do lodo do esgoto com benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao ambiente. O lodo de esgoto é rico em matéria orgânica e nutrientes que podem trazer benefícios a agricultura, sendo também reconhecido que essa forma de reciclagem do lodo de esgoto é benéfica do ponto de vista ambiental quando comparado com outras formas de destinação.

A resolução recomenda que o lodo utilizado na agricultura seja submetido a processos para diminuição de patógenos, como exemplos, podem ser utilizados tratamentos com a digestão aeróbia, a secagem em leitos ou em bacias, digestão anaeróbia, a compostagem, e a estabilização com cal. Por apresentarem maiores riscos, alguns tipos de lodos são vetados para uso na agricultura, como os produzidos em ETEs (Estação de tratamento de esgoto) de instalações hospitalares e de portos e aeroportos, também ficam vetados os resíduos do gradeamento, desarenador e a gordura que é retirada de alguns processos da ETE.

A resolução Conama nº 375/06 indica os limites e parâmetros para caracterização do potencial agrônômico do lodo, a caracterização química (presença de substâncias inorgânicas) e a caracterização microbiológica (presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos). Outros pontos fundamentais apresentados na resolução a serem destacados estão relacionados à recomendação de monitoramento das características do lodo, as restrições dos locais de aplicação, a indicação das culturas aptas a receberem lodo de esgoto, e que toda aplicação de lodo de esgoto e produtos derivados em solos agrícolas devem estar condicionadas à elaboração de um projeto agrônômico.

A Instrução Normativa SDA nº 25, de 23 de julho de 2009, do Mapa, aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e

biofertilizantes destinados à agricultura. Nela os fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos ou organominerais são classificados com base nas matérias primas utilizadas em sua produção, sendo: Classe A: fertilizante orgânico que em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou do processamento da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produtos de utilização segura na agricultura; Classe B: fertilizantes orgânicos de atividade industrial ou agroindústria que utiliza em sua produção metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, mas resulta em produtos de utilização segura na agricultura; Classe C: fertilizante orgânico que em sua produção utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do lixo domiciliar, resultando em produtos de utilização segura na agricultura e Classe D: fertilizante orgânico que em sua produção utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produtos de utilização segura na agricultura (MAPA, 2009).

Já Instrução Normativa SDA nº 27, de 5 de junho de 2006, do MAPA (Alterada pela IN SDA nº 7, de 12/04/2016, republicada em 02/05/2016), dispõe sobre a importação ou comercialização, para a produção, de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes (MAPA, 2009). Nela são estabelecidos os limites sobre os valores máximos admitidos de contaminantes para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas, com tolerâncias limitadas a 30% (com exceção dos limites estabelecidos como ausente) dos valores definidos na resolução, para os resultados analíticos. Nos anexos IV e V da IN, que seguem abaixo, são apresentados os limites máximos de contaminantes admitidos em substrato para plantas, fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo.

## ANEXO IV - Limites máximos de contaminantes admitidos em substrato para planta

Contaminante	Valor máximo admitido
Sementes ou qualquer material de propagação de ervas daninhas	0,5 planta por litro, avaliado em teste de germinação
As espécies fitopatogênicas dos Fungos do gênero <i>Fusarium</i> , <i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Rhizoctonia</i> e <i>Sclerotinia</i>	Ausência
Arsênio (mg/kg)	20,00
Cádmio (mg/kg)	8,00
Chumbo (mg/kg)	300,00
Cromo (mg/kg)	500,00
Mercurio (mg/kg)	2,50
Níquel (mg/kg)	175,00
Selênio (mg/kg)	80,00
Coliformes termotolerantes - número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	1.000,00
Ovos viáveis de helmintos - número por quatro gramas de sólidos totais (n° em 4g ST)	1,00
Salmonella sp	Ausência em 10g de matéria seca

FONTE: MAPA (2006).

Os valores constantes dos Anexos IV e V deverão ser revistos em até quatro anos, contados da data de publicação da presente Instrução Normativa.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 de 12 de fevereiro de 2010 apresenta os princípios, objetivos e instrumentos, e também as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos.

Em relação a utilização dos resíduos orgânicos, a referida Lei indica em seu art. 36, inciso V, a implantação de sistemas de compostagem para resíduos sólidos urbanos e a articulação com os agentes econômicos e sociais para a utilização do composto produzido, sendo estas obrigações dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana.



ANEXO V - Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo

Contaminante		Valor máximo admitido
Arsênio (mg/kg)		20,00
Cádmio (mg/kg)		3,00
Chumbo (mg/kg)		150,00
Cromo hexavalente (mg/kg)		2,00
Mercúrio (mg/kg)		1,00
Níquel (mg/kg)		70,00
Selênio (mg/kg)		80,00
Coliformes termotolerantes número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)		1.000,00
Ovos viáveis de helmintos - número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4g ST)		1,00
<i>Salmonella</i> sp		Ausência em 10g de matéria seca
Materiais inertes	Vidros, plásticos, metais > 2 mm	0,5% na massa seca
	Pedras > 5mm	5,0% na massa seca

FONTE: MAPA (2006).

A recomendação de implantação de sistemas de compostagem para os resíduos orgânicos urbanos, colabora expressivamente com a diminuição dos rejeitos enviados para os aterros sanitários e também com o melhor aproveitamento da matéria orgânica e dos nutrientes, presentes no composto orgânico, que serão utilizados na agricultura e não mais desperdiçados nos aterros.

## 8. REFERÊNCIAS

- Alves TS Campos LL, Elias Neto N, Matsuoka M, Loureiro MF. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta Scientiarum Agronomy* 33: 341-347, 2011.
- Andreazzi MA, Santos J MG, Lazaretti RMJ. Destinação dos resíduos da suinocultura em granjas das regiões noroeste e sudoeste do Paraná. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria* 19: 744-751, 2015.
- Araújo EA, Ker JC, Neves JCL, Lani JL. Qualidade do solo: conceitos, indicadores biológicos de qualidade do solo. *Uberlândia. Bioscience Journal* 23: 66-75, 2007.
- Araújo EF, Aguiar AS, Arauco AMS, Gonçalves EO, Almeida KNS. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. *Nativa* 5: 16-23, 2017.
- Assis EPM, Cordeiro MAS, Paulino HB, Carneiro MAC. Efeito da aplicação de nitrogênio na atividade microbiana e na decomposição da palhada de sorgo em solo de cerrado sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 33: 107-112, 2003.
- Baldotto MA, Baldotto LEB. Gladiolus development in response to bulb treatment with different concentrations of humic acids. *Revista Ceres* 60: 138-142, 2013.
- Berilli SS, Zooca AAF, Rembinski J, Salla PHH, Almeida JD, Martineli L. Influência do acúmulo de cromo nos índices de compostos secundários em mudas de café conilon. *Coffee Science* 11: 512-520, 2016.
- Brasil. Lei n. 6894, de 16 de dezembro de 1980. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília: 1980. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1980-1988/L6894.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/L6894.htm)>. Acesso em: 31 de Jun de 2017.
- Brasil. Lei n. 6894, de 16 de dezembro de 1980. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília: 1980. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1980-1988/L6894.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/L6894.htm)>. Acesso em: 31 de Jun de 2017.
- Brasil. Lei n. 9.605, de 12 de Fevereiro de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e dá outras Providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília: 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 31/06/2017.
- Brasil. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, set. 2011. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/253/\\_publicacao/253\\_publicacao02022012041757.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf), acessado em 04/08/2017.

- Brasil. Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 agosto. 2010. Disponível em: <[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/.../lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/.../lei/l12305.htm)> Acesso em: 07/08/2017.
- Caldeira MVW, Rosa GN, Fenilli TAB, Harbs RMP. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. *Scientia Agraria* 9: 27-33, 2008.
- Caldeira MVW, Schumacher MV, Barrichello R, Vogel HLM, Oliveira LS. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. *Revista Floresta* 28: 19-30, 2000.
- Carmelo AD. Uso da fração orgânica de lixo urbano como substrato de biodigestor e como matéria-prima para formação de mudas de quaresmeira (*Tibouchina graulosa*) com duas lâminas de irrigação. Jaboticabal, Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. 2010. 53p.
- Cassol PC, Cidral CA, Ciprandi O, Pandolfo CM, Ernani PR. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em latossolo fertilizado com dejetos suíno. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 36: 1911-1923, 2012.
- Cepea - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. PIB Agro CEPEA-USP/CNA, jan/dez 2017. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/>. Acesso em: 04/08/2017.
- Chaer GM, Tótola MR. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma plantios eucalipto sobre indicadores qualidade solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31: 1381- 1396, 2007.
- Christensen BT. Physical fractionation of soil e organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in soil science* 20: 1-90, 1992.
- Cna: Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. <http://www.cnabrazil.org.br/noticias/cna-aponta-investimentos-dos-produtores-em-tecnologia>. Acessado em 04/08/2017.
- Conama. Resolução nº. 375 de 29 de agosto de 2006. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília: 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 31/06/2017.
- Conama. Resolução nº. 375 de 29 de agosto de 2006. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília: 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 31/06/2017.
- Costa EM, Silva HF, Ribeiro PRA. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. *Enciclopédia Biosfera* 9: 1842-1860, 2013.

- Cunha AO, Andrade LA, Bruno RLA, Silva JAL, Souza VC. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex DC) Standl. *Revista Árvore* 29: 507-516, 2005.
- Cunha TJF, Mendes AMS, Giondo V. Matéria orgânica do solo. In: Nunes, RR, Rezende M OO. (Org.). *Recurso solo: propriedades e usos*. São Carlos: Cubo, 2015. p. 273-293.
- Delarme-Lina WM, Faria JCT, Gonçalves EO. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Revista Agroambiente* 7: 184-192, 2013.
- Fabbris, C. Dejeito líquido de suínos manejos de solo na sucessão aveia/milho/trigo duplo propósito/soja (Dissertação de mestrado). Universidade federal de Santa Maria 2013. 59p.
- Faria JCT, Caldeira MVW, Delarmelina WM, Rocha RLF. Substratos alternativos na produção de mudas de *Mimosa setosa* Benth. *Ciência Florestal* 26: 1075-1086, 2016
- Florianópolis. *Ciência do solo: para quê e para quem? Anais...* Florianópolis: SBCS, 2013. Disponível em <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstre> estação de tratamento de efluentes de parboilização do arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35: 543-550, 2011.
- Gama-Rodrigues EF, Gama-Rodrigues AC. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: Santos GA, Silva LS, Canelas LP, Camargo FAO. *Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.159-170.
- Gonçalves EO, Petri GM, Caldeira MVW, Dalmaso TT, Silva AG. Crescimento de mudas de *Ateleia glazioviana* em substratos contendo diferentes materiais orgânicos. *Revista Floresta e Ambiente* 21: 339-348, 2014.
- Graham MH, Haynes RJ, Meyer JH. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 93-102, 2002.
- Guerra JGM, Santos GDA, Silva LD, Camargo FDO. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: Santos GDA, Silva LD, Canelas LP, Camargo FDO. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2 ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 19-26p.
- Holanda JS. *Esterco de curral: Composição, preservação e adubação* (Documentos, 17). Natal, EMPARN, 1990. 69p.
- Junkes MB. *Procedimentos para aproveitamento de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte*. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Santa Catarina. 2002. 116p.

- Krause, M.R.; Lo Monaco, P.A.V.; Haddade, I. R.; Meneghelli, L.A.M.; Souza, T.D. Aproveitamento de resíduos agrícolas na composição de substratos para produção de mudas de tomateiro. *Horticultura Brasileira*, 35:305-310, 2017.
- Lima LKS, Moura MDCF, Santos CC, Nascimento KPN, Dutra AS. Produção de mudas de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva Allemão*) em resíduos orgânicos. *Ceres* 64: 1-11, 2017.
- Mapa. Instrução Normativa nº 25, de 05 DE 23 de julho de 2009. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diário Oficial da União, Brasília: 2009. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.dome thod=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186>>. Acesso em: 31/06/2017.
- Mapa. Instrução Normativa nº 27, 05 de junho de 2006. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diário Oficial da União, Brasília: 2006. Seção 1, Página 15. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumosagropecuarios/insumos agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf>>. Acesso em: 31/06/2017.
- Monokrousos N, Papatheodorou EM, Diamantopoulos JD, Stamou GP. Soil quality variables in organically and conventionally cultivated field sites. *Soil Biology & Biochemistry* 38:1282-1289, 2006.
- Müller D, Camili EC, Guimarães SC, Campos DTS, Martins ME, Barros KC. Biomassa e atividade microbiana do solo sob aplicação de resíduos orgânicos. *Revista Internacional de Ciências* 4: 71- 82, 2014
- Nakatani AS, Martines AM, Nogueira MA, Fagotti DSL, Oliveira AG, Bini D, Sousa JP, Cardoso EJBN. Changes in the genetic structure of bacteria and microbial activity in an agricultural soil amended with tannery sludge. *Soil Biology & Biochemistry* 43:106-114, 2011.
- Nascimento PCD, Lani JL, Mendonça EDS, Zoffoli HJDO, Peixoto, HTM. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. *Revista Brasileira de ciência do solo* 34: 339-348, 2010.
- Nogueira Filho GC, Roncatto G, Ruggiero C, Oliveira JC, Malheiros EB. Produção de mudas de maracujazeiro-amarelo por enxertia hipocotiledonar sobre sete espécies de passifloras. *Revista Brasileira de Fruticultura* 33: 237-245, 2011.
- Nogueira MA. Aplicação de resíduos ao solo: a microbiologia pode ajudar no monitoramento? Brasília: Embrapa Soja, 2013. 34p.
- Oliveira, JGR; Tavares Filho, J; Barbosa, GMC. Alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais. *Geographia Opportuno Tempore* 2: 66-80, 2016.

- Oliveira PAV, Higarashi M M. Unidade de compostagem para o tratamento dos dejetos de suínos. Documento 114. Concórdia. Embrapa Suínos e Aves 2006. Disponível em <http://www.google.com.br/url?url=http://www.cnpa.embrapa.br/down.php> . Acessado em 25/07/2017.
- Passianoto CC, Castilhos DD, Castilhos RMV, Lima ACR, Lima CL. Atividade e biomassa microbiana no solo com a aplicação de dois diferentes lodos de curtume. Revista Brasileira de Agrociência 7: 125-130, 2001.
- Portugal AF, Jucksch I, Schaefer CEGR, Wendling B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. Revista Brasileira de ciência do Solo 32: 2091-2100, 2008.
- Prá, Marcos Antonio Dai. Desenvolvimento de um sistema de compostagem para tratamento de dejetos suínos. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Pelotas. 2009 Disponível em: [www.ufpel.tche.br/faem/zootecnia/dissertacoes\\_teses/resumos/msc/Da\\_i\\_pra.pdf](http://www.ufpel.tche.br/faem/zootecnia/dissertacoes_teses/resumos/msc/Da_i_pra.pdf). Acesso em: 08/09/2017.
- Rizzoni LB, Tobias ACT, Del Bianchi M, Garcia JAD. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária 9: 1-20, 2012.
- Sales RA, Ambrozim CS, Vitória YT, Sales RA, Berilli SS. Influência de diferentes fontes de matéria orgânica no substrato de mudas de *Passiflora Morifolia*. Enciclopédia Biosfera 13: 606-615, 2016.
- Sampaio, EVB, Oliveira, NMB, Nascimento, PRF. Eficiência da adubação orgânica com esterco bovino e com *Egeria densa*. Revista Brasileira Ciência do Solo 31:995-1002, 2007.
- Sampaio DB, Araújo ASF, Santos VB. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. Ciência e Agrotecnologia 32: 353-359, 2008.
- Santos CA, Panchoni LC, Bini D, Kuwano B, Carmo KB, Silva SMCP, Martines, AM, Andrade G, Andrade DS, Cardoso EJBN, Zangaro W, Nogueira MA. Land application of municipal landfill leachate: fate of ions and ammonia volatilization. Journal of Environmental Quality 42:523- 531, 2013.
- Severino, L. S.; Costa, F. X.; Beltrão, N. E. de M.; Lucena, A. M. A. de; Guimarães, M. M. B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. Revista de Biologia e Ciência da Terra 5: 54-59, 2005.
- Sheer MB, Carneiro C, Bressan AO, Santos KG. Produção de mudas de *Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes) Landrum com lodo de esgoto. Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais 11: 59-S66, 2013.

- Silva JPS, Nascimento CWA, Silva DJ, Cunha KPV, Biondi CM. Alterações na fertilidade dos solos e teores foliares de nutrientes em cultivos de mangueira no Vale do São Francisco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 9: 42-48, 2014.
- Silveira APD, Freitas SS. Microbiota do solo e qualidade ambiental. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. 312 p.
- Souza ED, Costa, SEVGA, Anghinoni I, Lima CVS, Carvalho PCF, Martins AP. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 34:79-88, 2010.
- Torres, G. A.; Tarifa, L. R. M. Aproveitamento de Resíduos Agrícolas Universidade de São Paulo – USP. Dossiê Técnico, disponível em: <http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTcwMQ>. Acesso em 21/08/2017.
- Venzke Filho SP, Feigl BJ, Piccolo MC, Siqueira Neto M, Cerri CC. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais - Tibagi, PR. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 599-610, 2008.
- Vezzani FM, Mielniczuk J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33: 743-755, 2009.
- Vieira GD, Castilhos DD, Castilhos RMV. Atributos microbianos do solo após a adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes de parboilização do arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35: 543-550, 2011.

## CAPÍTULO 2

# USO DO SOLO EM SISTEMAS ORGÂNICOS DE PRODUÇÃO

Otacílio José Passos Rangel  
Renato Ribeiro Passos  
Anarely Costa Alvarenga

### 1. INTRODUÇÃO

A Revolução Verde, na década de 70, foi um marco para agricultura brasileira. Os pacotes tecnológicos impostos por esse modelo de agricultura aumentaram de forma expressiva a produção de alimentos. No entanto, ao longo dos anos de cultivo esse modelo de agricultura mostrou-se totalmente inadequado para nossas condições climáticas.

Os pacotes tecnológicos impostos pela Revolução Verde apregoam o preparo intensivo do solo, uso de adubos de alta solubilidade e agrotóxicos, técnicas que tem provocado incontestáveis problemas ambientais, com destaque para a perda de matéria orgânica, o que tem impactado negativamente a qualidade química, física e biológica dos solos brasileiros.

Diante desse problema, tem crescido no Brasil movimentos em prol da conservação dos solos e produção de alimentos livre de agrotóxicos. Esses fatos têm provocado mudanças nos sistemas de produção agrícola. Nesse cenário, o sistema orgânico de produção vem se destacando como uma alternativa à agricultura convencional, uma vez que é baseado em princípios ecológicos e de conservação dos recursos naturais.

A base do sucesso do sistema orgânico é um solo bem estruturado, fértil, com macro e micronutrientes disponíveis às plantas em quantidades equilibradas, com bom teor de matéria orgânica, água, ar e boa atividade biológica, pois é o solo e não o adubo que deve nutrir a planta. Além disso, o solo deve estar sempre coberto para evitar erosão. A biodiversidade de seus componentes é um preceito básico para a agricultura orgânica.



Assim, a identificação de sistemas agrícolas, que envolvam a rotação/sucessão de culturas e o manejo correto do solo por meio do seu preparo, pode determinar a melhor prática agrícola que favoreça a biodiversidade da exploração orgânica. A rotação/sucessão de culturas é uma prática importante para a manutenção da capacidade produtiva dos solos nos sistemas agrícolas tropicais, caracterizados por sua alta taxa de intemperismo, distrofia, acidez e presença de alumínio tóxico.

Diante da relevância do tema, o objetivo deste capítulo é abordar, de forma concisa, a influência da adoção de sistemas orgânicos de produção sobre a qualidade química, física e biológica do solo.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO ORGÂNICO

Nos dias atuais, a conscientização da população sobre a necessidade de adoção de um estilo de vida saudável, tem alavancado a procura por alimentos produzidos de forma orgânica. De acordo com Alencar et al. (2013), esse é um nicho de mercado promissor, pois os alimentos produzidos nos moldes orgânicos possuem ótima aceitação pelo consumidor observando-se, em alguns casos, uma demanda maior do que a oferta.

Apesar da relevância, no Brasil a produção orgânica é um tema controverso, gerando, muitas vezes, confusão e interpretações errôneas, prejudicando o entendimento dos consumidores sobre o que realmente é um alimento produzido de forma orgânica.

Para o real entendimento do que seria a produção orgânica, faz-se necessário relembrar o conceito de Agroecologia. Segundo Caporal e Costabeber (2004), a agroecologia é uma ciência que define os parâmetros para a construção de estilos de agriculturas sustentáveis. É um campo do conhecimento em construção, mas já comprova que é possível produzir alimentos de forma satisfatória sem degradar o meio ambiente, ampliando a inclusão social, além de fortalecer a segurança alimentar e nutricional, com a oferta de alimentos sem resíduos de agrotóxicos.

Considerando o enfoque holístico da Agroecologia, surgiram diferentes correntes ou métodos de agricultura como: agricultura

biodinâmica, agricultura biológica ou agrobiologia, permacultura, agricultura natural e a agricultura orgânica, essa última é que, atualmente, é mais difundida e praticada no Brasil.

Os sistemas orgânicos de produção agrícola seguem os princípios básicos do manejo ecológico. Tudo é organizado tentando-se imitar a natureza; o agricultor está presente como um administrador ecológico da produção. A propriedade é fragmentada em glebas limitadas por cordões de vegetação de gramíneas ou quebra-ventos de árvores servindo, inclusive, como refúgios para insetos benéficos, controle da erosão e áreas de ciclagem de nutrientes (ALENCAR et al., 2013).

Muñoz et al. (2016) relatam que nas propriedades sob manejo orgânico são adotadas práticas conservacionistas do solo que minimizam os impactos ambientais gerados pelas atividades agrícolas, mantendo a sustentabilidade dos agroecossistemas. Esses pesquisadores ressaltam que na agricultura orgânica não é permitido o uso de agrotóxicos, hormônios sintéticos, produtos transgênicos, medicamentos e adubos industrializados de alta solubilidade.

Segundo Alencar et al. (2013), a agricultura orgânica não deve ser vista apenas como atividade agrícola que proíbe a utilização de adubos e defensivos industrializados. É preciso ter uma visão ampla, compreendendo que produzir de forma orgânica traz benefícios para todos os elos da cadeia produtiva, impactando positivamente nas relações trabalhistas e na saúde do homem do campo, buscando atingir um padrão sustentável de produção.

Atualmente no Brasil, os sistemas de produção orgânico são adotados, principalmente, por agricultores familiares, por sua adequação às características das pequenas propriedades com gestão familiar, pela diversidade de produtos cultivados em uma mesma área, pela menor dependência de recursos externos, com maior absorção de mão de obra familiar e menor necessidade de capital (SEDUYAMA et al., 2014). De acordo com o Ministério da Agricultura (MAPA, 2017), 75% dos produtores cadastrados no CNPO (Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos) são agricultores familiares.

O mercado de orgânicos está em franca ascensão no Brasil, o que tem estimulado a adesão de agricultores de várias regiões

brasileiras a converter o sistema convencional para orgânico. Em 2017, a área de produção orgânica no país deve ultrapassar os 750 mil hectares registrados em 2016. No ranking das regiões que mais produzem alimentos orgânicos, o Sudeste fica em primeiro lugar, totalizando 333 mil hectares e 2.729 unidades agrícolas registrados no Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos (CNPO) (MAPA, 2017).

A criação de políticas públicas de incentivo à agricultura de base agroecológica é a responsável pelo incremento do número de agricultores familiares voltados para a produção orgânica. Dentre essas políticas, o Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (Planapo) tem como objetivos fortalecer a produção agrícola de base agroecológica e orgânica, ampliar a oferta e o consumo de alimentos saudáveis, apoiar o uso sustentável dos recursos naturais e disseminar o conhecimento em agroecologia, de forma a promover a melhoria da qualidade de vida da população brasileira do campo e das cidades.

No Brasil, os sistemas de produção orgânico são regulamentados pela lei. 10.831 de 23 de dezembro de 2003. Além dessa lei, foram criadas diversas normativas visando gerenciar e impor regras ao mercado de produtos orgânicos, objetivando o processo de certificação. Caldas et al. (2012) explicam que a certificação é um instrumento que permite garantir ao consumidor a qualidade do produto orgânico, assegurando que durante a cadeia de produção houve respeito e proteção ao meio ambiente, o bem-estar animal e o comércio justo.

De acordo com informações fornecidas pelo Ministério da Agricultura (MAPA, 2017), o número de propriedades rurais certificadas para produção de alimentos orgânicos teve um crescimento expressivo nos três últimos anos, passando de 6.700 mil unidades (2013) para aproximadamente 19.970 (2017).

Pesquisa realizada por Alencar et al. (2013) demonstrou que as propriedades sob sistema de cultivo orgânico certificado diferenciam-se em vários pontos de propriedade rurais sob sistema convencional. As principais diferenças entre os referidos sistemas de produção agrícola estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Principais diferenças entre o sistema de cultivo orgânico certificado e convencional

<b>Características</b>	<b>Cultivo Orgânico certificado</b>	<b>Cultivo Convencional</b>
Planejamento da propriedade	Realizada com enfoque na manutenção da sustentabilidade da produção	Planejamento convencional
Manejo do solo	Visa elevar os teores de matéria orgânica do solo e equilíbrio com o meio ambiente	Desvinculação com limitação da fertilidade do solo. Exaustão do solo
Culturas implantadas	Diversificação e rotação de culturas	Monoculturas
Relação com meio ambiente	Dependência contínua do meio ambiente	Relação de dominação
Dependência de insumos externos	Mínimo	Total
Mercado	Restrito	Amplio
Qualidade dos produtos	Preferência dos consumidores esclarecidos	De ampla aceitação devido ao preço e oferta do produto
Custo energético da produção	Baixo custo energético	Alto custo energético
Qualidade de vida do trabalhador rural	Melhores condições de trabalho e não há contaminação por agrotóxicos	Baseado na exploração do trabalho, alta incidência de problemas de saúde, causado pelo uso abusivo de agrotóxicos

Um dos aspectos mais relevante nos sistemas de produção orgânica é a baixa dependência de insumos externos, de forma que essas propriedades funcionem como unidades quase autônomas, o que pode ser atribuído à forma organizada e planejada de uso dos recursos existentes (ALENCAR et al., 2013).

### 3. MANEJO ORGÂNICO DO SOLO

No sistema de manejo convencional, o solo é visto apenas como um suporte físico para desenvolvimento das plantas e a nutrição fica a cargo da utilização dos adubos de alta solubilidade. Nesses sistemas, as práticas de manejo do solo são baseadas principalmente nos processos de aração e gradagem, técnicas essas que favorecem o decréscimo do teor de matéria orgânica do solo e, concomitantemente, redução da microbiota. Sem a atuação da matéria orgânica e dos microrganismos benéficos, o solo desagrega, compacta e endurece (PRIMAVESI, 2008).

A desagregação do solo, reduzindo macro e microporos, afeta a taxa de infiltração e retenção de água no solo. De acordo com Primavesi (2008), um solo bem agregado e com intensa atividade microbiana, por exemplo, apresenta taxas de infiltração de 100 até 400 mm/h. No entanto, essas taxas podem ser reduzidas para 7 a 8 mm/h quando solo é manejado de forma não conservacionista. Essas baixas taxas de infiltração de água no solo agravam ainda mais o problema da falta de água doce, pois os lençóis freáticos não são devidamente reabastecidos.

Na contramão da agricultura convencional, os sistemas de produção orgânico consideram o solo como o centro do processo produtivo. Essa forma de produção agrícola prioriza a utilização de práticas conservacionistas, visando à melhoria da qualidade do solo, por meio do revolvimento mínimo e do aumento dos teores de matéria orgânica e da atividade biológica (ALCÂNTARA e MADEIRA, 2008).

O manejo ecológico dos solos, através da adoção de práticas conservacionistas de manejo, tem como função minimizar os impactos causados pela produção agrícola. Para essa finalidade, são utilizadas técnicas de cultivo que promovem o equilíbrio dos atributos físicos e químicos do solo, aumentando a atividade microbiológica.

De modo geral, na agricultura orgânica as principais práticas conservacionistas do solo e, conseqüentemente, da água, utilizadas são: plantas de cobertura, adubos verdes, rotação/sucessão de culturas e técnicas conservacionistas de preparo do solo (GOMES et al., 2008).

### 3.1 Plantas de cobertura

Nos sistemas orgânicos de produção, a utilização de plantas de cobertura é uma técnica de relevância para a manutenção da sustentabilidade desses sistemas conservacionistas (COSTA et al., 2015). A manutenção da cobertura vegetal acarreta inúmeros benefícios para a qualidade do solo e para a preservação dos mananciais hídricos.

De acordo com Primavesi (2008), a cobertura vegetal funciona como uma barreira mecânica, impedindo o impacto da gota de chuva no solo e, conseqüentemente, reduzindo os efeitos da erosão. Além disso, um maior percentual da água das chuvas infiltra no solo, reduzindo escoamento superficial, aumentando o reservatório de água no solo e o abastecimento dos lençóis freáticos.

Trabalho realizado por Cruz et al. (2016) ressaltou que a cobertura do solo melhora ou mantém a capacidade de infiltração de água no solo. O aumento do teor de matéria orgânica propiciado por essa técnica reduz a desagregação das partículas, evitando o selamento superficial. A cobertura morta sobre o solo, durante todo ano, evita a ação direta de raios solares, reduzindo a evaporação e, conseqüentemente, mantendo maior quantidade de água disponível no solo. Além disso, auxilia no controle de plantas daninhas, pela supressão ou efeito alelopático.

De acordo com Quaresma et al. (2017), a utilização de plantas de cobertura é uma importante técnica de proteção do solo, que se traduz em inúmeros benefícios como o aumento no teor de matéria orgânica, retenção de água no solo, ciclagem de nutrientes e redução das variações de temperatura do solo, melhorando assim a eficiência produtiva dos sistemas agrícolas orgânicos.

As plantas de cobertura aportam sobre o solo elevadas quantidades de resíduos vegetais. Esse material tem papel fundamental na agregação do solo, contribuindo para formação de macro e microagregados (SANTOS et al., 2012). Essa melhor estruturação do solo contribui para infiltração de água, diminuindo as perdas de água e solo pelos processos erosivos.

As leguminosas, denominadas como espécies da família Fabaceae, geralmente são as mais utilizadas para cobertura do solo

em sistemas orgânicos de produção, devido a maior ciclagem de nutrientes que essas propiciam. As gramíneas, também conhecidas como família Poaceae, também são muito utilizadas devido ao seu rápido crescimento e grande produção de biomassa (ANDRIOLI e PRADO, 2012). No entanto, é preciso ter cautela na escolha das espécies vegetais que serão utilizadas para tal finalidade. É preciso escolher plantas adaptadas às condições climáticas locais (COSTA et al., 2015) e que não sejam hospedeiras de pragas e doenças. É desejável que as plantas de cobertura possuam rápido crescimento, grande produção de biomassa e capacidade de absorver e acumular nutrientes presentes em diferentes profundidades do solo.

Como foi exposto acima, o principal objetivo da utilização de plantas de cobertura em sistemas orgânicos é evitar a erosão do solo e aumentar a captação de água pelo mesmo, para tal finalidade é preciso que o solo se mantenha protegido pela cobertura vegetal durante todo ano. Dessa forma, a durabilidade dos restos vegetais sobre o solo deve ser considerada. A relação C/N é um dos fatores que define a velocidade de decomposição desses materiais. Segundo Costa et al. (2015), pode se agrupar os resíduos de espécies vegetais em dois grupos: i) os resíduos de Fabaceae, que se decompõem mais rapidamente, pois possuem uma relação C/N abaixo de 25/1 e, ii) os resíduos de Poaceae, que permanecem mais tempo sobre o solo, devido à relação C/N superiores a 25/1.

### 3.2 Adubação verde

Nas unidades de produção orgânica a adubação verde é vista como uma importante estratégia para aumentar a produtividade das culturas e manter os solos produtivos e equilibrados. A técnica consiste no cultivo de plantas que ao atingirem certa altura são fragmentadas, permanecendo sobre o solo ou são incorporadas ao mesmo. A mineralização dessa massa vegetal afeta positivamente os atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Nos sistemas orgânicos de produção, as espécies da família Fabaceae são geralmente as escolhidas para serem utilizadas na adubação verde, pois essas são capazes de incorporar grande quantidade de N nos sistemas produtivos. As entidades certificadoras de orgânicos proíbem a utilização de fontes de N

provenientes de matérias não renováveis. Por essa razão, nos sistemas orgânicos as espécies desta família são utilizadas com o intuito principal de fornecer N às plantas de interesse comercial. A tabela 2 apresenta algumas espécies da família Fabaceae utilizadas nos sistemas orgânicos de produção, assim como a quantidade de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) que essas alocam ao solo (DERPSCH e CALEGARI, 1992; MATEUS e WUTKE, 2006).

Tabela 2. Potencial de fixação de nitrogênio por algumas espécies da família Fabaceae utilizadas como adubo verde na agricultura orgânica.

Nome científico	Nome comum	N fixado ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
<i>Cajanus cajan</i>	Feijão-guandu	37 - 280
<i>Canavalia ensiformis</i>	Feijão-de-porco	49 - 190
<i>Crotalaria breviflora</i>	Crotalária breviflora	98 - 160
<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalária juncea	150 - 450
<i>Crotalaria mucronata</i>	Crotalária mucronata	80 - 160
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	Crotalária ochroleuca	133 - 200
<i>Crotalaria spectabilis</i>	Crotalária spectabilis	60 - 120
<i>Dolichos lab-lab</i>	Labe labe	66 - 180
<i>Lathyrus sativus</i>	Chícharo	80 - 100
<i>Lupinus albus</i>	Tremoço branco	128 - 268
<i>Mucuna aterrima</i>	Mucuna preta	120 - 210
<i>Mucuna cinereum</i>	Mucuna cinza	170 - 210
<i>Mucuna deeringiana</i>	Mucuna anã	50 - 100
<i>Vicia sativa</i>	Ervilhaca	90 - 180

Segundo Torres et al. (2008), a adubação verde com espécies da família Fabaceae é de grande relevância pois possibilita a substituição das fontes de N sintéticas, promovendo uma liberação lenta e gradual desse nutriente. Geralmente, estas espécies apresentam raízes longas, extraindo nutrientes nas camadas mais profundas do solo e os retornando para a superfície (SILVA et al., 2014). Além do mais, as raízes são responsáveis pela melhoria nos atributos físicos do solo, descompactando e criando bioporos por onde a água infiltra mais facilmente.

De acordo com Silva et al. (2011), as vantagens da utilização da adubação verde nos sistemas orgânicos não se resume apenas no fornecimento de N. Essa prática também representa uma alternativa interessante ao fornecimento de outros nutrientes, proporcionando cobertura do solo, reduzindo riscos de erosão e



diminuindo a competição da cultura de interesse com as plantas espontâneas.

### 3.3 Rotação e sucessão de culturas

Lourenço Jr et al. (2016) alertam sobre a importância de não confundir rotação e sucessão de culturas. De acordo com esses pesquisadores, a rotação de culturas pode ser definida como a alternância anual de espécies vegetais, preferencialmente de famílias distintas, no mesmo local e na mesma estação de cultivo. Já sucessão de culturas refere-se ao estabelecimento em sequência de duas ou mais espécies de plantas na mesma área de cultivo em período igual ou inferior a um ano.

As técnicas de sucessão e rotação contribuem para proteção do solo e da água em sistemas orgânicos. Observa-se que a alternância de culturas em uma mesma área é de grande relevância para manutenção da sustentabilidade. A sucessão e a rotação de culturas contribuem para o aumento do teor de matéria orgânica do solo, principalmente na camada superficial, o que tem efeito direto na interceptação das gotas de chuva, evitando o impacto direto sobre a superfície do solo, reduzindo a desagregação das partículas, que é a fase inicial do processo erosivo. Além disso, a cobertura vegetal reduz a velocidade de escoamento das enxurradas aumentando o tempo e a capacidade de infiltração da água das chuvas (CRUZ et al., 2016).

De acordo com Wadt et al. (2003) a rotação e a sucessão de culturas são técnicas que exigem ampla avaliação antes de serem implantadas nos sistemas de cultivo orgânico. Visando a obtenção de benefícios para solo, os produtores devem tomar as seguintes precauções:

- Fazer a combinação de espécies vegetais com diferentes exigências nutricionais;
- Escolha de espécies que apresentem grande produção de biomassa;
- Alternar espécies que os sistemas radiculares explorem diferentes profundidades do solo;
- Alternância de uma cultura de alta relação carbono/nitrogênio (C/N), como as espécies da família

Poaceae, com outra de baixa relação C/N, como espécies da família Fabaceae, visando obter um equilíbrio entre quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos.

### 3.4 Técnicas conservacionistas de preparo do solo

A adoção de práticas conservacionistas de preparo do solo em sistema orgânicos de produção visa diminuir ou minimizar a ação dos processos erosivos, dessa forma conciliando a atividade econômica com a preservação dos recursos naturais do solo e da água (WADT et al., 2003).

O preparo do solo nos cultivos orgânicos deve ser conservacionista, priorizando a movimentação mínima do terreno. Recomenda-se que sejam feitas as operações de aração e gradagem apenas no primeiro ano e que, nos anos seguintes, se utilize mecanização reduzida, mantendo o solo coberto e realizando o novo plantio sem que seja feito um novo preparo (ALCÂNTARA e MADEIRA, 2008).

As normativas referentes à produção orgânica preconizam a substituição dos adubos sintéticos pelos adubos naturais, mas essas normas não relatam como deve ser feito as práticas de manejo do solo. Geralmente, nos sistemas orgânicos de produção observa-se um intenso revolvimento do solo, fator que causa muitos malefícios à qualidade do solo (PRIMAVESI, 2008; FERREIRA et al., 2011).

O revolvimento do solo é um dos principais agentes causadores do decréscimo dos teores de matéria orgânica nas terras agricultáveis. Essas perdas ocorrem, principalmente, devido à maior oxigenação do solo, o que favorece o desenvolvimento de uma microbiota que rapidamente oxida grandes volumes de matéria orgânica (PRIMAVESI, 2008). Outro fator consiste na perda da proteção física da matéria orgânica contida no interior dos agregados, expondo esse material à ação dos microrganismos decompositores (CRITTENDEN et al., 2015).

O revolvimento excessivo do solo promove a destruição dos agregados do solo, acelerando a decomposição e a perda da matéria orgânica. As práticas conservacionistas mais recomendadas para o preparo do solo nos sistemas orgânicos são o plantio direto, plantio com preparo reduzido, plantio em curva de nível, faixas de retenção,

adubação verde e a construção de terraços (GOMES et al., 2008; ALCÂNTARA e MADEIRA, 2008).

A adoção do sistema de plantio direto é uma importante estratégia para manutenção da sustentabilidade nos sistemas orgânicos de produção. Para sua viabilização técnica e econômica, o plantio direto deve ser visto como um sistema de produção que abrange um complexo ordenado de práticas agrícolas inter-relacionadas e interdependentes, que incluem o não revolvimento do solo, a rotação de culturas e o uso de plantas de cobertura, contribuindo para manutenção da palhada sobre o solo (CRUZ et al., 2016).

De acordo com Derpsch e Franzluebbers (2014), os efeitos benéficos do plantio direto só são observados quando essa prática é adotada em conjunto com outras técnicas, como a sucessão de culturas, adubação verde e a cobertura permanente do solo.

Durante o plantio direto os atributos físicos do solo são menos alterados, pois o solo não é revolvido. O semeio da cultura de interesse é realizado diretamente sobre os restos culturais da lavoura anterior, ou sobre restos vegetais provenientes da adubação verde ou de plantas espontâneas. A adoção dessa técnica promove benefícios com o aumento do estoque de carbono, diminui a infestação de plantas espontâneas, reduz a compactação, diminui a temperatura do solo e propicia maior economia de água (FERREIRA et al., 2011).

A ausência de revolvimento e a adição de resíduos de culturas provocam um efluxo de carbono contínuo no solo, alimentando os seus diferentes compartimentos (ativo e lento) e os processos de reagregação das partículas, originando estruturas mais estáveis no solo. Durante esses processos ocorre aumento da atividade biológica, com manutenção da sua diversidade, ciclagem e armazenamento de nutrientes, com manutenção do ciclo hidrológico e aumento da capacidade produtiva do solo (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

De acordo com Silva et al. (2008), uma das premissas básicas do plantio direto é a adoção da sucessão de culturas, preferencialmente mesclando-se culturas comerciais como soja, milho, arroz, feijão e sorgo, com adubos verdes como crotalárias, mucunas, feijão-guandu e milheto, proporcionando recobrimento

eficiente do solo, além de elevada ciclagem de nutrientes e possibilidade de aumentos na produtividade das culturas.

Conforme já mencionado, para se obter sucesso com o plantio direto em sistemas orgânicos é indispensável a adoção de esquema de rotação de culturas, o qual deve promover na superfície do solo a manutenção permanente de uma quantidade mínima de palhada, que nunca deverá ser inferior a 2,0 toneladas por hectare de matéria seca. Além do mais é preciso prestar atenção em alguns detalhes como: combinação de espécies com diferentes exigências, sistemas radiculares que explorem diferentes profundidades, quantidade e composição da biomassa vegetal produzida (CRUZ et al., 2016).

#### 4. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS ORGÂNICOS DE PRODUÇÃO

O monitoramento da qualidade do solo é uma ferramenta de relevância para a avaliação dos impactos gerados pela atividade agrícola. Um solo considerado de boa qualidade é aquele capaz de dar suporte ao desenvolvimento de plantas e animais, sem causar degradação ambiental (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

A qualidade do solo é mensurada por meio do uso de indicadores. Indicadores são atributos que medem ou refletem o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema. Os indicadores de qualidade do solo podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007). Na tabela 3 estão apresentados os principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo (DORAN e PARKIN 1994).

Muitos estudos têm avaliado as alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo durante a transição do cultivo convencional para o orgânico (DRINKWATER et al., 1995; WERNER, 1997; CLARK et al., 1998; SWEZEY et al., 1999; GOSLING e SHEPHERD, 2005; MARINARI et al., 2006), sendo comum a todos a consideração de um certo período de tempo de cultivo, pois a percepção de mudanças significativas está na dependência do clima, da rotação das culturas, do tipo de solo, entre outros.

Tabela 3. Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo

<b>Indicadores</b>	<b>Relação com a qualidade do solo</b>
<b>Físicos</b>	
Estrutura do solo	Retenção e transporte de água e nutrientes
Infiltração e densidade do solo	Movimento de água e porosidade do solo
Capacidade de retenção de água do solo	Armazenamento e disponibilidade de água
<b>Químicos</b>	
Matéria orgânica do solo	Fertilidade, estrutura e estabilidade do solo
pH	Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes
Condutividade elétrica	Crescimento vegetal e atividade microbiana
Teores de macro e micronutrientes	Disponibilidade de nutrientes para as plantas
<b>Biológicos</b>	
Biomassa microbiana	Atividade microbiana e ciclagem de nutrientes
Mineralização N, P e S	Produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes
Respiração do solo	Atividade microbiana
Fixação biológica de N <sub>2</sub> (FBN)	Potencial de suprimento de nutrientes para as plantas
Atividade enzimática do solo	Atividade microbiana e catalítica do solo

#### 4.1 Indicadores biológicos

Os indicadores biológicos de qualidade do solo são muito sensíveis às mudanças de manejo do solo. Flutuações nos teores de matéria orgânica causam alteração na biomassa e atividade microbiana, sendo esses os parâmetros biológicos mais indicados para avaliar a qualidade do solo. A biomassa microbiana é responsável pela decomposição e mineralização de resíduos vegetais. A sua quantificação permite avaliar alterações na quantidade de matéria orgânica causadas pelo sistema de cultivo, o que permite determinar possíveis mudanças na ciclagem de nutrientes e produtividade do agroecossistema (SCHMIDT et al., 2013).

Estudo realizado por Schmidt et al. (2013) avaliou o efeito dos diferentes sistemas de produção sobre a microbiota do solo. A pesquisa foi realizada em seis propriedades, sendo três de produção convencional (PC) e três de produção orgânica (PO), além de suas

respectivas áreas de referência (R) (tabela 3). De maneira geral, os sistemas de produção orgânicos contribuíram para o aumento da biomassa e atividade microbiana do solo em relação ao sistema de produção convencional.

Tabela 4. Respiração basal (RB) e carbono da biomassa microbiana do solo (BMS) em três solos de sistema de produção orgânica (PO) e em três solos de sistema de produção convencional (PC)

Sistema	Área	RB	BM
		mg 100 g <sup>-1</sup> solo	mg kg <sup>-1</sup> solos
PO1	Produção	70,1 a *	212,15 ns
	Referência	37,2 b	109,95 ns
PO2	Produção	56,9 a	210,46 a
	Referência	2,89 b	103,71 b
PO3	Produção	32,5 a	94,64 a
	Referência	17,7 b	14,27 b
PC1	Produção	27,4 ns	142,27 b
	Referência	40,5 ns	321,28 a
PC2	Produção	31,9 ns	124,31 ns
	Referência	26,5 ns	188,35 ns
PC3	Produção	43,5 a	141,96 ns
	Referência	27,3 b	193,19 ns

\*Teste ANOVA a 5% de probabilidade de erro dentro da mesma propriedade, comparando área de produção e referência. Letras iguais não diferem estatisticamente; ns = não significativo.

Schmidt et al. (2013) afirmam que o aumento da biomassa microbiana em sistemas orgânicos é favorecido pela adubação orgânica. Os dados apresentados na tabela 3 foram obtidos com a utilização de cama de frango e esterco bovino na adubação orgânica. A liberação gradual de nutrientes nesses adubos contribui para manutenção de uma elevada população de microrganismos durante todo o período de cultivo. Já com uso de adubos sintéticos de alta solubilidade, utilizados nos sistema de plantio convencional, o fato descrito anteriormente não ocorreu, pois os nutrientes são liberados rapidamente, o que favoreceu o incremento rápido da atividade microbiana, no entanto tal efeito teve curta duração.

Estudo realizado por Kamiyama et al. (2011) também comprovou que os solos de sistemas de produção orgânica apresentam maior atividade biológica e colonização por fungos micorrízicos arbusculares, quando comparado aos sistemas de cultivo

convencional. De acordo com os pesquisadores esse efeito é causado pela maior deposição de resíduos orgânicos, que ocorre nos sistemas conservacionistas.

Tironi et al. (2009) alertam que os menores valores de atividade microbiana nos solos sob cultivo convencional, quando comparado ao sistema orgânico, podem ser causados pelo uso de herbicidas, que causam o decréscimo na atividade e diversidade de microrganismos do solo.

#### 4.2 Indicadores físicos

A qualidade física de solos é um importante elemento de sustentabilidade, sendo uma área de estudo em contínua expansão (LAL, 2000; REYNOLDS et al., 2002), já que as propriedades físicas e os processos do solo estão envolvidas no suporte ao crescimento radicular, armazenagem e suprimento de água e nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica (ARSHAD et al., 1996).

Os indicadores físicos são de extrema relevância na avaliação da qualidade do solo, pois estão diretamente ligados aos processos hidrológicos, tais como taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão, indicadores associados ao suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo. Os principais indicadores físicos de qualidade são a textura, estrutura, resistência à penetração radicular, profundidade de enraizamento e capacidade de retenção de água (GOMES e FILIZOLA, 2006).

De acordo com Silva e Mendonça (2007), a estruturação do solo está diretamente ligada aos teores de matéria orgânica, pois essa exerce efeito cimentante sobre as partículas primárias do solo, resultando no fenômeno de agregação do solo.

Diante do exposto, denota-se que sistemas de cultivo que priorizam o aumento dos teores de matéria orgânica no solo, a exemplo dos sistemas de cultivo orgânico, contribuem para a melhoria da qualidade física do solo. Em pesquisa realizada por Lima et al. (2007), observou-se maior estabilidade dos agregados em solos sob sistema orgânico de produção, quando comparados a áreas sob cultivo convencional. A adição de resíduos orgânicos e a diminuição no revolvimento do solo podem ter contribuído para essa diferença.

Para Mota et al. (2013) atributos como densidade do solo, estabilidade de agregados, resistência à penetração e condutividade hidráulica podem ser alterados pelo uso e manejo do solo, sendo bastante utilizados como indicadores da qualidade física do solo, pois são sensíveis às variações do manejo ao qual o solo está submetido. Portanto, podem ser utilizados como fonte para a interpretação da dinâmica de processos físicos do solo no tempo.

### 4.3 Indicadores químicos

Estudos dos indicadores químicos de qualidade do solo são de extrema relevância, tanto do ponto vista agrônomo, quanto ambiental, pois esses parâmetros indicam a capacidade produtiva do solo e também o comportamento frente a algum tipo de contaminação.

Os indicadores químicos podem ser divididos em quatro grupos: a) aqueles que indicam os processos do solo ou de comportamento. Ex: pH; b) aqueles que indicam a capacidade do solo de resistir à troca de cátions. Ex: CTC; c) aqueles que indicam as necessidades nutricionais das plantas. Ex: N, P, K, Ca, Mg e micronutrientes; d) aqueles que indicam contaminação ou poluição. Ex: Metais pesados (GOMES e FILIZOLA, 2006).

Pesquisa realizada por Silva et al. (2015) constatou que solos sob cultivo orgânico possuíam valores de P, SB, CTC e pH superiores aos obtidos para os solos sob cultivo convencional. De acordo com os autores, esses resultados estão diretamente ligados ao manejo adotado nas áreas estudadas, no qual os produtores priorizam a utilização de adubos orgânicos de boa qualidade, como a compostagem, biofertilizante, vermicomposto e urina de vaca.

Trabalho realizado por Guimarães et al. (2013) afirma que sistemas orgânicos apresentam maior sustentabilidade em relação ao convencional para os indicadores de qualidade do solo. Esses pesquisadores comprovaram que o manejo orgânico na cultura do café proporcionou acréscimos nos teores de carbono orgânico no solo, quando comparado ao sistema convencional. Os mesmos autores afirmam que a mineralização do material orgânico promoveu o aumento da fertilidade do solo, com a liberação de



nutrientes ocorrendo de forma gradual, garantindo a manutenção da sustentabilidade dos sistemas orgânicos.

O cultivo orgânico é visto como uma forma de melhorar a qualidade do solo, pois algumas práticas agrícolas adotadas nesses sistemas favorecem o aumento dos teores de matéria orgânica no solo. Dentre essas o uso de fertilizantes orgânicos, adubação verde e o não revolvimento do solo (LIMA et al., 2007).

O monitoramento do teor de matéria orgânica do solo é o mais importante indicador da qualidade do solo (SCHMIDT et al., 2013). Esse indicador exerce efeitos diretos e indiretos sobre os atributos do solo (físicos, químicos e biológicos) e sobre as plantas, sendo um alicerce da sustentabilidade agrícola. A matéria orgânica desempenha papel crucial nas reações que ocorrem no solo, por isso é considerada parâmetro chave na indicação da qualidade do solo (VALARINI et al., 2011).

Em estudo de longo prazo (20 anos) conduzido na Unidade de Referência em Agroecologia (URA) do Incaper, localizada no município de Domingos Martins-ES, Guimarães et al. (2015) comprovaram a melhoria dos atributos químicos em solos submetidos ao manejo orgânico. O manejo da adubação orgânica na área experimental envolveu o emprego de compostagem orgânica, adubação verde, prática de cobertura morta, rotação de culturas, aplicações de biofertilizantes via solo e foliar, e outras práticas que conduziram à reciclagem, mobilização e disponibilização de nutrientes. No sistema orgânico de produção são cultivados 15 espécies de hortaliças, em rotação com as culturas de milho, feijão e adubos verdes. As adubações foram realizadas com composto orgânico, na base de  $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (peso seco) para a maioria dos cultivos. Considerando a média de 1,5 cultivos de hortaliças por ano, por talhão, o aporte anual médio tem sido equivalente a  $22,5 \text{ t ha}^{-1}$  de composto, totalizando  $450 \text{ t ha}^{-1}$  em 20 anos (GUIMARÃES et al., 2015). Na figura 1 são apresentadas as variações em alguns atributos químicos do solo no início (1990) e 20 anos após a implantação do estudo a campo.

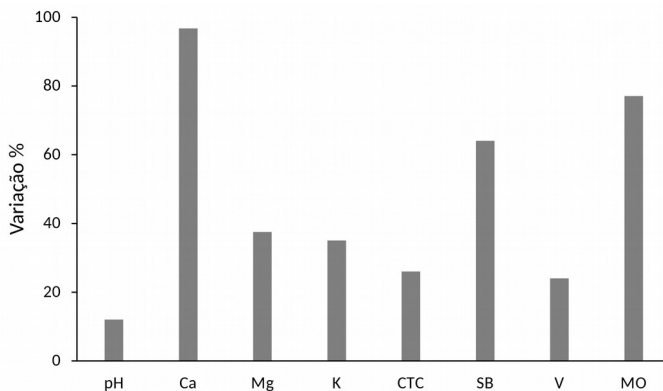


Figura 1. Variação percentual dos atributos químicos do solo em experimento de longa duração (20 anos, 1990 – 2009) implantado na Unidade de Referência em Agroecologia (URA) do Incaper, Domingos Martins-ES. Fonte: Adaptado de Guimarães et al. (2015).

Os resultados evidenciam que os atributos Ca e MO (matéria orgânica do solo) foram os indicadores químicos mais sensíveis à implantação do manejo orgânico do solo. Os teores de Ca apresentaram uma variação de 97% no período avaliado. Guimarães et al. (2015) atribuem os incrementos nos teores de Ca à presença deste elemento no composto orgânico utilizado na adubação, mas principalmente à utilização de fosfatos naturais no composto orgânico nos três primeiros anos de implantação do estudo. Os teores de MO apresentaram variação de 77% em 20 anos. Esse incremento nos teores de MO influenciaram outros atributos químicos do solo, como CTC, V e pH. A pequena variação nos valores de pH (12%) podem estar associados ao tamponamento do solo proporcionado pela MO.

De acordo com Silva e Mendonça (2007) apesar de sua pequena proporção em relação à massa total do solo, a matéria orgânica exerce grande influência sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas, alterando dessa forma a qualidade do solo. Porém, não é possível diagnosticar qual atributo do solo é mais influenciado pela matéria orgânica, devido à grande interação desta com todos os componentes do solo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de cultivo orgânico são de grande relevância para manutenção e melhoria dos atributos do solo e, conseqüentemente, preservação destes e dos recursos hídricos. A melhoria nos indicadores químicos, físicos e biológicos em solos sob sistemas de produção orgânica se deve ao aumento nos aportes de matéria orgânica. Dessa forma, o manejo dos sistemas orgânicos deve primar pelos aumentos dos estoques de matéria orgânica no solo.

Algumas técnicas agrícolas como o plantio direto, adubação verde, cobertura morta, rotação e sucessão de culturas, são fundamentais para garantir o uso equilibrado dos recursos naturais e, conseqüentemente, manutenção da produtividade e sustentabilidade dos solos sob manejo orgânico. Os sistemas orgânicos de produção demonstram que é possível aliar a produção de alimentos com a conservação do solo e da água.

## 6. REFERÊNCIAS

- Alcântara F, Madeira NR. Manejo do solo no sistema de produção orgânico de hortaliças, circular técnica 64, Embrapa Hortaliças, 2008. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/hortaliças/busca-de-publicacoes/-/publicacao/769977/manejo-do-solo-no-sistema-de-producao-organico-de-hortaliças>>. Acesso em: 10 jul.2017.
- Alencar GV, Mendonça ES, Oliveira TS, Jucksch I, Cecon PR. Percepção ambiental e uso do solo por agricultores de sistemas orgânicos e convencionais na Chapada da Ibiapaba, Ceará. *Revista de Economia e Sociologia Rural* 51: 217-236, 2013.
- Andrioli I, Prado RM. Plantas de cobertura em pré-safra e adubação nitrogenada na fertilidade do solo em diferentes camadas, cultivado com milho em sistema de plantio direto e convencional. *Semina: Ciências Agrárias* 33: 963-978, 2012.
- Araújo ASF, Monteiro RTR. Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Bioscience Journal* 23: 66-75, 2007.
- Arshad MA, Lower B, Grossman B. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran JW, Jones A.J. (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. Madison Soil Science Society of America, 1996. p.123- 141. (Special publication, 49).
- Caldas NV, Anjos FS, Bezerra AJA, Criado EA. Certificação de produtos orgânicos: obstáculos à implantação de um sistema participativo de garantia na Andaluzia, Espanha. *Revista de Economia e Sociologia Rural* 50: 455-472, 2012.
- Caporal FR, Costabeber JA. Agroecologia e extensão rural Contribuições para a Promoção do Desenvolvimento Rural, Emater, Porto Alegre, 2004. Disponível em: < [http://www.emater.tche.br/site/arquivos\\_pdf/teses/agroecologia%20e%20extensao%20rural%20contribuicoes%20para%20a%20promocao%20de%20desenvolvimento%20rural%20sustentavel.pdf](http://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/teses/agroecologia%20e%20extensao%20rural%20contribuicoes%20para%20a%20promocao%20de%20desenvolvimento%20rural%20sustentavel.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2017.
- Clark MS, Horwath WR, Shennan C, Scow KM. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. *Agronomy Journal* 90: 662-667, 1998.
- Costa NR, Andreotti M, Ulian NA, Costa BS, Pariz CM, Teixeira Filho MCM. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. *Bioscience Journal* 31: 818-829, 2015.
- Crittenden SJ, Poot N, Heinen MDJM., An Balen DJM, Pulleman MM. Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. *Soil and Tillage Research*. 154: 136-144, 2015.

- Cruz JC, Pereira Filho IA, Albuquerque Filho MR. Rotação de Culturas. Embrapa, 2016. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy779fнк02wx5ok0pvo4k3s932q7k.html>>. Acesso em: 06 jul. 2017.
- Derpsch R, Calegari A. Plantas para Adução Verde de Inverno. Londrina: IAPAR, Circular Técnica, 73, 1992. 80p.
- Derpsch R, Franzluebbers AJ. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil and Tillage Research*. 137: 16–22, 2014.
- Doran JW, Parkin TB. Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society American, 1994. p.3-21. (Special Publication, 35).
- Drinkwater LE, Letourneau DK, Workneh F, van Bruggen AHC, Shennan C. Fundamental difference between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological Applications* 5: 1098-1112, 1995.
- Ferreira RLF, Galvão RO, Miranda Junior EB, Araújo Neto SE, Negreiros JRS, Parmejiani RS. Produção orgânica de rabanete em plantio direto sobre cobertura morta e viva. *Horticultura Brasileira* 29: 299-303, 2011.
- Gomes AF, Filizola HF. Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola. Jaguariúna, 2006, Embrapa. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes\\_Filizola\\_indicadoresID-u1keja1HAN.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes_Filizola_indicadoresID-u1keja1HAN.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2017.
- Gomes I, Vieira EM, Machado ML. Práticas conservacionistas do solo e da água: vegetativas - edáficas - mecânicas. Circular Técnica. Epamig, 2008.
- Goslin P, Shepherd M. Long-term changes in soil fertility in organic arable farming systems in England, with particular reference to phosphorus and potassium. *Agriculture, Ecosystems & Environmental* 105: 425-432, 2005.
- Guimarães GP, Mendonça ES, Passos RR, Andrade, FV, Machado RV. Avaliação da qualidade do solo e cafeeiros em propriedade familiar do Território do Caparaó-ES. *Revista Brasileira de Agroecologia* 8: 236-246, 2013.
- Guimarães GP, Souza JLde, Pereira VA, Prezotti LC, Guarçoni MA. Fertilidade de solos e dinâmica de carbono em sistemas orgânicos de produção. In: Souza JLde (Org.). *Agricultura orgânica: tecnologias para a produção de alimentos saudáveis*. Vitória: Incaper, v.3, 2015. p. 79-113, 2015.
- Kamiyama A, De Maria IC, Souza DCC, Silveira APD. Percepção ambiental dos produtores e qualidade do solo em propriedades orgânicas e convencionais. *Bragantia* 70: 176-184, 2011.

- Lal R. Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21st century. *Soil Science* 165: 191-207, 2000.
- Lima HV, Oliveira TS, Oliveira MM, Mendonça ES, Lima PJF. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31: 1085-1098, 2007.
- Lourenço JR, V, Lopes CA, Reis A. Rotação e Sucessão de Culturas em Hortaliças Cultivadas em Pequenas Áreas no Manejo de Doenças. *Circular técnica* 152, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1045158/rotacao-e-sucessao-de-culturas-em-hortalicas-cultivadas-em-pequenas-areas-no-manejo-de-doencas>>. Acesso em: 20 jul. 2017.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Orgânicos. Brasil, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimentosustentavel/organicos>>. Acesso em: 12 jul. 2017.
- Marinari S, Mancinelli R, Campiglia E, Grego S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. *Ecological Indicators*, 6:701-711, 2006.
- Mateus GP, Wutke EB. Espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes. *Pesquisa & Tecnologia* 3, 2006.
- Mota JCA, Freire AG, Assis Junior RN de. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa 37: 1196-1206, 2013.
- Muñoz CMG, Gómez MGS, Soares, JPC, Junqueira AMR. Normativa de Produção Orgânica no Brasil: a percepção dos agricultores familiares do assentamento da Chapadinha, Sobradinho (DF). *Revista de Economia e Sociologia Rural* 54: 361-376, 2016.
- Primavesi AM. Agroecologia e manejo do solo. *Revista Agriculturas: experiências em agroecologia* 5: 7-10, 2008.
- Quaresma MAL, Oliveira FL, Silva DMN. Leguminosas como plantas de coberturas no cultivo de bananeira em região semiárida. *Revista Caatinga* 30: 614-621, 2017.
- Reynolds WD, Bowman BT, Drury CF, Tan CS, Lu X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110: 131-146, 2002.
- Santos GG, Silveira PM, Marchão RL, Petter FA, Becquer T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16: 1171-1178, 2012.

- Schmidt RO, Sana RS, Leal FK, Andreazza R, Camargo FAO, Meurer EJ. Biomassa e atividade microbiana do solo em sistemas de produção olerícola orgânica e convencional. *Ciência Rural* 43: 270-276, 2013.
- Seduyama MAN, Santos IC, Lima PC. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. *Revista Ceres* 61: 829-837, 2014.
- Silva EC, Ambrosano EJ, Scivittaro WB, Muraoka T, Buzetti S, Carvalho AM. Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas. In: Lima Filho OF, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD (Eds.). *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil*. 1. ed. Brasília: Embrapa, v.1, cap.7, 2014, p.265-306.
- Silva EE, De-Polli H, Guerra JGM, Aguiar-Menezes EL, Resende ALS, Oliveira FL, Ribeiro RLD. Sucessão entre cultivos orgânicos de milho e couve consorciados com leguminosas em plantio direto. *Revista de Horticultura Brasileira* 29: 57-62, 2011.
- Silva IR, Mendonça ES. Matéria orgânica do solo. In: Novais RF, Alvarez VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, cap.7, 2007, p.275-356.
- Silva MG, Arf O, Alves MC, Buzetti S. Sucessão de culturas e sua influência nas propriedades físicas do solo e na produtividade do feijoeiro de inverno irrigado, em diferentes sistemas de manejo do solo. *Bragantia* 67: 335-347, 2008.
- Silva VM, Teixeira AFR, Souza JL, Guimarães GP, Benassi AC, Mendonça ES. Estoques de carbono, nitrogênio e densidade do solo em sistemas de adubação orgânica de café conilon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39: 1436-1444, 2015.
- Swezey SL et al. Preliminary studies show yield and quality potential of organic cotton. *California Agriculture* 53: 9-16, 1999.
- Tironi SP, Belo AF, Fialho CMT, Galon L, Ferreira EA, Silva AA, Costa MD, Barbosa MHP. Efeito de herbicidas na atividade microbiana do solo. *Revista Planta Daninha* 27: 995-1004, 2009.
- Torres JLR, Pereira MG, Fabian AJ. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43: 421-428, 2008.
- Valarini PJ, Oliveira FRA, Schilickmann SF, Poppi RJ. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. *Horticultura Brasileira* 29: 485-491, 2011.
- Vezzani FM, Mielniczuk J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33: 743-755, 2009.
- Wadt PGS. Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas. Documento 90, Embrapa: Rio Branco-Acre, 2003.
- Werner MW. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard management. *Applied Soil Ecology* 5: 151-167, 1997.

## CAPÍTULO 3

# MANEJO FITOSSANITÁRIO EM SISTEMAS ORGÂNICOS DE PRODUÇÃO NO BRASIL

Elen de Lima Aguiar Menezes

### 1. INTRODUÇÃO

A agricultura orgânica é uma atividade de produção sustentável de alimentos saudáveis aliada a preservação do meio ambiente, com maior valorização do trabalho do produtor rural. Essa forma de produção agrícola cria oportunidades para os agricultores familiares e principalmente para aqueles que foram excluídos do processo de modernização da agricultura. O movimento da agricultura orgânica surgiu nas décadas de 60 e 70, em diversos países, apresentando uma diversidade de conceitos e visões filosóficas que foram descritos por determinados termos tais como biodinâmica, biológica, ecológica, natural, agroecológica, regenerativa e permacultura.

Todavia, no Brasil, somente em 1999, face ao aumento da demanda por produtos orgânicos, tem-se o primeiro movimento do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para regulamentar essa forma de produzir, através da edição da Instrução Normativa (IN) N° 7, de 17/05/1999, a qual estabelecia as normas de produção, tipificação, processamento, envase, distribuição, identificação e de certificação da qualidade para os produtos orgânicos de origem vegetal e animal.

Passados 4 anos após a edição dessa instrução normativa, é sancionada a Lei N° 10.831, de 23/12/2003, que dispõe sobre a agricultura orgânica no Brasil e dá outras providências, a qual é regulamentada pelo Decreto N° 6.323, de 27/12/2007. De acordo com o Capítulo I (Das Definições), inciso XVII, desse decreto, considera-se “sistema orgânico de produção agropecuária: todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades



rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não-renovável, empregando, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção do meio ambiente”.

Nota-se que a própria definição de sistema orgânico de produção traz em si os métodos proibidos e os permitidos por lei para o manejo fitossanitário. Portanto, ratifico que são proibidos o uso de agrotóxicos orgânicos sintéticos, tais como os pertencentes aos grupos químicos dos organofosforados, piretróides, neonicotinóides, benzoil uréias, pirazóis etc.; o uso de organismos geneticamente modificados, tais como as plantas Bt, as quais sofreram modificação genética para produzirem toxinas da bactéria entomopatogênica *Bacillus thuringiensis* (Bt) que são ativas contra lagartas ou larvas de besouros, e as plantas resistentes a herbicidas, como a soja RR (“Roundup Ready”); e também não é permitido o uso de radiações ionizantes para o controle de pragas nos sistemas orgânicos de produção agropecuária.

No entanto, o manejo fitossanitário nesses sistemas pode ser alicerçado em métodos culturais, biológicos e mecânicos. Esses métodos serão a seguir apresentados e exemplificados, mas o capítulo certamente não esgotará todas as possibilidades existentes dentro de cada um desses métodos que podem ser empregadas no manejo de artrópodes fitófagos (particularmente ácaros e insetos), agentes de doenças fitopatogênicas e ervas espontâneas, que aqui serão genericamente denominados de pragas. Todavia, devido a minha especialidade em Entomologia (= estudos dos insetos), a maioria dos exemplos apresentados tratarão de controle de insetos fitoparasitas.

## 2. MÉTODOS DE CONTROLE DE PRAGAS

A agricultura orgânica inclui todos os sistemas agrícolas comprometidos com o uso sustentável do solo e demais recursos naturais. Assim, reduz dramaticamente o uso de insumos adquiridos externamente à unidade de produção, criando condições para maior independência do produtor rural. Esses sistemas buscam a sustentabilidade através da preservação ambiental e da manutenção da biodiversidade e, desse modo, em relação ao manejo fitossanitário, favorece com que as leis da natureza exerçam o controle sobre as pragas.

Nesse sentido, os métodos biológicos, culturais e mecânicos descritos abaixo procuram atender, de certa forma, as diretrizes norteadoras do agricultura orgânica expostas no Capítulo II (Das Diretrizes) do Decreto Nº 6.323/2007, particularmente a descrita no inciso VI, que estabelece a “preservação da diversidade biológica dos ecossistemas naturais e a recomposição ou incremento da diversidade biológica dos ecossistemas modificados em que se insere o sistema de produção, com especial atenção às espécies ameaçadas de extinção”.

### 2.1 Métodos biológicos

#### 2.1.1 Manejo da diversidade vegetal

Essa prática envolve a diversificação dos cultivos ao nível da propriedade e, sempre que possível, da paisagem agrícola. O princípio fundamental dessa técnica está no fato de que ela pode proporcionar serviços ecológicos que vão além da produção de alimentos, fibras, energia e renda. A diversidade vegetal estimula o estabelecimento de certos organismos, como minhocas, simbioses, polinizadores e inimigos naturais das pragas, que compõem a diversidade biológica no sistema de cultivo. Esses organismos estão envolvidos em processos biológicos que variam de acordo com as funções que desempenham nos ecossistemas, tais como decomposição de matéria orgânica, reciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, controle do microclima local, polinização, regulação natural dos fitoparasitas, entre outros,

dependendo do planejamento da diversidade desenhada para a propriedade (ALTIERI et al., 2003; FIEDLER et al., 2008). A diversificação dos cultivos pode ser feita através da adoção de consórcios culturais, rotações de culturas e faixas de cultivos intercalares ou policultivos. Sempre que possível, devem ser utilizadas plantas de cobertura do solo ou adubos verdes, quebra-ventos e cercas vivas. Também podem se deixar áreas em pousio para formar “ilhas de mato” ou manter a vegetação espontânea nas entrelinhas de cultivo, e ainda podem ser adotados sistemas agroflorestais, que possibilitam arranjos mais complexos entre as espécies cultivadas, e ao nível de paisagem agrícola, podemos adotar faixa de vegetação marginal, corredores de vegetação (ou corredor biológico) e bordas de cultivos (ALTIERI et al., 2003; SUJII et al., 2010).

A diversidade vegetal dos agroecossistemas tende a desfavorecer as pragas, particularmente os insetos fitoparasitas, quando planejada para tal fim (ALTIERI et al., 2003; AGUIAR-MENEZES, 2004; FERNANDES et al., 2005). Essa tendência pode ser explicada basicamente por duas hipóteses ecológicas:

Hipótese da concentração de recursos - prediz que as pragas podem ser diretamente influenciadas pela concentração ou dispersão espacial das espécies cultivadas que lhes servem de alimento, as quais serão aqui referidas como plantas hospedeiras. Plantios homogêneos (monocultivos) e adensados favorecem as pragas, principalmente as especializadas, na localização de suas plantas hospedeiras, porque as encontram em grande disponibilidade numa mesma área (ROOT, 1973; FERY e CUTHBERT JR., 1974; KAREIVA, 1983; ALTIERI et al., 2003). Assim, fornecem recursos concentrados e condições físicas uniformes, que contribuem para redução da competição entre os herbívoros e da taxa de mortalidade das pragas e aumento da taxa de natalidade e de sobrevivência das pragas, alcançando densidades populacionais em que são capazes de causar danos econômicos significativos. Contrariamente, numa mistura ou mosaico entre plantas hospedeiras e não-hospedeiras, ou seja, numa situação de mais baixa concentração do recurso alimentar, mais difícil será para a praga localizar a planta hospedeira, assim, maior a probabilidade de que a mesma deixe o hábitat, com conseqüente aumento da taxa de

emigração da praga do sistema de cultivo diversificado (ROOT, 1973; KAREIVA, 1983; ALTIERI et al., 2003; LIEBMAN, 2012).

Salienta-se ainda que os insetos fitoparasitas, ao chegarem em um determinado agroecossistema, fazem o uso de estímulos visuais e/ou químicos para localizar suas plantas hospedeiras. Assim, num policultivo, existe uma variedade de estímulos, que se misturam uns aos outros, atuando também no confundimento das pragas que estão migrando para o policultivo, dificultando a localização de sua cultura hospedeira. Dessa forma, as espécies vegetais não-hospedeiras podem impor barreiras físicas e/ou químicas que dificultam a localização da cultura hospedeira pelas pragas seja por repelência química, mascaramento e/ou inibição de alimentação, impondo obstáculos para que as pragas se reproduzam (SINGH e KOTHARI, 1997, ALTIERI et al., 2003; AGUIAR-MENEZES, 2004; MEDEIROS et al., 2009). Exemplos de policultivos específicos que resultam em baixa incidência de pragas e os mecanismos ecológicos envolvidos são sumariados na Tabela 1. Outros exemplos podem ser obtidos em Altieri et al. (2003).

Tabela 1. Consórcios culturais eficientes na regulação de insetos pragas (ALTIERI et al., 2003).

Sistema de consórcio	Praga(s) regulada(s)	Fator(es) envolvido(s) (efeito da “cultura companheira”)
Pepino (hospedeiro) consorciado com milho	<i>Acalymma vittatum</i> (Coleoptera: Chrysomelidae)	Interferência física do milho no movimento de vôo da praga, reduzindo o tempo de sua permanência sobre a planta hospedeira.
Abóbora (hospedeira) consorciada com milho	<i>Acalymma thiemei</i> <i>Diabrotica balteata</i> (Coleoptera: Chrysomelidae)	Aumento da dispersão das pragas devido à fuga a partir das aboboreiras sombreadas pelo milho e interferência física do milho no vôo das pragas.
Mostarda (hospedeiro) consorciada com coentro	<i>Lipaphis erysimi</i> (Hemiptera: Aphididae)	Interferência química na colonização da planta pela praga por efeito de repelência.
Alface (hospedeiro) consorciada com <i>Lobularia maritima</i>	<i>Myzus persicae</i> (Hemiptera: Aphididae)	Interferência química na colonização da planta pela praga por efeito de repelência.

A prática do policultivo pode também contribuir no controle de microrganismos fitopatogênicos. O plantio de espécies suscetíveis em menor densidade nos policultivos pode afetar a disseminação e reduzir a pressão de inóculo dos fitopatógenos; plantas resistentes dispostas entre as suscetíveis aos agentes fitopatogênicos poderão conter a disseminação do inóculo pelo vento, água ou vetores e, desta forma, proteger espécies hospedeiras; o microclima dos policultivos pode ser menos favorável ao desenvolvimento das epidemias e, ainda, os exsudatos radiculares e microrganismos que vivem na rizosfera de algumas das espécies presentes nos policultivos poderão afetar fitopatógenos do solo que atacariam suas culturas hospedeiras (SUJII et al., 2010; ALTIERI, 2012; LIEBMAN, 2012).

Um exemplo interessante de consórcio em que a cultura companheira proporcionou serviços ecológicos, além da regulação da praga, que contribuíram para o aumento da produção da cultura foi estudado por Ribas et al. (2002) (Tabela 2). Os autores observaram aumento na produtividade do quiabeiro em consórcio com crotalária, independente da população usada para a leguminosa, atribuindo o resultado à ação dessa planta companheira como adubo verde, aumentando o aporte de nitrogênio para o quiabeiro, como planta nematicida, reduzindo as galhas causadas por nematoides nas raízes do quiabeiro, além de ter causado redução de ervas espontâneas, reduzindo assim a competição dessas com as plantas de quiabo.

Tabela 2. Produtividade e avaliação qualitativa de incidência de fitonematoides no quiabeiro, em monocultivo e consorciado com *Crotalaria juncea* como adubo verde, cultivados sob manejo orgânico na Fazendinha Agroecológica km 47 (Seropédica, RJ) (RIBAS et al., 2002).

Tratamento (sistema de cultivo)	Produtividade (t/ha)* (frutos)	Incidência de fitonematoides** (nota)
Monocultivo do quiabeiro	27,23 B***	3,65 A
Consórcio com 2 linhas crotalária	30,28 A	1,68 B
Consórcio com 3 linhas crotalária	30,81 A	1,32 B
CV%	4,5	24,5

\*Total de 25 colheitas. \*\*Notas atribuídas à incidência do patógeno na cultura, numa escala de 0 a 5,0. \*\*\*Valores com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Hipótese dos inimigos naturais - prevê que as pragas são desfavorecidas pela ação indireta da diversidade vegetal dos agroecossistemas quando esta beneficia os inimigos naturais das pragas. Esta hipótese prediz que a abundância e a diversidade dos inimigos naturais tendem a ser maiores nos sistemas diversificados. Os benefícios aos inimigos naturais incluem aumento na disponibilidade de micro habitats mais adequados, de locais de refúgio ou hibernação e de fontes de pólen e néctar, os quais são recursos alimentares particularmente usados por determinadas fases de vida dos insetos entomófagos, influenciando positivamente a longevidade e a fecundidade desses insetos, reduzindo assim a probabilidade de que deixem o local ou se tornem localmente extintos, possibilitando o aumento de sua eficiência como agentes de controle biológico das pragas (ROOT, 1973; SYME, 1975; LIEBMAN, 2012). Além disso, os sistemas diversificados permitem a presença de uma maior diversidade de insetos herbívoros, que podem funcionar como fontes alternativas de alimentos para os

inimigos naturais generalistas e fazendo-os permanecer no campo nas épocas em que a população das pragas está baixa. A importância da diversidade vegetal para os inimigos naturais das pragas será melhor explanada no item 2.1.2, particularmente em controle biológico conservativo.

### 2.1.2 Controle biológico de pragas

O controle biológico de pragas pode ser definido como a regulação natural do número de indivíduos de uma população de uma espécie-praga causada pela ação de uma outra população cujos indivíduos apresentam hábitos de predação, parasitismo, antagonismo ou patogenia, os quais são genericamente conhecidos como inimigos naturais das pragas ou agentes de controle biológico. Portanto, esses agentes devem agir de forma a impedir que a população da praga sobre a qual eles atuam atinja densidades populacionais que causam prejuízos econômicos, mantendo-a num nível de equilíbrio abaixo do nível de dano econômico (PARRA et al., 2002; AGUIAR-MENEZES, 2003).

Os inimigos naturais de insetos-pragas podem ser agrupados em três principais categorias: predadores, parasitoides e patógenos. As duas primeiras são denominadas organismos entomófagos, ou seja, se alimentam de insetos. Eles podem ser vertebrados (por exemplo, sapo, pássaro, morcego, peixe etc.) ou invertebrados (insetos, ácaros, aranhas etc.), sendo que os parasitoides são apenas insetos entomófagos. Assim, existem insetos predadores, ou seja, aqueles que predam a praga, e insetos parasitoides, que são aqueles que parasitam alguma fase da vida do inseto-praga. A terceira categoria é constituída pelos entomopatógenos, os quais são microrganismos capazes de causar doença em insetos, tais como fungos, vírus, bactérias e nematoides (ALVES, 1998; PARRA et al., 2002; AGUIAR-MENEZES, 2003). O homem através dos tempos aprendeu como manipular ou manejar populações de certos inimigos naturais visando o controle das pragas nos agroecossistemas e, assim, desenvolveu três estratégias básicas descritas a seguir (AGUIAR-MENEZES, 2003).

Controle biológico clássico - envolve a importação de inimigos naturais exóticos e introdução na área em que a praga está

causando problema, visando estabelecê-los permanentemente como novos elementos da fauna local. Uma vez estabelecida a espécie exótica de inimigo natural, sua população tende a crescer em número e manter a população do organismo a ser controlado em equilíbrio, abaixo do nível de dano econômico. Essa estratégia geralmente é usada para controlar espécies de pragas exóticas. Para que essa estratégia tenha sucesso, alguns procedimentos básicos para a introdução de inimigos naturais exóticos precisam ser obedecidos e que são regulados pelas autoridades quarentenárias para minimizar possíveis riscos biológicos. Dentre as regulamentações para introdução de um inimigo natural no Brasil está a obrigatoriedade do processo ser intermediado pelo Laboratório de Quarentena “Costa Lima”, sediado na Embrapa Meio Ambiente (Jaguariúna, SP), que é o único credenciado pelo MAPA para introduzir inimigos naturais no país.

Controle biológico aumentativo (ou por incremento) - nessa estratégia, o inimigo natural é multiplicado em larga escala (criação ou produção “massal”) em laboratórios especializados em condições ambientais controladas. Posteriormente, eles são liberados no campo, geralmente em grandes quantidades, no momento apropriado. Esse momento é decidido baseando-se na biologia da praga-alvo, de modo a sincronizar as liberações quando a praga se encontra em seu estágio mais susceptível à ação do inimigo natural.

Os agentes de controle biológico de pragas e doenças fazem parte da lista de substâncias e práticas permitidas para manejo e controle de pragas e doenças nos vegetais em sistemas orgânicos de produção, que constam do Anexo V da Instrução Normativa N<sup>o</sup> 17, de 18/06/2014 do MAPA. Conforme o Decreto N<sup>o</sup> 6.913, de 23/07/2009, que acrescenta dispositivos ao Decreto N<sup>o</sup> 4.074, de 04/01/2002, que regulamenta a “Lei dos Agrotóxicos”, esses agentes e outros produtos usados no controle de pragas e doenças nos sistemas orgânicos de produção não são mais classificados como agrotóxicos, mas denominados Produtos Fitossanitários com Uso Aprovado para a Agricultura Orgânica. No portal do AGROFIT (Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários) do MAPA, podemos encontrar 56 produtos registrados no Brasil com essa denominação, incluindo marcas, o titular do registro, as especificações dos produtos, indicação de uso/doses e modo de aplicação, sendo que



53 têm um agente de controle biológico como ingrediente ativo (Tabela 3). A Instrução Normativa Conjunta N° 1, de 24/05/2011 do SDA/SDC/ANVISA/IBAMA estabelece os procedimentos a serem adotados para efeito de registro dos Produtos Fitossanitários com Uso Aprovado para a Agricultura Orgânica.

Tabela 3. Agentes de controle biológico que compõem produtos fitossanitários registrados no Brasil para uso na agricultura orgânica para controle de insetos ou agentes de doença (AGROFIT, 2017).

<b>Categoria de inimigo natural</b>	<b>Produtos registrados (número)</b>	<b>Ingrediente ativo (nome da espécie de inimigo natural)</b>
Fungo entomopatogênico	26	<i>Beauveria bassiana</i> , <i>Metarhizium anisopliae</i>
Parasitoide	19	<i>Cotesia flavipes</i> , <i>Trichogramma galloi</i> , <i>Trichogramma pretiosum</i>
Microorganismo antagonista a fitopatógenos	3	<i>Bacillus methilotrophicus</i> (bactéria), <i>Bacillus subtilis</i> (bactéria), <i>Trichoderma asperellum</i> (fungo)
Vírus entomopatogênico	3	<i>Condylorrhiza vestigialis nucleopolyhedrovirus</i> , <i>Baculovirus anticarsia</i> , <i>Spodoptera frugiperda multiple nucleopolyhedrovirus</i> (SfMNPV)
Inseto predador	1	<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>
Ácaro predador	1	<i>Neoseiulus californicus</i>

Controle biológico conservativo – consiste no manejo do agroecossistema através de práticas agrícolas que beneficiem os inimigos naturais, devido possibilitar o incremento da abundância e/ou da diversidade dos inimigos naturais de ocorrência natural e sua preservação dentro dos agroecossistemas e de seu entorno, portanto, contribuindo para o controle biológico natural.

Uma prática que pode auxiliar na conservação dos inimigos naturais é o uso de inseticidas seletivos ou de menor toxicidade para esses agentes de controle biológico, aliado ao uso de técnicas de amostragem da população da praga e dos inimigos naturais para a tomada de decisão do uso ou não de inseticidas permitidos na agricultura orgânica, principalmente quando apresentam amplo espectro de ação contra diferentes pragas, na tentativa de diminuir os efeitos deletérios na população dos inimigos naturais. De fato, alguns estudos de laboratório têm mostrado que determinados extratos de plantas usados na agricultura orgânica, por exemplo, apesar de eficientes contra a praga, têm apresentado efeitos negativos sobre alguns inimigos naturais, como o extrato de nim (VENZON et al., 2007; ZANUNCIO et al., 2016; PAULO, 2017) e, portanto, devem ser usados com precaução.

Outra prática agrícola que pode contribuir para o aumento da eficiência dos inimigos naturais em controlar a população da praga-alvo é a incorporação de espécies de plantas atrativas a esses organismos benéficos. Essas plantas fornecem pólen e/ou néctar aos inimigos naturais, principalmente aos parasitoides e insetos predadores (AGUIAR-MENEZES, 2003; BARBOSA et al., 2011; AGUIAR-MENEZES e SILVA, 2011; ANDRADE et al., 2017). Esses recursos florais são essenciais para o estágio de vida não carnívoro (adulto) dos parasitoides e de certos predadores, ou podem representar um suplemento ou complemento de uma presa de qualidade inferior para outros predadores, como ocorre para certas espécies de joaninhas e ácaros predadores. Pólen e néctar são, respectivamente, fontes de proteínas e carboidratos e assim podem levar ao aumento da longevidade dos adultos e aumento da fecundidade da fêmea dos inimigos naturais, resultando no aumento da taxa de parasitismo ou predação e, portanto, aumentando a eficiência como agentes de controle biológico (JOHANOWICZ e MITCHELL, 2000; WRATTEN et al., 2003; TYLIANAKIS et al., 2004). Além disso, essas plantas ainda podem fornecer hospedeiros ou presas “alternativos”, condições microclimáticas adequadas aos inimigos naturais, ou mesmo local de refúgio e/ou acasalamento e oviposição (LIXA et al., 2010; RESENDE et al., 2011).

Todavia, nem sempre quando se usa isoladamente o controle biológico, esse método é suficiente para reduzir a densidade populacional da praga-alvo abaixo do nível de dano econômico. Nesse caso, é necessário associá-lo a outras medidas de controle que não interfiram com o controle biológico e que mantenham uma boa condição sanitária da cultura.

## 2.2 Métodos culturais

Refere-se as práticas que podem envolver desde o material genético a ser cultivado (espécie e variedades/cultivares) ao manejo do cultivo. Algumas podem agir mais especificamente sobre uma determinada praga-alvo enquanto outras tem ação generalizada. Abaixo são descritas algumas dessas práticas que podem auxiliar no manejo sustentável de pragas nos sistemas orgânicos de produção vegetal.

### 2.2.1 Resistência de plantas

A resistência natural aos artrópodes fitófagos (ácaros e insetos) e agentes de doenças fitopatogênicas constituiu uma característica inerente de uma planta decorrente de sua constituição genética que lhe confere uma ou mais características químicas e/ou físicas que possibilitam que seja menos infestada ou danificada por uma espécie de praga, quando comparada com outra planta da mesma espécie, em igualdade de condições (LARA, 1991). Variedades e/ou cultivares geneticamente resistentes a pragas e/ou doenças adaptados às condições ambientais de cultivo e ao manejo orgânico, sempre que disponíveis no mercado, são a melhor medida de controle de pragas a ser utilizada e constitui-se numa das principais medidas de controle de doenças de plantas cultivadas, sendo a mais econômica, por afetar menos o custo de produção (SUJII et al., 2010).

### 2.2.2 Adubação equilibrada

A baixa solubilidade e a lenta liberação dos nutrientes, particularmente o nitrogênio, dos adubos orgânicos, quando

comparados como os fertilizantes químicos, proporcionam uma nutrição equilibrada das plantas que lhes conferem uma resistência orgânica as pragas, em geral por assegurar um ótimo desenvolvimento da planta, embora o efeito da adubação tende ser menor em variedade geneticamente resistente, mas pode ter um efeito substancial em variedades moderadamente resistente (FERNANDES et al., 2005). Ademais, as matérias orgânicas adicionadas ao solo constituídas por esterco curtido, compostos fermentados de restos de culturas, lixo domiciliar devidamente processados e as oriundas de processos industriais de plantas e esgotos, estimulam a atividade microbiana, o que limita a atividade dos fitopatógenos por competição e favorece os microrganismos antagonistas, embora a relação carbono/nitrogênio da matéria orgânica poderá influenciar nesse efeito (LINDERMAN, 1989).

### 2.2.3 Época de plantio

O ideal é que a cultura seja plantada numa época em que sua fase de maior suscetibilidade ao ataque da praga ocorra quando o nível populacional da mesma está baixo. Plantio em épocas que não são favoráveis ao desenvolvimento da planta são fatores de estresse que aumentam sua susceptibilidade às pragas, embora artifícios possam ser usados para contrapor essa situação, como o uso da irrigação ou cultivo em casa de vegetação. Todavia, essas práticas podem criar uma condição favorável ao desenvolvimento da praga. Há, porém, algumas situações em que o atraso do plantio ou sua antecipação, ou ainda a utilização de variedades mais precoce, são práticas que colaboram para que a cultura seja menos atacada por ocorrer uma assincronia na relação fitoparásita-planta (WISEMAN e MCMILLIAN, 1969). A utilização de variedades precoces ou a antecipação da época de plantio são práticas recomendáveis, por exemplo, para o controle da lagarta rosada do algodoeiro (*Pectinophora gossypiella*) (GALLO et al., 2002).

### 2.2.4 Rotação de culturas

É uma prática agrícola que consiste em alternar, em anos sucessivos, espécies vegetais cultivadas numa mesma área agrícola.

Para eficiência no controle de pragas, é necessário que seja feito o plantio alternado de culturas que não sejam hospedeiras das mesmas pragas, reduzindo assim as suas populações. Nesse caso, é uma prática geralmente eficiente no controle de pragas específicas de determinadas culturas (SILVA, 1996). É mais utilizada para o controle de doenças causadas por fungos de solo, particularmente se não possuírem estruturas de resistência e/ou existir baixa atividade saprofítica na rizosfera das plantas, bem como por fitonematoides (ALTMANN, 2016). A duração da rotação (anos sem o plantio da planta hospedeira) deve também levar em conta a quantidade de inóculo do fitopatógeno disponível no solo e o uso de outras práticas de controle de doenças.

### 2.2.5 Manejo da água para as culturas

É uma prática útil em algumas doenças, uma vez que a disponibilidade de água poderá interferir nas relações entre os fitopatógenos e os antagonistas. Assim, por exemplo, a irrigação do solo por infiltração ou gotejamento pode manter um nível de umidade adequado à sobrevivência de antagonistas ou dificultar a disseminação ou a penetração de fitopatógenos no tecido vegetal. A frequência entre regas, lâmina de água aplicada e forma de irrigação interferem substancialmente na disseminação e na sobrevivência de fitopatógenos, mas também na remoção de ovos e larvas de insetos presentes na superfície da planta (MCHUGH e FOSTER, 1995; COSTA et al., 1998; OLIVEIRA et al., 2000). Foi demonstrado que a drenagem temporária da água na cultura de arroz irrigado por um período de até 15 dias é promissora para o controle da bicheira-da-raiz (*Oryzophagus oryzae*), não resultando em perda significativa de produtividade (MARTINS et al., 2012).

### 2.2.6 Uso da palha seca na cobertura do solo

A palha de determinadas culturas, tal como a palha ou casca de arroz ou de outras gramíneas e de leguminosas, em cobertura morta em canteiros funciona como uma superfície refletiva de ultravioleta que repele pulgões alados, evitando que colonizem a cultura hospedeira e inclusive podendo reduzir a incidência de

fitoviroses (GUIMARÃES e PAVAN, 1998; YOLTAS et al., 2001; GALLO et al., 2002). Essa palha pode também servir de barreira física para disseminação de esporos de fungos fitopatogênicos (JACCOUD FILHO et al., 2014; MENEZES et al., 2014).

### 2.2.7 Destruição de restos culturais

É uma prática recomendável quando os restos de culturas constituem em substrato (hospedeiro intermediário), refúgio ou local de hibernação de pragas. No caso da cultura do algodão, os restos da cultura deve ser arrancados e queimados após a colheita para reduzir a população da lagarta rosada, broca-da-raiz (*Eutinobothrus brasiliensis*) e bicudo (*Anthonomus grandis*) (GALLO et al., 2002).

### 2.2.8 Solarização do solo

É uma prática agrônômica de “pasteurização” do solo pelo calor solar que consiste na cobertura de canteiros ou linhas de cultivo do solo revolvido e úmido, por um fino lençol de plástico (polietileno de uns 30 micras) transparente, sendo definido como um processo hidrotérmico (KATAN et al., 1976). Essa operação deverá aproveitar as estações mais quentes do ano, com a cobertura do solo por 30 ou mais dias. Essa prática reduz ou debilita a biomassa (inóculo) do fitopatógeno, de forma a torná-la uma presa mais fácil para os antagonistas (KATAN, 1981). Outros mecanismos envolvidos são enfraquecimento do fitopatógeno por temperaturas subletais, estímulo à germinação de estruturas de resistência e eliminação da fungistase. Essa prática também pode ser usada para reduzir o banco de sementes de plantas espontâneas (RICCI et al., 2000; BAPTISTA et al., 2006), bem como no controle de fitonematoides (RICCI et al., 2000; SILVA et al., 2006).

## 2.3 Métodos mecânicos

Esses métodos consistem no uso de práticas mecânicas ou artefatos que podem ser utilizados para reduzir ou evitar o ataque de pragas tendo por base o conhecimento dos mecanismos

envolvidos no comportamento da praga, particularmente no caso de insetos fitoparasitas. Alguns desses métodos constam do Anexo V da Instrução Normativa N<sup>o</sup> 17, de 18/06/2014 do MAPA. Alguns exemplos são descritos a seguir.

Uso de armadilhas de coleta de insetos por ação da cor ou emissão de luz – temos como exemplo, as placas de plástico ou papelão adesivas de cor amarela que podem ser usadas no controle ou monitoramento de moscas brancas (*Bemisia tabaci*) e moscas minadoras (*Liriomyza* spp.) (LU et al., 2012; GAERTNER e BORBA, 2014) e de cor azul para tripes (MONTEIRO e SOUZA, 2013; GAERTNER e BORBA, 2014); a bandeja d'água de fundo amarelo (MOERICKE “trap”) para monitoramento de pulgões (RESENDE et al., 2007); e a armadilha luminosa, que são aparelhos elétricos especializados dotados de uma lâmpada, que emite comprimentos de onda que atraem os insetos de voos noturnos fototrópicos positivos, e de dispositivos para deter e capturar os insetos durante o voo. O tipo mais conhecido no Brasil é o modelo “Luiz de Queiroz” (SILVEIRA NETO e SILVEIRA, 1969; GALLO et al., 2002). Em geral, são usadas lâmpadas fluorescentes, de comprimento de onda específico, de 15 ou 20 W, ou de mercúrio de luz mista, as quais emitem maior energia na faixa do UV, tornando-as mais eficientes na atração dos insetos (GALLO et al., 2002). Por exemplo, a armadilha luminosa modelo “Luiz de Queiroz” com lâmpadas negra e BLB apresenta alto nível de captura de adultos de *Tuta absoluta* (traça-do-tomateiro), sendo recomendada para auxiliar o controle dessa praga (OLIVEIRA et al., 2008).

Uso de armadilha com isca atrativa odorífera e/ou alimentar ou apenas a própria isca – exemplos incluem o uso de armadilha balde (“alçapão”), onde toletes de cana-de-açúcar de 30-40 cm de comprimento são colocados dentro de baldes plásticos de 100 litros com tampa com furos guarnecidos com funil invertido para a captura da broca do olho do coqueiro, sendo que a eficiência da captura é aumentada colocando também feromônio de agregação dos adultos (TIGLIA et al., 1998). Frasco caça-moscas tipo McPhail ou confeccionado com garrafa PET contendo solução aquosa de proteína hidrolisada podem ser usados para coleta e monitoramento de moscas-das-frutas (AGUIAR-MENEZES et al., 2006; MALAVASI, 2007). O pseudocaulé de bananeira dos tipos

“telha” e “queijo” serve para coleta e monitoramento do moleque da bananeira (MESQUITA, 2003; LUIZ et al., 2017) e leite diluído em água embebido numa estopa pode ser usado para coleta de lesmas (SUJII et al., 2010).

Uso de embalagens para ensacamento de frutos – Sacos de papel parafinado podem ser usados em tomate para evitar o ataque de brocas dos frutos (JORDÃO e NAKANO, 2002). Sacos de papel pardo e papel manteiga, fechados com grampo ou arame, podem prevenir o ataque de mosca-das-frutas e diminuir a incidência de podridão parda em frutos de pessegueiros em sistema de produção orgânico (KESKE et al., 2010).

Uso de cone invertido para controle de formiga cortadeira – é um dispositivo antifomiga, ou seja, um tipo de barreira física que impede o acesso dessas formigas (saúvas e quenquéns) à parte aérea da planta, onde se localizam as principais partes por elas atacadas, como folhas, flores e/ou frutos, e assim evita o ataque a essas partes, principalmente o desfolhamento da planta. Diferentes tipos e modelos de dispositivos antifomigas foram desenvolvidos, alguns deles são popularmente denominados de “saia” ou “chapéu chinês” (MORESSI et al., 2007; ALMEIDA et al., 2013; LIMA, 2017). São usados principalmente para proteção de mudas de frutíferas.

## 2.4 Métodos complementares

Esses métodos referem-se àquelas substâncias que devem ser utilizadas como medidas auxiliadoras no manejo fitossanitário em sistemas de produção orgânica enquanto estes estiverem ainda desequilibrados, especialmente em casos de conversão do sistema convencional (FERNANDES et al., 2005). Essas substâncias permitidas para manejo e controle de pragas e doenças nos vegetais em sistemas orgânicos de produção constam do Anexo V da Instrução Normativa N<sup>o</sup> 17, de 18/06/2014 do MAPA. Porém, algumas dessas substâncias que constam nesse anexo são usadas apenas como adjuvantes na formulação dos produtos fitossanitários. A seguir são destacadas algumas dessas substâncias usualmente empregadas para o controle de pragas nos sistemas orgânicos de produção vegetal.



#### 2.4.1 Extratos de plantas e óleos essenciais

São produtos derivados de plantas ou partes das mesmas, que sintetizam metabólitos secundários com propriedades tóxicas contra as pragas ou que causem sua morte por outros modos de ação, ou mesmo sua repelência (AGUIAR-MENEZES, 2005; FERNANDES et al., 2005). Podem ser o próprio material vegetal, normalmente moído até ser reduzido a pó, ou seus produtos derivados por extração aquosa ou com solventes orgânicos, tais como álcool, ou por destilação. De acordo com a IN 17/2014, podem ser utilizados livremente em partes comestíveis os extratos e preparados de plantas utilizadas na alimentação humana. O uso de extratos que têm como ingrediente ativo a nicotina, piretrinas, rotenona ou azadiractina naturais, para uso em qualquer parte da planta, deverá ser autorizado pelo OAC (Organismos de Avaliação da Conformidade) ou pela OCS (Organização de Controle Social), mas é proibido o uso de nicotina pura.

A nicotina é um alcaloide do fumo ou tabaco do gênero *Nicotiana* (*N. tabacum*, *N. rustica* e *N. glutinosa*, por exemplo) e outras Solanaceae. As piretrinas são terpenos do crisântemo (*Chrysanthemum cinerariaefolium*, Asteraceae). Os rotenoides, como a rotenona, são flavonas saponínicas (flavonoides) presentes em raízes e caules (talos) de leguminosas do gênero *Lonchocarpus*, *Derris* e *Tephrosia*. A azadiractina é um triterpeno do nim, *Azadirachta indica* (Meliaceae). Esses são ingredientes ativos de produtos conhecidos genericamente como inseticidas botânicos (AGUIAR-MENEZES, 2005). No portal AGROFIT, há um produto fitossanitário com uso aprovado para a agricultura orgânica registrado como isca formicida à base de tefrósia para controle de *Atta sexdens rubropilosa* (saúva limão) e *Atta laevigata* (saúva cabeça de vidro), e três produtos à base de azadiractina: Azact CE<sup>®</sup>, Azamax<sup>®</sup> e DalNeem EC<sup>®</sup>, sendo que o primeiro está registrado como produto fitossanitário com uso aprovado para a agricultura orgânica.

Os óleos essenciais ou óleos voláteis estão presentes nas plantas aromáticas e podem apresentar atividade atraente ou repelente de insetos, e até ação tóxica contra insetos e microrganismos. O óleo da citronela (*Cymbopogon* spp.), por exemplo, é repelente de

insetos. Os terpenos ( $\alpha$ -pinenos e  $\beta$ -pinenos) presentes nos óleos extraídos da resina de pinheiro (*Pinus* sp.), o nerol extraído do óleo essencial do capim limão (*Cymbopogon citratus*), algumas substâncias obtidas de plantas utilizadas como condimento alimentar, como o eugenol do cravo da índia (*Eugenia caryophyllata*), o mentol da hortelã (*Mentha piperita*), a piperina da pimenta-do-reino (*Piper nigrum*) e as substâncias sulfuradas obtidas do extrato do alho (*Allium sativum*) tem efeito contra lagarta da maçã, pulgões, míldio e ferrugem, e o limoneno e o linalol do óleo da casca do fruto de *Citrus* spp. (laranja e limão) são efetivos contra pulga, piolhos e carrapatos (SAITO, 2004; AGUIAR-MENEZES, 2005).

#### 2.4.2 Caldas bordalesa e sulfocálcica

Essas caldas são defensivos alternativos do tipo fertiprotetores porque fornecem nutrientes às plantas, influenciando positivamente no processo metabólico das mesmas, além de contribuir no controle de pragas. Elas podem ser feitas pelo próprio produtor rural e variam na composição de seus ingredientes e modo de preparado. Dois tipos de caldas são listados como substâncias permitidas para o manejo de pragas e doenças nos vegetais em sistemas orgânicos: a calda bordalesa e a calda sulfocálcica (POLITO, 2000; FERNANDES et al., 2005). A calda bordalesa é um produto obtido pela mistura de uma solução de sulfato de cobre com uma suspensão de cal virgem ou hidratada, formando uma suspensão coloidal de cor azul celeste e eficiente no controle de agentes fitopatogênicos. A calda sulfocálcica resulta de uma reação corretamente balanceada entre o cálcio e o enxofre, dissolvidos em água e submetidos à fervura, constituindo uma mistura de polissulfetos de cálcio e exerce ação contra fungos fitopatogênicos, ácaros, cochonilhas e outros insetos sugadores.

#### 2.4.3 Espinosinas

São substâncias (lactona tetracíclica) letais aos insetos produzidas, durante a fermentação, pelo actinomiceto *Saccharopolyspora spinosa*, que é bactéria do solo que não tem ação

inseticida direta. Devem ser provenientes de microrganismos não geneticamente modificados e não irradiados. Há necessidade de autorização pelo OAC ou pela OCS para uso nos sistemas orgânicos de produção para controle de pragas.

#### 2.4.4 Semioquímicos (feromônios e aleloquímicos)

Os feromônios são compostos químicos produzidos por determinadas espécies de insetos para comunicação intraespecífica, afetando o comportamento dos indivíduos da mesma espécie. Podem ser classificados como feromônios sexuais, de agregação, de alarme, de dispersão, de marcação de território ou de trilha, etc. Podem ser utilizados na agricultura em programas de monitoramento populacional com armadilhas, programas de detecção ou captura em massa dos indivíduos da espécie-praga com armadilhas ou ainda, em dispositivos liberadores sem o uso de armadilhas, visando à confusão sexual do inseto-praga (por meio da saturação da área com feromônio sexual), desde que não aplicados sobre frutos ou partes da planta a serem consumidos (ZARBIN et al., 2009). No Brasil, 52 produtos à base de feromônios estão registrados no MAPA para manejo de insetos (AGROFIT, 2017).

Os feromônios são veiculados em armadilhas de modelo compatível com o comportamento do inseto. Assim, armadilha tipo Delta são usadas para monitoramento de mariposas. No interior dessa armadilha é colocado um septo de borracha impregnado de feromônio dependurado ou grudado num refil de papel com autoadesivo, onde ficarão presos os insetos capturados. Esse modelo de armadilha com feromônio sexual BioSpodoptera<sup>®</sup>, por exemplo, se mostrou eficiente no monitoramento de adultos de *Spodoptera frugiperda* em cultivo de milho (MELO et al., 2011). Armadilha de cor verde limão junto com o feromônio grandlure funcionam muito bem para o monitoramento do bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis*). A armadilha Jackson é usada para veicular o trimedilure para a captura da mosca-do-mediterrâneo (*Ceratitis capitata*) (MALAVASI, 2007).

Os aleloquímicos são compostos químicos produzidos para comunicação interespecífica e geralmente são de três tipos: 1) cairomônio, que favorece a espécie receptora, podendo agir como

atraente, arrestante, excitante ou estimulante da alimentação ou oviposição; 2) alomônio, que favorece a espécie emissora e incluem substâncias com ação tóxica, antibióticos, antimetabólicos, enzimas e fitohormônios; e 3) sinomônio, quando as espécie receptora e emissoras são favorecidas (ZARBIN et al., 2009). Os aleloquímicos são responsáveis, por exemplo, pela atração de inimigos naturais das pragas (XAVIER et al., 2011) e polinizadores (GUEDES, 2015).

#### 2.4.5 Terra diatomácea

A terra diatomácea é um produto mineral (grupo químico dos inseticidas inorgânicos) em pó proveniente de carapaças de algas diatomáceas fossilizadas, rica em diatomita associada a argilas, sendo o dióxido de sílica seu principal ingrediente ativo. Pode ser de origem marinha ou de água doce. As partículas das terras diatomáceas causam danos ao tegumento (particularmente à cutícula) dos insetos através da adsorção da camada de cera da epicutícula e abrasão da cutícula, tornando-a permeável à água e promovendo a morte do inseto por dessecação, em um período variável de um a sete dias, dependendo da espécie-praga (FRANÇA et al., 2005; LORINI et al., 2015). Ela é especialmente recomendada para controle de pragas de grãos armazenados e sementes (FRANÇA et al., 2005; LORINI et al., 2015). Insecto<sup>®</sup>, Keepdry<sup>®</sup> e Gran Protect<sup>®</sup> são as três marcas comerciais de inseticidas à base de terra de diatomáceas registradas no MAPA (AGROFIT, 2017).

#### 2.4.6 Preparados homeopáticos e biodinâmicos

A homeopatia vem sendo aplicada na agricultura desde 1924, quando a agricultura biodinâmica foi reconhecida internacionalmente durante o Congresso de Pentecostes, na Polônia, iniciando os processos de elaboração dos preparados biodinâmicos fundamentando-se nos princípios da homeopatia (RICKLI, 1986). Ela é uma tecnologia da dinamização que pode ser aplicada na agricultura. Na agricultura orgânica, ela tem como base legal a IN 17/2014. É uma ciência que pode ser empregada nos humanos, animais, vegetais, solo e água. Na agricultura ela pode ser utilizada no controle de pragas, doenças, melhorar a

produtividade das culturas e a defesa natural das plantas. Os preparados homeopáticos estimulam o sistema de defesa dos vegetais de modo que resistam às pragas e agentes de doenças. Na agricultura é comum a aplicação de preparados homeopáticos feitos com o próprio agente causador do problema fitossanitário, ou seja, do desequilíbrio do sistema de defesa da planta, tais como inseto e ácaros fitófagos e microrganismos fitopatogênicos. Esses preparados são chamados de nosódios (ou bioterápicos) (CAPA, 2004; RESENDE, 2014). As homeopantias são feitas a partir da tintura-mãe e utiliza-se sempre a escala centesimal criada por Hahnemann (CH = Centesimal Hahnemanniana) (CAPA, 2004). O nosódio vivo é preparado com agentes vivos, podendo ser aplicado somente nas dinamizações acima de 5CH, mas quando envolve organismos que contaminam agressivamente, deve-se adotar dinamizações acima de 12CH (RESENDE, 2014). Os nosódios podem ser preparados na própria propriedade, proporcionando autonomia e independência do produtor rural. Informações sobre modo de preparar, guardar e usar podem ser obtidas nas seguintes referências: CAPA (2004) e Resende (2014). Muitas pesquisas têm relatado a eficiência dos preparados homeopáticos no controle de pragas e doenças de diversas culturas de importância econômica, como, por exemplo, as conduzidas por Almeida et al. (2003) e Rupp et al. (2007) no controle de insetos-praga, e Cheema et al. (1993) e Rolim et al. (2001) no controle de fitopatógenos.

#### 2.4.7 Biofertilizantes líquidos

São formulações que funcionam como fontes suplementares de micronutrientes e de componentes inespecíficos, acreditando-se que possam influir positivamente na resistência das plantas ao ataque de fitoparasitas, regulando e tonificando o metabolismo vegetal. São substâncias permitidas por lei para uso na agricultura orgânica no Brasil como fertilizante, conforme o Anexo III da IN 17/2014. Os tipos mais conhecidos são o Agrobio, desenvolvido pela Pesagro-Rio, o biofertilizante Vairo e o Super Magro (SAYÃO, 2001; FERNANDES et al., 2005). Ainda, já foi relatado que os biofertilizantes têm o potencial para controlar diretamente alguns fitoparasitas através de substâncias com ação fungicida, bactericida

e/ou inseticida presentes em sua composição (SAYÃO, 2001; FERNANDES et al., 2005). Medeiros (2002) observou a eficiência de biofertilizante (Microgeo®) no controle do ácaro da leprose (*Brevipalpus phoenicis*), causando a mortalidade dos indivíduos, sendo uma das possíveis causas atribuída à produção de substância coloidal (goma) que resultou na aderência das pernas anteriores ao gnatossoma que deve ter impedido a locomoção e alimentação do ácaro. Medeiros et al. (2003) observaram que durante a fermentação aeróbica do biofertilizante líquido no processo de compostagem líquida contínua, metabólitos secundários são produzidos, tais como toxinas, antibióticos, fitoreguladores (IAA e giberelinas), terpenos, fenóis, polifenóis, etc., muito dos quais têm ação no controle pragas e doenças.

### 3. REFERÊNCIAS

- AGROFIT. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 31 ago. 2017.
- Aguiar-Menezes EL. Controle biológico de pragas: princípios e estratégias de aplicação em ecossistemas agrícolas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. 44p. (Série Documentos, 164).
- Aguiar-Menezes EL. Diversidade vegetal: uma estratégia para o manejo de pragas em sistemas sustentáveis de produção agrícola. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 68p. (Série Documentos, 177).
- Aguiar-Menezes EL. Inseticidas botânicos: seus princípios ativos, modo de ação e uso agrícola. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 58p. (Série Documentos, 205).
- Aguiar-Menezes EL, Silva AC. Plantas atrativas para inimigos naturais e sua contribuição para o controle biológico de pragas agrícolas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2011. 60p. (Série Documentos, 283p).
- Aguiar-Menezes EL, Souza JF, Souza SAS, Leal MR, Costa JR, Menezes EB. Armadilha PET para captura de adultos de moscas-das-frutas em pomares comerciais e domésticos. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 9p. (Circular Técnica, 16).
- Almeida AA, Galvão CJC, Casali VWD, LIMA RL, Miranda GV. Tratamentos homeopáticos e densidade populacional de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em plantas de milho no campo. Revista Brasileira de Milho e Sorgo 2:1-8, 2003.
- Almeida JTS, Medici LO, Aguiar-Menezes EL. Eficiência e princípio de funcionamento de barreira física cônica contra as quenquêns. Floresta 43:633-642, 2013.
- Altieri MA, Silva EM, Nicholls CI. O papel da biodiversidade no manejo de pragas. Ribeirão Preto: Holos, 2003. 226p.
- Altieri M. Ecologia das doenças vegetais e seu manejo. In: Altieri M (Ed.). Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3.ed. São Paulo, Rio de Janeiro: Expressão Popular, AS-PTA, 2012. p. 327-343.
- Altmann N. Manejo de doenças do solo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 15., Goiana, GO. 2016. 21p. Disponível em: <<http://www.15enpdp.com.br/wp-content/uploads/2016/10/NILVO-ALTMAN.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2017.
- Alves SB. Controle microbiano de insetos. Piracicaba: FEALQ, 1998. 1163p.
- Andrade KA, Aguiar-Menezes EL, Gonçalves-Esteves V, Mendonça CBF, Vieira GRM, Melo SJ, Magalhães JLA, Melo GJB. Pollen ingestion by

- Chrysoperla externa* (Hagen) adults in a diversified organic agroecosystem. Neotropical Entomology. doi: 10.1007/s13744-017-0537-8 (Epub ahead of print).
- Baptista MJ, Souza RB, Pereira W, Lopes CA, Carrijo OA. Efeito da solarização e biofumigação na incidência da murcha bacteriana em tomateiro no campo. Horticultura Brasileira 24: 161-165, 2006.
- Barbosa FS, Aguiar-Menezes EL, Arruda LN, Santos CLR, Pereira MB. Potencial das flores na otimização do controle biológico de pragas para uma agricultura sustentável. Revista Brasileira de Agroecologia 6: 101-110, 2011.
- CAPA. Centro de Apoio ao Pequeno Agricultor. Homeopatia simples, alternativa para pequenos agricultores. Maringá: Grupo de Estudos de Homeopatia na Agricultura Alternativa, UEM, 2004. 25p. Disponível em: <<http://www.franca.sp.gov.br/expoverde/Homeopatia%20Simples%20Alternativa%20para%20Pequenos%20Agricultores.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2017.
- Cheema SS, Kapila S, Kumar A. Efficacy of various bio-products e chemicals against tobacco mosaic virus in tomato e cucumber mosaic virus in bottle gourd. Plant Disease Research 8: 110-114, 1993.
- Costa JS, Junqueira AMR, Silva WLC, França FH. Impacto da irrigação via pivô central no controle da traça-do-tomateiro. Horticultura Brasileira 16: 19-23, 1998.
- Fernandes MCA, Ribeiro RLD, Aguiar-Menezes EL. Manejo ecológico de fitoparasitas. In: Aquino AM, Assis RL (Eds.). Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 273-322.
- Fery RL, Cuthbert Jr FP. Effect of plant density on fruitworm damage in the tomato. HortScience 9: 140-141, 1974.
- Fiedler AK, Landis DA, Wratten SD. Maximizing ecosystem services from conservation biological control: the role of habitat management. Biological Control 45: 254-271, 2008.
- França SCA, Luz AB, Inforçati PF. Diatomita. Série Rochas e Minerais Industriais, 1: 399-411, 2005.
- Gaertner C, Borba RS. Diferentes cores de armadilhas adesivas no monitoramento de pragas em alface hidropônica. Revista Thema 11: 4-11, 2014.
- Gallo D, Nakano O, Silveira Neto S, Carvalho RPL, Baptista GC, Berti Filho E, Parra JRP, Zucchi RA, Alves SB.; Vendramim JD, Marchini LC, Lopes JRS, Omoto C. Métodos de controle de pragas. In: Gallo D, et al. (Eds.). Entomologia agrícola. Piracicaba: FEALQ, 2002. p. 243-359.
- Guedes ELF. Identificação dos insetos e semioquímicos envolvidos na polinização da pinheira (*Annona squamosa* L.). 2015. 59p. Dissertação



- (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, AL.
- Guimarães AM, Pavan MA. Efeito da barreira física com plantas de *Crotalaria juncea* e da cobertura morta com casca de arroz na incidência de Tospovirus na cultura da alface. *Summa Phytopathologica* 24: 81-82, 1998.
- Jaccoud Filho DS, Henneberg L, Grabicoski EMG, Wutzki CR, Pierre MLC, Berger Neto A, Huller GC, Tulio HE, Baran CL, Sartori FF, Nadal VG, Castro RR, Vrisman CM, Cantele MA, Manosso Neto MO, Justino A, Pereira AB, Beruski GC, Zadra MM, Fonseca AF. Estratégias de manejo e controle do mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) na cultura da soja. *Tropical Plant Pathology* 39: 15-17, 2014.
- Johanowicz DL, Mitchell ER. Effects of sweet alyssum flowers on the longevity of the parasitoid wasps *Cotesia marginiventris* (Hymenoptera: Braconidae) and *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Florida Entomologist* 83: 41-47, 2000.
- Jordão AL, Nakano O. Ensacamento de frutos do tomateiro visando ao controle de pragas e à redução de defensivos. *Scientia Agricola* 59: 281-289, 2002.
- Kareiva P. The influence of vegetational texture on herbivory: resource concentration e herbivore movement. In: Denno RF, McClure MS (Eds.). *Variable plants and herbivores in natural and managed systems*. New York: Academic Press, 1983. p. 259-289.
- Katan J. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Annual Review of Phytopathology* 9: 211-236, 1981.
- Katan J, Greenberger A, Alon H, Grinstein A. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology* 66: 683-688, 1976.
- Keske C, Gonçalves PAS, Keske G. Incidência de pragas e doenças e qualidade de frutos ensacados de pessegueiros da cultivar Douradão em sistema de produção orgânico. *Revista Brasileira de Agroecologia* 5: 216-223, 2010.
- Lara FM. Princípios de resistência de plantas aos insetos. São Paulo: Ícone, 1991. 336p.
- Liebman M. Sistemas de policultivos. In: Altieri M (Ed.). *Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável*. 3.ed. São Paulo, Rio de Janeiro: Expressão Popular, AS-PTA, 2012. p. 221-240.
- Lima JEO. Dispositivo protetor de troncos de plantas em geral. Disponível em: <<https://www.escavador.com/patentes/378894/dispositivo-protetor-de-troncos-de-plantas-em-geral>>. Acesso em: 31 ago. 2017.
- Linderman RG. Organic amendments and soil-borne diseases. *Canadian Journal of Plant Pathology* 11: 180-183, 1989.

- Lixa AT, Campos JM, Resende ALS, Silva JC, Almeida MMTB, Aguiar-Menezes EL. Diversidade de Coccinellidae (Coleoptera) em plantas aromáticas (Apiaceae) como sítios de sobrevivência e reprodução em sistema agroecológico. *Neotropical Entomology* 39: 354-359, 2010.
- Lorini I, Krzyzanowski FC, França-Neto JB, Henning AA, Henning FA. Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas. Brasília: Embrapa, 2015. 84p.
- Lu Y, Bei Y, Zhang J. Are yellow sticky traps an effective method for control of sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*, in the greenhouse or field? *Journal of Insect Science* 12: 1-12, 2012.
- Luiz RG, Araujo MLNM, Silva CV, Melo MA, Alves VES. Eficiência de atrativos na captura do moleque-da-bananeira *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1824) (Coleoptera: Curculionidae). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA EM AGRONEGÓCIO, 9., Botucatu, 2017. Disponível em: <<http://www.sintagro.cps.sp.gov.br/art/artigoindex.php?id=156>>. Acesso em: 31 ago. 2017.
- Malavasi A. Guia de armadilhamento de moscas-das-frutas. Juazeiro: Moscamed Brasil, 2007. 10p.
- Martins JFS, Afonso-Rosa APS, Mattos MLT, Lima CAB, Büttow G, Striede GM, Silva LF, Scivittaro WB. Influência da drenagem temporária da água de irrigação do arroz na infestação da bicheira-da-raiz e na produtividade da cultivar BRS Querência. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 6p.
- Mchugh J, Foster R. Reduction of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) infestation in head cabbage by overhead irrigation. *Journal of Economic Entomology* 88: 162-168, 1995.
- Medeiros MA, Resende FV, Togni PHB, Sujii ER. Efeito do consórcio cultural no manejo ecológico de insetos em tomateiro. Brasília, Embrapa Hortaliças, 2009. 10p. (Circular Técnica, 65).
- Medeiros MB. Ação de biofertilizantes líquidos na biologia do ácaro *Brevipalpus phoenicis*. 2002. 110p. Tese (Doutorado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.
- Medeiros MB, Wanderley PA, Wanderley MJA. Biofertilizantes líquidos. *Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento* 31: 38-44, 2003.
- Melo EP, Lima Junior IS, Bertencello TF, Suekane R, Degrande PE, Fernandes MG. Desempenho de armadilhas à base de feromônio sexual para o monitoramento de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do milho. *Entomotropica* 26: 7-15, 2011.
- Menezes AF, Machado TA, Carvalho PH, Meyer MC. Longevidade de escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* sob diferentes formas de manejo de solo. *Tropical Plant Pathology* 39: 346, 2014.

- Mesquita ALM. Importância e métodos de controle do moleque ou broca-do-rizoma da bananeira. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 2003. 5p. (Circular Técnica, 17).
- Monteiro LB, Souza MFS. Ocorrência e controle de tripes na floração em nectarina ‘Bruna’ na Lapa, PR. Scientia Agraria 14: 29-34, 2013.
- Moressi M, Moraes Neto A, Crepaldi RA, Carbonari V, Demétrio MF, Silvestre R. Eficiência do controle mecânico de formigas cortadeiras (*Atta laevigata*) no reflorestamento com espécies nativas. O Biológico 69: 471-473, 2007.
- Oliveira ACR, Veloso VRS, Barros RG, Fernandes PM, Souza ERB. Captura de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) com armadilha luminosa na cultura do tomateiro tutorado. Pesquisa Agropecuária Tropical 38: 153-157, 2008.
- Oliveira AT, Junqueira AMR, França FH. Impacto da irrigação por aspersão convencional na dinâmica populacional da traça-das-crucíferas em plantas de repolho. Horticultura Brasileira 18: 37-40, 2000.
- Parra JRP, Botelho PSM, Corrêa-Ferreira BS, Bento JMS. Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores. São Paulo: Manole, 2002. 635p.
- Paulo HH. Efeitos de extratos de fumo e nim sobre *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) e *Coleomegilla maculata* DeGeer (Coleoptera: Coccinellidae). 2017. 77p. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- Polito WL. Calda sulfocálcica, bordalesa e viçosa: os fitoprotetores no contexto da trofobiose. Agroecologia Hoje 1: 20-21, 2000.
- Resende ALS, Lixa AT, Santos CMA, Souza SAS, Guerra JGM, Aguiar-Menezes EL. Comunidade de joaninhas (Coleoptera: Coccinellidae) em consórcio de couve (*Brassica oleraceae* var. *acephala*) com coentro (*Coriandrum sativum*) sob manejo orgânico. Revista Brasileira de Agroecologia 6: 81-89, 2011.
- Resende ALS, Silva EE, Guerra JGM, Aguiar-Menezes EL. Amostragem de pulgões alados utilizando bandeja d’água e placa adesiva. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007 (Circular Técnica, 19).
- Resende JM. Caderno de homeopatia, instruções práticas geradas por agricultores sobre o uso da homeopatia no meio rural. 4.ed. Viçosa: UFV, 2014. 48p. Disponível em: <<http://www.dft.ufv.br/Caderno%20de%20Homeopatia%202014%20final.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2017.
- Ribas RGT, Junqueira RM, Oliveira FL, Guerra JGM, Almeida DL, Ribeiro RLD. Adubação verde na forma de consórcio no cultivo do quiabeiro sob manejo orgânico. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2002. 4p.

- Ricci MSF, Almeida DL, Fernandes MCA, Ribeiro RLD, Cantanheide MCS. Efeito da solarização do solo na densidade populacional de tiririca e na produtividade de hortaliças sob manejo orgânico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35: 2175-2179, 2000.
- Rickli RC. Os preparados biodinâmicos: introdução à preparação e uso. 2.ed. Botucatu: Deméter, 1986. 63p.
- Rolim PRR, Briganineto F, Souza JM. Ação de produtos homeopáticos sobre oídio (*Oidium lycopersici*) do tomateiro. *Summa Phytopathologica* 27: 129, 2001.
- Root RB. Organization of plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassicae oleraceae*). *Ecology Monograph* 43: 95-124, 1973.
- Rupp LCD, Boff MIC, Botton M, Santos F, Boff P. Preparados homeopáticos para o manejo das moscas-das-frutas na cultura do pessegueiro. *Revista Brasileira de Agroecologia* 2: 1606-1610, 2007.
- Saito ML. As plantas praguicidas. *Informativo Meio Ambiente e Agricultura* 12: 1-11, 2004.
- Sayão CRC. O biofertilizante Agrobio: composição microbiológica e seus efeitos no controle da mancha bacteriana em mudas de pimentão (*Capsicum annum*). 2001. 49p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- Silva MG, Sharma RD, Junqueira AM, Oliveira CM. Efeito da solarização, adubação química e orgânica no controle de nematóides em alface sob cultivo protegido. *Horticultura Brasileira* 24: 489-494, 2006.
- Silva MTB. Influência da rotação de culturas na infestação e danos causados por *Sternechus subsignatus* (Boheman) (Coleoptera: Curculionidae) em plantio direto. *Ciência Rural* 26: 1-5, 1996.
- Silveira Neto S, Silveira AC. Armadilha luminosa modelo "Luiz de Queiroz". *O Solo* 61: 19-21, 1969.
- Singh D, Kothari SK. Intercropping effects on mustard aphids (*Lipaphis erysimi* Kalténback) populations. *Crop Science* 37: 1263-1264, 1997.
- Sujii ER, Venzon M, Medeiros MA, Pires CSS, Togni PHB. Práticas culturais no manejo de pragas na agricultura orgânica. In: Venzon M, Paula Jr. TJ, Pallini A (Coods.). *Controle alternativo de pragas e doenças na agricultura orgânica*. Viçosa: EPAMIG, 2010. p. 143-168.
- Syme PD. The effect of flowers on the longevity and fecundity of two native parasites of the European pine shoot moth in Ontario. *Environmental Entomology* 4: 337-346, 1975.
- Tiglia EA, Vilela EF, Moura JIL, Anjos N. Eficiência de armadilhas com feromônio de agregação e cana-de-açúcar na captura de *Rhynchophorus palmarum* (L.). *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 27: 177-183, 1998.

- Tylianakis JM, Didham RK, Wratten SD. Improved fitness of aphid parasitoids receiving resource subsidies. *Ecology* 85: 658-666, 2004.
- Venzon M, Rosado MC, Pallini A, Fialho A, Pereira CJ. Toxicidade letal e subletal do nim sobre o pulgão-verde e seu predador *Eriopis connexa*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42: 627-631, 2007.
- Wiseman BR, McMillian, WW. Relationship between planting date and damage to grain sorghum by the sorghum midge, *Contarinia sorghicola* (Diptera: Cecidomyiidae), in 1968. *Journal of the Georgia Entomological Society* 4: 55-58, 1969.
- Wratten SD, Lavandero BI, Tylianakis J, Vattala D, Çilgi T, Sedcole R. Effects of flowers on parasitoid longevity and fecundity. *New Zealand Plant Protection* 56: 239-245, 2003.
- Xavier LMS, Laumann RA, Borges M, Magalhães DM, Vilela EF, Blassioli-Moraes MC. *Trichogramma pretiosum* attraction due to the *Elasmopalpus lignosellus* damage in maize. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46: 578-585, 2011.
- Yoltas T, Baspınar H, Aydin AC, Yildirim EM, Economou AS, Read PE. The effect of reflective and black mulches on yield, quality and aphid populations on processing tomato. *Acta Horticulturae* 616: 267-270, 2001.
- Zanuncio JC, Mourão SA, Martínez LC, Wilcken CF, Ramalho FS, Plata-Rueda A, Serrão JE. Toxic effects of the neem oil (*Azadirachta indica*) formulation on the stink bug predator, *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Scientific Reports* 6: 1-8, 2016.
- Zarbin PHG, Rodrigues MACM, Lima ER. Feromônios de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil. *Química Nova* 32: 722-731, 2009.

## CAPÍTULO 4

# MELHORAMENTO GENÉTICO DE PLANTAS NO SÉCULO XXI

Wellingson Assunção Araujo  
Carlos Eduardo Magalhães dos Santos

### 1. BASE DO MELHORAMENTO GENÉTICO

1.1 As primeiras seleções de plantas e a origem de populações fixas

A história do melhoramento genético se confunde com a da agricultura e também com a da fixação do homem em diversos territórios, o que aconteceu depois de milhares de anos de vida nômade.

A, aproximadamente, 10 mil anos atrás iniciava-se o uso de um método de melhoramento de plantas que até hoje é utilizado, tal método consiste na coleta de grãos de plantas, aparentemente superiores às demais, e uso destes como sementes para a produção de novas plantas. Esperava-se que as plantas advindas dessas sementes tivessem características semelhantes às que as deram origem.

Enquanto os homens eram responsáveis pela caça e pela guerra, era das mulheres a responsabilidade de selecionar grãos de trigo e cevada que possuíam vantagens, quando comparadas com as demais, e o uso destas para o próximo plantio. Caracteriza-se, dessa forma, as primeiras seleções de materiais de caráter superior feitas pelo ser humano, atividade que influenciou diretamente na evolução e na estrutura genética dessas culturas, propiciando a domesticação de culturas de alta importância para a alimentação humana.

Diante da domesticação destas importantes espécies já se existia a possibilidade da permanência do homem em um lugar por um maior espaço de tempo, o que resultou no aparecimento das

primeiras cidades e povoados, já que se tornava possível o armazenamento de alimento.

Acredita-se que o melhoramento genético de plantas pelo homem, através das seleções, foi feito de maneira não consciente por muito tempo. No entanto, a pressão de seleção, exercida pela escolha de materiais que apresentavam melhor sabor, odor, porte e diversas outras características, mudou drasticamente o padrão de evolução das culturas de interesse agrônômico.

A seleção e domesticação são processos responsáveis pela quase totalidade de espécies utilizadas na alimentação humana, as quais, influenciaram e continuam influenciando diretamente na sua evolução, justificando assim todos os esforços no entendimento de técnicas de melhoramento genético dessas plantas, buscando sempre a melhoria de características que possam proporcionar um melhor aproveitamento e o uso eficiente dessas plantas na dieta humana.

## 1.2 A evolução segundo Darwin

São provenientes dos estudos do Naturalista britânico Charles Darwin os conceitos de Evolução, uma das áreas mais estudadas nas ciências naturais. Em resumo, Darwin chamou a evolução de descendência com modificações, propondo que as espécies mudam com o tempo, originando novas espécies, sendo essas mudanças causadas, digamos, pelo isolamento ou condições ambientais, mas todas as espécies mantêm um ancestral comum.

A origem dessas novas espécies é baseada nos conceitos de seleção natural. Nesses conceitos Darwin propõe que a seleção se dá com base nas limitações encontradas pelas espécies, fazendo com que as que possuem maior capacidade de adaptação se mantenham ao passo que, as que não possuem essa capacidade vão desaparecendo.

Tudo se baseia no grau de adaptabilidade das espécies ao ambiente. Isto por que, as mais adaptadas são resultados de melhoras sucessivas, adquiridas ao longo do avanço de gerações, tornando-se cada vez mais estruturadas naquele ambiente que as favorece.

Para que a adaptabilidade ocorra, faz-se necessário a existência de variabilidade genética dentro da espécie, fazendo com que aqueles indivíduos que tenham a característica adaptativa garantam a não extinção desta.

Os trabalhos de Darwin são frutos das viagens feitas por ele entre os anos de 1831 a 1836, quando foi membro de uma expedição topográfica feita a bordo do navio HMS Beagle. A expedição percorreu parte dos continentes Africano, Asiático e, também, o continente Americano. Em cada parada, Darwin teve a oportunidade de observar e catalogar plantas e animais.

Um das paradas da expedição foi na Ilha de Galápagos, costa do Equador, onde Darwin pode observar pequenas diferenças entre espécies semelhantes à tentilhões. Ele observou que as espécies de aves eram muito parecidas, mas mostravam adaptações às condições do ambiente que viviam. Uma das adaptações era na forma e força dos bicos dos pássaros. Aqueles que se alimentavam de sementes duras, possuíam um bico mais forte e duro enquanto outros, que tinham a sua dieta baseada em insetos, possuíam o bico afiado e fino.

Outra característica observada por Darwin foi que as espécies eram semelhantes quando comparadas com territórios vizinhos à ilha e a faixa costeira, porém, eram bem diferentes das demais observadas ao longo das paradas em continentes distantes. Foi assim que ele propôs que as aves que viviam em diferentes ambientes poderiam ter um ancestral comum e foram se adaptando gradativamente aos ambientes atuais, conforme avanço das gerações.

Foi no livro 'A Origem das Espécies' que Darwin discutiu todas essas observações que, segundo ele, são baseadas na evolução através da seleção natural, mostrando que as espécies que se originam de outras preexistentes possuem traços herdados e adaptações, que fazem que essas não pereçam em ambientes que seus antecedentes pereceriam.



### 1.3 Genética de Mendel – Base genética do melhoramento de plantas

Considerado o pai da genética, Johann Gregor Mendel, filho de agricultores, nasceu em 1822, na atual República Checa e foi professor, cientista e monge. Vindo de uma família de poucas posses, mas, com uma enorme sede por conhecimento ele conseguiu, mesmo com muitas dificuldades financeiras e problemas de saúde graduar-se na universidade.

Ao término da universidade Mendel passou a fazer parte da ordem no Mosteiro Agostiniano de São Tomás, em Brünn, onde ministrou aulas de física, botânica e ciências da natureza. O mosteiro era considerado, na época, o centro intelectual e cultural da região, proporcionando a ele exposição a diversos pensamentos que contribuíram para o seu desenvolvimento como cientista.

Mendel iniciou seus estudos na observação de ratos, porém tempos depois mudou os seus objetos de pesquisa e passou a trabalhar com abelhas e plantas. Ele encontrou nas ervilhas de jardim o seu sistema modelo primário ideal. A escolha de Mendel foi inteligente e justificável, pois, ao trabalhar com plantas que tem ciclo curto de desenvolvimento, facilidade de cruzamento e características contrastantes facilitou a mensuração das características e o estudo do comportamento destas dentro dos cruzamentos e ao longo do avanço das gerações.

Iniciado em 1856 e com duração de dez anos, o experimento com ervilhas teve como primeiro passo o desenvolvimento de linhagens puras e com características contrastantes. Durante o avanço das gerações e a fixação das características, Mendel catalogou o comportamento e o número exato de descendentes que mostravam cada um das características.

Foi estudado um total de sete características distintas que incluíam, dentre outras, altura, cor da flor, cor e formato da semente, ao fim do experimento que contou com aproximadamente 30.000 plantas de ervilha, Mendel observou que sempre uma característica se sobressaía em relação à outra, como, por exemplo, plantas altas sobre plantas baixas, denominando, assim, as plantas que sobressaíam de traço dominante e as que não se sobressaíam

de traço recessivo, e que cada um desses fenótipos é controlado por um par de fatores.

Outras duas conclusões deram origem a duas leis de Mendel. A primeira, chamada de lei da segregação, ele afirma que, quando um organismo produz gametas, cada gameta recebe apenas uma cópia de cada gene, que é selecionado aleatoriamente. A segunda, também conhecida como lei da segregação independente, mostra que características diferentes eram herdadas independentemente umas das outras.

Todas as conclusões de Mendel e suas metodologias foram publicadas com o título de 'Experimentos na Hibridização de Plantas', nos Encontros da Sociedade de História Natural de Brünn, no ano de 1866. Devido ao modelo e metodologia empregada por Mendel, que era bem diferente do que se tinha na época, o trabalho teve pouco reconhecimento, ficando esquecido até 1900, ano em que o trabalho de Mendel foi redescoberto, novamente testado e revitalizado, sendo até hoje usado para o estudo e ensino de características de caráter monofatorial.

#### 1.4 Genética quantitativa – Estudo de caracteres quantitativos

A genética quantitativa é o ramo da genética que tem como foco de estudo as características poligênicas, isto é, aquelas que são governadas por mais de um gene. Geralmente características de interesse agrônomo como produtividade, resistência e tolerância a pragas e doenças tem comportamento poligênico.

O estudo de características poligênicas baseia-se em parâmetros da população, diferentemente da genética qualitativa, que faz inferências a nível de indivíduo e das proporções encontradas após os cruzamentos.

As características quantitativas são muito influenciadas por efeitos ambientais, porém, entende-se que existe um gene maior, que fornece um número maior de classes e que é passível de estudo através da genética quantitativa.

Para o entendimento da genética quantitativa necessita-se saber que ela se baseia numa expressão que define o fenótipo observado como resultado da interação do genótipo com o meio ( $F = G + M$ ).

Pode-se, também, estabelecer o valor da variância do ambiente com o estudo dos indivíduos provenientes do cruzamento entre pais contrastantes homocigotos para o caráter, pois os indivíduos heterocigotos, resultados desse cruzamento, não mostram efeitos aditivos e nem de dominância, já esses efeitos genéticos podem ser avaliados na segunda geração (F<sub>2</sub>) destes cruzamentos, onde já se faz possível o estudo de herdabilidade.

A herdabilidade do caráter é uma das respostas mais procuradas pelos melhoristas quando se realiza o cruzamento, pois, como só se pode mensurar o fenótipo, é de extrema importância uma ferramenta genética que possa decompor quanto da característica expressa pelo fenótipo é de caráter genético e quanto é, apenas, influência do meio.

Para a produção de cultivares híbridas outro parâmetro quantitativo é muito importante, a heterose. Entende-se por heterose a média da primeira geração de descendentes (F<sub>1</sub>) sobre os pais. Um programa de melhoramento, que visa a produção de cultivares híbridas, busca-se sempre elevar esses ganhos, tornando o híbrido uma cultivar superior às já existentes no mercado.

No estudo da F<sub>2</sub>, onde se encontra uma grande variabilidade, pode ser feita também ensaios com seleção dos melhores indivíduos e intercruzamento destes, obtendo os resultados desses intercruzamentos e comparando-os com a média da população geral, tem-se o ganho por seleção. O ganho por seleção é fator importante dentro de um programa de melhoramento, pois almeja-se que a população melhorada seja melhor que a população original, fornecendo, assim, genótipos superiores.

## 2. MÉTODOS DE MELHORAMENTO POR SELEÇÃO

Como anteriormente abordado, o método de seleção é considerado o mais antigo método de melhoramento de plantas, porém durante o avanço dos estudos na área esse método sofreu adaptações em busca de melhores resultados.

O método de seleção mais simples é denominado de seleção massal. Neste método seleciona-se os melhores genótipos da população com base nas características fenotípicas, formando com

estas uma nova população de trabalho. Para aumentar a acurácia podem ser feitos dois ou três ciclos de seleção. O método é de baixo custo, fácil execução e funciona bem para características de alta herdabilidade, porém um dos gargalos é o método sofre muita influencia das condições ambientais.

Uma das adaptações do método de seleção massal deu origem a método de seleção com teste de progênie, neste método busca-se avaliar genótipos superiores com base no teste de sua descendência. A estruturação do método se da na seguinte forme, primeiramente são selecionados os genótipos que terão suas progênies testadas, destes são coletados sementes, estas são plantadas e posteriormente se da à avaliação de uma possível superioridade dos genótipos.

Com o uso do método de seleção com teste de progênie pode-se diminuir os erros de seleção, pois as sementes podem ser testadas em diversos locais, minimizando os erros provenientes da influencia do meio.

Quando o objetivo é selecionar plantas superiores, mas manter a variabilidade dentro da população é usado outro método de seleção denominado de seleção recorrente. O método é composto por quatro etapas: i) obtenção de progênies, ii) avaliação de progênies, iii) seleção e iv) recombinação. Em resumo, o método busca a obtenção e seleção de progênies superiores e intercruzamento entre estas.

Variações do método de seleção recorrente como a seleção recorrente com teste de progênie, com capacidade de combinação e recorrente recíproca também podem ser utilizadas para a obtenção de cultivares melhoradas, pois assim pode ser aproveitado ao máximo todas as vantagens dos métodos de seleção.

### 3. A BIOTECNOLOGIA NO MELHORAMENTO GENÉTICO

Ferramentas biotecnológicas tem sido amplamente utilizada no desenvolvimento de material genético de notável superioridade. O emprego dessas ferramentas tem proporcionado o entendimento das culturas a nível fisiológico e molecular, trazendo respostas que

funcionam como saídas para problemas enfrentados no melhoramento clássico.

O emprego dessas técnicas, conjuntamente com os cruzamentos entre e dentro de espécies, tem formando uma rede de informações genéticas, que tem proporcionado o melhor desenvolvimento de cultivares superiores em todas as características de interesse agrônomo como, por exemplo, resistência a pragas e doenças, tolerância a alumínio, déficit hídrico, porte, produtividade e características dos produtos finais.

A cultura de tecidos, transformação genética, marcadores moleculares e as ômicas podem ser citadas como exemplo de técnicas bem difundidas, de bom entendimento pela comunidade científica e de alta empregabilidade no melhoramento de plantas.

### 3.1 Cultura de tecidos e celular vegetais

Com as ferramentas de cultura de tecidos e celular vegetais podem ser desenvolvidos materiais superiores solucionando alguns problemas encontrados por melhoristas em diversas culturas.

Com o seu uso é possível o desenvolvimento de indivíduos haploides, duplo-haploides e poliploides, através do cultivo de anteras e óvulos *in vitro* e posterior duplicação genômica por meio de inibidores de fusos mitóticos, o que permite o desenvolvimento de cultivares com maior nível de homozigose e fixação de características. Pode-se, também, alcançar cultivares com maior produção, porte e melhor desenvolvimento, além de indivíduos contrastantes para posterior cruzamento e aumento do vigor híbrido em seus descendentes.

Outro uso amplamente difundido em programa de melhoramento são os clones desenvolvidos *in vitro* através da organogênese direta e embriogênese somática.

A organogênese direta consiste no uso de reguladores de crescimento em diferentes combinações e concentrações para a obtenção de várias plantas idênticas desenvolvidas a partir de qualquer material vegetal de um indivíduo superior, denominado explante, sem que haja a necessidade de formação de calos intermediários, para obtenção de órgãos vegetais, como raízes ou parte aérea, de forma direta.

A embriogênese somática, visa, inicialmente, a obtenção de embriões através de células somáticas, produzidos calos embriogênicos que, posteriormente germinados, dão origem a novas plantas idênticas ao material vegetal usado como explante, possuindo a mesma composição genética, sendo assim, consideradas clones. Nesse método também são utilizados combinações e concentrações de hormônios vegetais para a obtenção dos calos embriogênicos e a germinação destes.

A clonagem *in vitro* surge como uma saída quando não se consegue a clonagem por propagação vegetativa e deseja-se propagar um material de interesse em larga escala e livre de patógenos exógenos e endógenos, já que é possível fazer a limpeza clonal de todos os indivíduos produzidos *in vitro*.

### 3.2 A fusão de protoplastos ou hibridização somática

A Produção de híbridos interespecíficos ou advindos de plantas com baixa compatibilidade pode ser obtida através da fusão de protoplastos e posterior regeneração destes, essa técnica é utilizada quando se deseja superar as barreiras encontradas nos cruzamentos entre espécies aparentadas ou não compatíveis.

A fusão de protoplastos proporciona a manipulação de características extra-cromossômicas transformando a técnica num meio auxiliar e alternativo ao melhoramento clássico, pois é possível modificar células vegetais mediante a fusão nucleares ou citoplasmáticas, podendo formar células com citoplasmas advindos das duas espécies, os chamados citoplasmas híbridos, objetivo que não pode ser alcançado nos cruzamentos normais já que o citoplasma é herança materna.

### 3.3 Cultivo mínimo e a criopreservação *in vitro*

Diversos programas de melhoramento também utilizam a técnica de cultivo *in vitro* para a criopreservação e manutenção de germoplasma. Esta técnica facilita a manutenção de germoplasma, pois pode-se proporcionar condições ambientais e nutricionais para a manutenção de alguns genótipos que não sobreviveriam as condições *ex vitro*, além de minimizar e otimizar a utilização de

espaço. No entanto, deve-se salientar também que a grande maioria dos processos de uso de cultivo *in vitro* demandam espaço e investimento.

### 3.4 A transformação genética de plantas

Um das ferramentas mais importantes nos programas de melhoramento é a transformação genética de plantas. Esta técnica proporciona a introdução de genes de interesse, sendo estes exóginos, advindos de indivíduos filogenicamente distantes ou não, no genoma funcional de diversas espécies, genes esses, em sua maioria, de extrema importância para o alcance de cultivares elite, sendo, na maioria das vezes, o diferencial da nova cultivar produzida em relação às demais já existentes.

O produto resultante da transformação genética é comumente denominado de organismo geneticamente modificado, organismos estes que são desenvolvidos a partir de técnicas sofisticadas desenvolvidas via estudos de engenharia genética.

A técnica é extremamente vantajosa quando se deseja transferir ao genoma do receptor uma característica de caráter monogênico, ou seja, que esta seja ligada a um ou poucos genes. Como são usados na maioria das vezes plasmídeos como vetor de introdução desse gene no genoma funcional de interesse, para caracteres de comportamento controlado por muitos genes, as chamadas características poligênicas, se indica o uso de outras técnicas.

A transformação genética é uma técnica composta por três etapas que devem ser executadas com muita precisão, a primeira consiste na obtenção do gene de interesse, para isso deve-se ter um organismo doador, quando este é encontrado deve ser feito o isolamento desse gene de interesse do restante do seu genoma. Após o isolamento, o gene deve ser incorporado ao vetor que será responsável pela transferência do gene ao organismo receptor.

A segunda etapa do processo é a técnica de introdução do gene no organismo receptor. Três técnicas são amplamente difundidas e devem ser utilizadas dependendo da cultura a se transformar e do objetivo da transformação, para a obtenção de resultados mais satisfatórios. Essas três técnicas são denominadas de transformação por *Agrobacterium tumefaciens*, biobalística e eletroporação.

A transformação por *Agrobacterium tumefaciens*, uma bactéria encontrada no solo que possui um plasmídeo indutor, chamado de plasmídeo TI, capaz de induzir a planta hospedeira a produzir hormônios vegetais e opinas, que são usadas para a nutrição da bactéria.

Deve-se salientar que plantas infectadas com essa bactéria, geralmente, produzem anomalias nas raízes, denominadas de galha-da-coroa, fazendo com que esta bactéria seja considerada nociva, trazendo prejuízos para produção. Para o uso na transformação, o plasmídeo TI da bactéria é modificado, deixando, assim, de expressar genes não interessantes e passando a expressar os genes que se deseja introduzir, tornando o plasmídeo TI em um vetor natural de transformação de plantas.

O processo de transformação ocorre quando partes das plantas passíveis de regeneração (explantes) são cocultivados com a bactéria que possui o plasmídeo modificado, assim a planta é infectada pela bactéria que insere o gene de interesse no seu genoma funcional. Após esse processo de cocultivo esses explantes são expostos a meios seletivos que possuem antibióticos para a eliminação das bactérias e um agente seletivo não favorece células não transformadas levando essas a morte, tendo como produto final apenas células transformadas, que são regeneradas dando origem aos organismos geneticamente modificados.

A transformação usando biobalística parte da combinação de material biológico, o DNA, com a aceleração de micropartículas, ouro ou tungstênio. Essas micropartículas são revertidas com o material genético que contém o gene de interesse e são aceleradas por ar comprimido, ou outro composto que forneça velocidade suficiente para que estas atravessem a parede celular dos tecidos passíveis de regeneração da planta receptora, fazendo que parte do DNA que reveste as micropartículas chegue ao núcleo e possa ser inserido no DNA receptor. Todo o processo de transformação por biobalística deve ser executado dentro de câmaras de vácuo para que o ar não desacelere as micropartículas.

A terceira técnica de transformação, a denominada eletroporação, consiste no uso de pulsos elétricos de alta voltagem para a abertura de poros em protoplastos de genótipos de interesse, causando, assim, a abertura de poros que facilitam a entrada do



vetor de transformação nas células que se desejam transformar, como esses poros formados não são permanentes e se fecham depois que os pulsos são cessados torna-se possível a regeneração dos protoplastos dando origem a plantas transformadas.

### 3.5 Marcadores moleculares

O estudo molecular das espécies no melhoramento vegetal parte do princípio que são necessários materiais contrastantes, de alta qualidade e com características de interesse para a formação de um indivíduo superior aos existentes.

Até meados dos anos 60 para a obtenção desses materiais eram utilizados apenas marcadores genéticos morfológicos, ou seja, aqueles que eram passíveis de mensuração ou observação para a escolha dos pais. Porém, marcadores morfológicos são de número limitado, não se expressam fora de condições ideais, são influenciados pelo meio e não podem ser utilizados em todos os estádios de desenvolvimento.

Os marcadores genéticos moleculares, como são baseados nas sequencias de DNA, não são influenciados por condições ambientais, além disso, o DNA pode ser extraído de qualquer tecido vegetal e em qualquer estágio do desenvolvimento vegetal. Tais marcadores possuem número, quase que, ilimitado diante do tamanho do genoma de cada espécie. Por possuírem todas essas características, os marcadores genéticos moleculares passaram a ser marcadores acessórios, contribuindo para a diferenciação dos indivíduos a nível molecular, proporcionando, assim, o estabelecimento de novos cruzamentos e o estudo de outras características.

Por definição, se caracteriza como marcador molecular qualquer diferença fenotípica a nível molecular. Pode-se, assim, caracterizar polimorfismo, ou seja, um marcador molecular deve ser capaz de diferenciar dois ou mais indivíduos com base nas suas sequencias de DNA, essa sequência deve ser herdável e pode, ou não, estar ligada a um gene expresso.

Os marcadores genéticos moleculares já são empregados nos programas de melhoramento genético com diversas funções como,

por exemplo, a caracterização molecular das espécies, fornecendo um *fingerprint* ou perfil molecular.

O *fingerprint* é uma técnica que proporciona a caracterização da espécie em estudo através de marcadores específicos, formando um perfil único desta espécie. Este perfil pode direcionar cruzamentos entre espécies divergentes, auxiliar na descrição e diferenciação, quando comparada a outro material, tornando, assim, possível o registro desse material junto aos órgãos de proteção de cultivares ou registros de patentes, protegendo os materiais desenvolvidos pelos programas de melhoramento.

Outros usos como, a ligação de marcadores a genes de resistência a pragas e doenças já existentes na região ou a patógenos exóginos ainda não existentes em determinada área, desenvolvimento de mapas genéticos, associação a caracteres quantitativos, estudos de interação genótipo-ambiente, conservação e ampliação de bancos de Germoplasma, teste de paternidade e confirmação de híbridos, testes de pureza e análises de diversidade genética que podem dar origem a grupos heteróticos, podendo também auxiliar na construção de populações base, fazem dos marcadores moleculares uma ferramenta de grande alcance e múltiplas funções dentro dos programas de melhoramento.

A seleção assistida por marcadores tem sido hoje uma área de muito estudo e investimento dentro dos programas de seleção de materiais superiores, isso porque ela pode proporcionar a seleção de genótipos com características de interesse dentro de populações segregantes, diminuindo, assim, o número de combinações necessárias e o número de gerações o que leva a otimização e eficácia dentro dos programas.

Como a seleção assistida por marcadores é um método de seleção indireta, faz-se necessário que cossegregue conforme a população estudada ou esteja ligado ao gene e deve ter uma herdabilidade próxima a 100% para que o processo seja altamente eficiente.

Estão disponíveis para uso no melhoramento genéticos vários tipos de marcadores moleculares que contem características específicas de uso, comportamento de dominância, formas de desenvolvimento, abrangência de locus, podendo avaliar desde diferenças de um a vários pares de bases.

Um marcador genético molecular eficiente deve ser de baixo custo, para que este possa ser usado de forma rotineira, e de fácil uso, no entanto, ainda hoje são encontrados problemas relacionados aos custos de técnicas de biologia molecular e a onerosos processos de utilização, diante dessas dificuldades tem-se buscado o desenvolvimento de protocolos que possam tornar essa ferramenta mais palpáveis e disponíveis aos melhoristas.

#### 4. AS CIÊNCIAS ÔMICAS

##### 4.1 Genômica no melhoramento genético de plantas

Estudos de genômica ampla buscam a compreensão estrutural, funcional e organizacional do genoma das espécies através do sequenciamento total destas. As informações obtidas através do sequenciamento e do entendimento genômico fornecem informações importantes ao melhoramento clássico, exemplo disso é a seleção de indivíduos superiores, pois, através desses estudos, podem-se encontrar regiões que controlam características de interesse.

A genômica pode ser dividida em três subáreas de conhecimento: genômica estrutural, funcional e comparativa. Cada uma dessas subáreas da genômica fornecem informações diferenciadas, podem ser utilizadas com base no objetivo do trabalho.

A genômica estrutural busca o entendimento da organização e estrutura dos genes dentro do genoma estudado, buscando, através do sequenciamento e marcadores de DNA, a análise das sequências que são transcritas e as sequências que completam a estrutura genômica geral.

Quando se busca o conhecimento sobre a função e expressão genica são empregados estudos de genômica funcional. Essa parte da genômica busca compreender o comportamento dos genes em ambientes diversos e, também, se essas funções mudam quando o estágio fenológicos das plantas é diferente.

É função da genômica comparativa os estudos de interligação do genoma estrutural e funcional. A maioria dos estudos dessa subárea

da genômica objetiva o conhecimento de todas as correlações entre o genoma funcional e estrutural, as semelhanças entre as sequências de DNA e a determinação do grau de associação dentro e entre espécies.

Ferramentas de bioinformática, como, por exemplo, Differential Display Reverse Transcriptase –PCR, Serial Analysis of Gene Expression (SAGE) e Microarray auxiliam no desenvolvimento de bibliotecas genômicas, que servem de base para o desenvolvimento de QTLs (Quantitative Trait Loci), estudos de genes de efeito maior onde é possível o direcionamento a favor ou contra o genótipo já existente.

#### 4.2 Fenômica

Grandes avanços já têm sido obtidos nas análises genômicas através do sequenciamento e do requinte nas análises de bioinformática, que trazem acurácia para os dados, fornecendo, aos melhoristas, um alto volume de informações sobre os genótipos superiores, proporcionando otimização de tempo e espaço no melhoramento de espécies vegetais, no entanto, o mesmo ainda não foi alcançado no campo da fenotipagem em larga escala.

Para fazer a ligação de todos os dados genômicos e a expressão genica de superioridade de genótipos de interesse, em diferentes ambientes, são realizados vários estudos no campo da fenômica.

A observação do fenótipo em diferentes fases do desenvolvimento tem sido o diferencial dos estudos de fenotipagem em larga escala, no contexto atual já se torna possível observar, através de técnicas não nocivas e não invasivas, características nunca antes mensuradas.

Anteriormente estudos de respostas de plantas a estresses era mensurado apenas em um ou poucos estágios de desenvolvimento, porém hoje já se pode monitorar um número expressivo de plantas durante todo o seu desenvolvimento e o seu comportamento diante das condições ambientais.

Essas avaliações têm sido feitas com auxílio de ferramentas de espectroscopia, termografia, tomografia, fluorescência, discriminação por isótopos e análises de imagens digitais. Técnicas de imagem tem sido associada à protótipos que permitem a

avaliação no campo de forma direcionada, capazes de caracterizar o microclima em que elas estão estabelecidas. Esses equipamentos são capazes de medir clorofila e temperatura da folha e do solo.

Todos esses equipamentos que auxiliam na coleta de dados podem ser acoplados a equipamentos e maquinários agrícolas, já comumente usados para o manejo das lavouras tornando as análises rápidas, palpáveis e não invasivas. Todavia, ainda se tem necessidade do desenvolvimento de automação para os equipamentos usados na fenotipagem em massa, pois esses poderão trazer ganho em qualidade e uniformidade dos dados.

#### 4.3 Proteômica

É denominada análise proteômica a técnica analítica que busca a caracterização de proteínas expressas em um período específico do ciclo biológico de um determinado organismo. Analisa-se a quantidade, atividade e a interação entre proteínas, podendo, assim, avaliar a expressão funcional do genoma.

Para a realização das análises são utilizadas técnicas de eleforese bidimensional e espectrometria de massas. A primeira técnica consiste na aplicação de campo elétrico, sobre um gel de acrilamida, com gradientes de pH, fazendo com que as partículas carregadas sejam separadas e, posteriormente, analisadas. Já a segunda técnica, busca a determinação da massa dos átomos, moléculas e fragmentos de moléculas.

A proteômica mostra-se um método superior na análises de expressão genica. Isto por que tem a capacidade de separar proteínas e compara-las com padrões, podendo estabelecer o proteoma de uma espécie.

Sabendo da importância da expressão genica e da diferença entre os números de nucleotídeos do genoma e o número de proteínas produzidas, causado pela regulação da expressão, se investe a cada dia em pesquisas que buscam o entendimento da produção e funcionamento dessas proteínas, principalmente em condições de estresse, pois através disso se consegue compreender os mecanismos de tolerância.

#### 4.4 Metabolômica

A Metabolômica é a ciência que estuda todas as moléculas de baixo peso molecular de um organismo vivo, os denominados metabolitos, que são divididos em primários e secundários, através de técnicas analíticas. O conjunto total de metabolitos também é chamado de proteoma.

As análises metabolômica são, também, capazes de identificar alterações no perfil metabolômico de uma espécie quando esta é exposta a um determinado ambiente, ou condição, tornando possível a identificação e a caracterização dos metabolitos produzidos por cada espécie.

Geralmente esses metabolitos são resultados de funções celulares, sendo muitos deles produtos intermediários ou finais de rotas, que podem ser alteradas pelas condições de sanidade e estresses sofridos pelo organismo.

No campo do melhoramento de espécies vegetais, a metabolômica pode ser utilizada quando se investiga a alteração de metabolitos em genótipos superiores, podendo avaliar quais metabolitos são alterados em condições de estresse e quantificar essa alteração, assim como estudos de comparação de genótipos por meio dos compostos por eles produzidos.

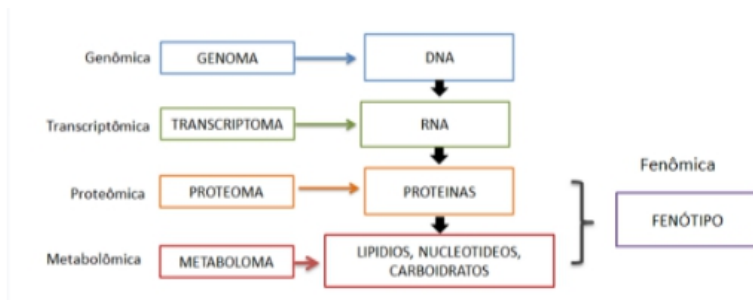


Figura 1. Esquema ilustrativo demonstrando as ciências ômicas e seus objetos de estudo.

## 5. NOVAS TENDÊNCIAS DO MELHORAMENTO GENÉTICO DE PLANTAS

O aporte de ferramentas, interdisciplinaridade, geração de tecnologia, automação e melhorias no entendimento de processos biológicos complexos tem formado um novo jeito de se melhorar espécies vegetais, trazendo alto nível tecnológico e precisão para as novas cultivares desenvolvidas, fazendo das novas sementes o produto final advindo de um processo longo, criterioso, acurado e teoricamente embasado.

Novos estudos mostram que além das influências genéticas e do ambiente, os caracteres também podem sofrer influências epigenéticas, processo de metilação ou acetilação de DNA que podem influenciar na organização da cromatina, podendo assim estar relacionados à expressão genica. As características epigenéticas são estáveis, podem ser herdadas pelos descendentes por várias gerações, mas também podem ser revertidas já que não alteram as sequências de DNA.

Diante da possibilidade de alguns genes de interesse sofrerem influências epigenéticas diversos estudos vêm sendo desenvolvidos para compreender como esses mecanismos funcionam e como estes podem ser utilizados de forma vantajosa no melhoramento de plantas.

A CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) é outra técnica que tem despertado um grande interesse dos melhoristas, possuindo a capacidade de editar qualquer sequência do genoma, a técnica possibilita grandes avanços no melhoramento, pois através dela se torna possível a manipulação de um genoma, podendo assim localizar genes de interesse e modificá-los conforme o objetivo final

Torna-se possível através da edição de genes modificar as sequências de DNA, para que estas possam expressar uma dada característica sem que haja a necessidade de introdução de um gene exógeno, não caracterizando assim organismo transgênico, pois não se inseriu um novo gene apenas alterou um já existente fazendo que com ele expresse a característica de interesse.

O método foi desenvolvido a partir do estudo do sistema imunológico de bactérias, pois estas mantem algumas sequencias

de DNA de vírus que lhe foram prejudiciais outrora, fazendo com que elas os reconheçam caso ocorra uma nova infecção, podendo assim combatê-los com maior rapidez e eficiência. Quando essa capacidade foi descoberta e o mecanismo entendido, tornou-se possível a extrapolação desse mecanismo para as plantas, transformando assim a técnica numa ferramenta de grande valia para o melhoramento vegetal.

A descoberta da possível influência do porta-enxerto na produção de proteínas na variedade copa tem feito com que novas pesquisas sejam desenvolvidas no campo de produção de genótipos enxertados. O processo de enxertia não é um processo novo e já é amplamente utilizado na agricultura, mas recentemente se entendeu que é possível a transferência de algumas substâncias e pequenos RNA's junto com a água e os açúcares que são transferidos do porta-enxerto para a variedade copa, diante disso pode-se entender que essas substâncias e pequenos RNA's interferem em características expressas pela variedade copa, mesmo esta não tendo os genes que causam essa expressão.

Para minimizar essa influência novas pesquisas tem objetivado o desenvolvimento de filtros genéticos que fariam com que não ocorra interferências da porta-enxerto nas características genéticas do genótipo usado como copa.

## 6. ESTATÍSTICA E BIOINFORMÁTICA NO MELHORAMENTO DE PLANTAS

O uso da estatística no melhoramento de plantas traz acurácia e precisão para os resultados de todos os experimentos que buscam a obtenção de novos materiais genéticos com superioridade comprovada quando comparados aos já existentes.

A estatística deve estar presente na rotina do melhoristas para que os dados obtidos por estes possam ser avaliados de forma correta, o planejamento estatístico de um experimento para o desenvolvimento de cultivares é de extrema importância. Deve ser levado em conta o experimento como um todo, as suas fontes de variação, número de repetições, delineamento estatístico e as



necessidades de controle para que posteriormente possam ser tomadas decisões diante dos resultados das análises.

Hoje já existem disponíveis um vasto número de programas estatísticos que auxiliam os melhoristas na montagem dos experimentos e na análise dos dados. Esses softwares possuem linguagens de programação distintas e tem a capacidade de realização de testes que variam de testes mais simples até testes mais complexos.

Com o uso da inteligência artificial, modelos lineares e mistos, análises de BLUP dentre outras ferramentas estatísticas já é possível a análise completa e estimação do erro estatístico a decomposição deste, os estudos de efeitos fixos e aleatórios, a capacidade de predição de melhores cruzamentos com base nas características dos genótipos.

Diante de todas as atribuições exercidas pela estatística dentro de um programa de melhoramento, torna-se fundamental o estudo e a compreensão das suas diversas aplicações pelos melhoristas, para que os trabalhos desenvolvidos por estes sejam de qualidade e com resultados reais.

A bioinformática é outra ferramenta que tem trazido muitos avanços aos programas de melhoramento, ela tem como objetivo a organização de dados genéticos, principalmente dados moleculares de diversos organismos vivos, sua aplicação pode ser encontrada na elaboração, reparação e manutenção de bancos de dados.

O uso de ferramentas de bioinformática se torna cada dia mais necessária pois cada vez mais são produzidos um alto volume de dados moleculares advindos principalmente de programas de sequenciamento de genomas, a integração e disponibilização desses dados são de grande importância e podem contribuir muito no desenvolvimento de material genético superior, entendimento de expressão genica, desenvolvimento de marcadores moleculares específicos e outras diversas aplicabilidades do método.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borém A, O futuro da agricultura. Disponível em: <<http://www.dft.ufv.br/Futuro%20da%20Agricultura.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- Borém A; Caixeta, ET, Marcadores Moleculares. 2 ed. Viçosa/MG: Editora UFV, 2010. 385p.
- Borém A; Guimarães EP; Federizzi LC; Toledo, JFF, From Mendel to genomics, plant breeding milestones: a review. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 2, 649-658, 2002.
- Bespalhok FJC; Guerra EP; Oliveira R, Melhoramento de populações por meio de seleção. In: Bespalhok FJC; Guerra EP; Oliveira R, Melhoramento de Plantas. 2007. 11-18. Disponível em: <<http://www.bespa.agrarias.ufpr.br/paginas/livro/capitulo%2016.pdf>>. Acesso em 16. Mai. 2014.
- Brondani RPV; Brondani C, Aplicação de tecnologias genômicas baseadas em marcadores microssatélites para discriminação de cultivares e análise de pureza genética em feijoeiro comum. Comunicado técnico EMBRAPA Arroz e feijão, Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2006, n.132, 4 p.
- Carvalho DC. Fusão de protoplastos visando a reconstrução da laranja azeda. Piracicaba, 2006. 92 p. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.
- Coutinho, FS, Análise proteômica e metabolômica de soja: aspectos moleculares da tolerância à seca em plantas transgênicas expressando BIP. Viçosa, 2016. 93 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa.
- Cruz, CD; Viana JMS; Carneiro PCS. Genética: GBOL - Software Para Ensino e Aprendizagem de Genética 2 ed, Editora UFV, Viçosa, MG. 2011. 326p.
- Cruz CD, Princípios de Genética Quantitativa. 1a. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. 585p.
- Draft. Melhoramento genético ao longo da história. Disponível em: <<http://projetodraft.com/melhoramento-genetico-ao-longo-da-historia/>>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- Embrapa. A tecnologia CRISPR e suas aplicações no Brasil e no mundo. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17689531/a-tecnologia-crispr-e-suas-aplicacoes-no-brasil-e-no-mundo>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

- Embrapa. Marcadores moleculares – DNA. Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_do03\\_4.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_do03_4.htm)>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- Embrapa. Origem da agricultura e do melhoramento genético. Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_do02\\_5.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_do02_5.htm)>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- Embrapa. Técnica de edição de genoma promete revolucionar a ciência. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/13563997/tecnica-de-edicao-de-genoma-promete-revolucionar-a-ciencia>>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- Iciag - UFU. Transgenia. Disponível em: <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/transgenicos.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- Khan Academy. A lei da segregação. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/biology/classical-genetics/mendelian--genetics/a/the-law-of-segregation>>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- Khan Academy. A lei da variação independente. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/biology/classical-genetics/mendelian--genetics/a/the-law-of-independent-assortment>>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- Khan Academy. Darwin, evolução e seleção natural. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/biology/her/evolution-and-natural-selection/a/darwin-evolution-natural-selection>>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- Khan Academy. Mendel e suas ervilhas. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/biology/classical-genetics/mendelian--genetics/a/mendel-and-his-peas>>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- Oliveira EJ. Desenvolvimento e uso de marcadores microssatélites para construção e integração de mapas genéticos de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.). São Paulo, 2006. 153p. Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.
- Pereira MG; Pereira TNS; Viana AP. Marcadores moleculares aplicados ao melhoramento genético do maracujazeiro. In: Faleiro FG; Junqueira NTV; Braga MF. (Ed.) Maracujá: germoplasma e melhoramento genético. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. p.55-75.
- Priolli RHG; Mendes-Junior CT; Arantes CE; Contel EPB. Characterization of Brazilian soybean cultivars using microsatellite markers. *Genetics and Molecular Biology*, 25, 185-193, 2002. Disponível em:

- <<http://www.scielo.br/pdf/gmb/v25n2/11552.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- News Medical. Que é Genômica?. Disponível em: <[https://www.news-medical.net/life-sciences/What-is-Genomics-\(Portuguese\).aspx](https://www.news-medical.net/life-sciences/What-is-Genomics-(Portuguese).aspx)>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- Ramos RS, Efeito de reguladores de crescimento na embriogênese somática de cana-de-açúcar. Viçosa, 2011. 64 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa.
- Resende MDV Genética Biométrica e Estatística no Melhoramento de Plantas Perenes. Brasília: Embrapa, 2002. 975 p.
- Santos TT; Yassitepe JECT. Fenotipagem de plantas em larga escala: um novo campo de aplicação para a visão computacional na agricultura. In: Massruhá SMFS; Leite MAA; Luchiari Junior A; Romani, LAS (Ed.). Tecnologias da informação e comunicação e suas relações com a agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 85-100.
- Technology Review. DuPont Prevê a Chegada das Plantas Modificadas por CRISPR as Pratos em Cinco Anos. Disponível em: <[http://www.technologyreview.com.br/read\\_article.aspx?id=48411](http://www.technologyreview.com.br/read_article.aspx?id=48411)>. Acesso em: 31 ago. 2017.
- Toledo MA. Construção histórica do melhoramento genético de plantas: do convencional ao participativo. Revista Brasileira de Agroecologia, 9, 35-50, 2014. Disponível em: <[http://orgprints.org/26614/1/Machado\\_Constru%C3%A7%C3%A3o.pdf](http://orgprints.org/26614/1/Machado_Constru%C3%A7%C3%A3o.pdf)>. Acesso em 23 ago. 2017.
- Vieira MLC; Oliveira EJ; Matta FP; Pádua JG; Monteiro M. Métodos biotecnológicos aplicados ao melhoramento genético do maracujá. In: Faleiro FG; Junqueira NTV; Braga, MF. (Ed.) Maracujá: germoplasma e melhoramento genético. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 55-75.

## CAPÍTULO 5

# ALIMENTOS BIOFORTIFICADOS: O FUTURO DA ALIMENTAÇÃO MUNDIAL

Edilson Marques Junior  
Rodrigo Monte Lorenzoni  
Carla Cristina Gonçalves Rosado  
Taís Cristina Bastos Soares

### 1. INTRODUÇÃO

A desnutrição é uma realidade que atinge um grande número de pessoas no mundo, onde apesar do indivíduo ter acesso a alimentação regular, a dieta desbalanceada em calorias, minerais e proteínas não atende as exigências do organismo, sendo chamada de fome oculta, e atinge principalmente a população de países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, como o Brasil (MALAFAIA, 2010), embora ocorra também em países desenvolvidos, mas em menor impacto, pois apesar do acesso a alimentação a dieta é de alta caloria, mas baixo conteúdo nutricional.

Uma alimentação deficiente em nutrientes essenciais ao metabolismo humano pode acarretar em graves consequências como, retardo mental, crescimento inadequado, menor rendimento físico e mental, mortalidade, dentre outros distúrbios fisiológicos (LONG et al., 2004; GONÇALVES, 2015). As deficiências mais comuns encontradas para micronutrientes minerais são de ferro (Fe) e zinco (Zn), enquanto que para orgânicos o maior déficit é de pro-vitamina A (betacaroteno). A prevalência de altos índices de deficiência em micronutrientes traz consequências negativas para a saúde humana. Anualmente, bilhões de pessoas são identificadas em situação de risco por falta de micronutrientes, principalmente entre crianças menores de 5 anos e mulheres em idade fértil em áreas em desenvolvimento da África, Ásia e América Latina América (RIOS et al., 2009; QUEIROZ et al., 2011).

Desta forma a biofortificação dos alimentos pode ser uma alternativa para complementar os programas de intervenção nutricional existentes, reduzindo os problemas de deficiência, e proporcionam maior sustentabilidade e baixo custo para produtores e consumidores (HARVESTPLUS, 2017). A biofortificação é uma intervenção nutricional específica, com objetivo de aumentar o conteúdo de micronutrientes em alimentos com a utilização de práticas agronômicas, melhoramento clássico e engenharia genética. Visa corrigir ou prevenir deficiências nutricionais na população, através de alimentos com alto valor nutritivo presente na sua dieta (VELLOZO e FISBERG, 2010).

A biofortificação agronômica pode proporcionar aumentos temporários de micronutrientes através da aplicação de fertilizantes. Outra prática é a biofortificação por melhoramento clássico, onde com a existência de ampla variabilidade genética na concentração de micronutrientes a cultura pode ser melhorada através de seleção de genótipos superiores e obtenção de híbridos por meio de cruzamentos direcionados. Quando não são encontradas variabilidade genética ou o micronutriente não existe naturalmente em uma cultura, as abordagens de engenharia genética são necessárias, principalmente na obtenção de cultivares transgênicas.

No entanto, uma vez que uma linhagem transgênica é obtida, vários anos de criação convencional são necessários para assegurar que os transgenes sejam herdados de forma estável e incorporar a linhagem transgênica em variedades de preferência dos agricultores. Embora a criação transgênica às vezes ofereça ganhos de micronutrientes, muitos países carecem de estruturas legais para permitir a liberação e comercialização dessas cultivares (SALTZMAN, 2013).

Dentre as diversas culturas inseridas na alimentação humana, os programas de biofortificação visam aumentar os conteúdos de micronutrientes naquelas que são a base da dieta da população mundial, como por exemplo, arroz (*Oryza sativa* L.), milho (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum* spp.), batata doce (*Ipomoea batatas* L.), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), milheto (*Pennisetum glaucum*) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). No Brasil, destaca-se o arroz, feijão, milho, mandioca e trigo. Diante da importância dessas culturas na

segurança alimentar mundial, diversos estudos de pré-melhoramento já estão em andamento, o que facilita a implantação de programas de biofortificação (BOUIS e SALTZMAN, 2017).

Portanto, devido a importância da biofortificação alimentar no cenário mundial, nesse capítulo serão abordados os métodos de biofortificação, assim como, os avanços nos estudos das principais culturas de importância nacional que apresentam programas de biofortificação bem estabelecidos.

## 2. MÉTODOS DE BIOFORTIFICAÇÃO

Os métodos de biofortificação de alimentos visam aumentar os teores de nutrientes, proteínas e vitaminas biodisponíveis nas partes comestíveis das plantas, principalmente das culturas que venham a constituir a base da alimentação humana. A biofortificação pode ser realizada por meio de práticas agrônomicas, engenharia genética e/ou melhoramento genético (SALTZMAN et al., 2013).

### 2.1. Biofortificação por práticas agrônomicas

A biofortificação agrônômica baseia-se na correta e eficiente aplicação de adubos minerais, bem como na melhoria da solubilização e mobilidade, aumentando a disponibilidade dos mesmos para melhor absorção pelas plantas. Alguns fatores influenciam essa estratégia de biofortificação, entre eles estão a composição do solo, mobilidade do nutriente e a capacidade de armazenamento pelas plantas em órgãos comestíveis, principalmente nos grãos, raízes e tubérculos. Normalmente, as folhas apresentam quantidades suficientes de nutrientes para suprir as necessidades humanas e os órgãos de reserva, por sua vez, apresentam níveis insuficientes (BEYER, 2010; HUSSAIN et al., 2012; SALTZMAN et al., 2013).

O aumento dos teores de nutrientes nos vegetais por meio da biofortificação agrônômica pode ser realizado a partir da adubação foliar ou do solo, do tratamento de sementes, da aplicação de biofertilizantes, da fertirrigação e da rotação de culturas (MORAES et al., 2009). Apesar de simples, a aplicação de fertilizantes apresentam complicações decorrentes do modo de aplicação, tipo

de solo, mobilidade do nutriente no sistema solo-planta e do local de acúmulo no vegetal. Elementos minerais móveis no solo e na planta, como por exemplo, zinco, selênio e iodo propiciam um acréscimo nas concentrações desses nutrientes em leguminosas e cereais. Porém, quando feita de forma indiscriminada, a adubação mineral em excesso pode causar prejuízos ao meio ambiente e ao crescimento dos vegetais (GÓMEZ-GALERA et al., 2010). Além disso, nutrientes orgânicos essenciais (vitaminas e aminoácidos essenciais e ácidos graxos) que são produtos do metabolismo das plantas não são supridos através dessa técnica (GÓMEZ-GALERA et al., 2012).

## 2.2 Biofortificação por melhoramento genético clássico

Programas de melhoramento genético objetivam aumentar a produtividade, garantindo estabilidade dos rendimentos que permitam ao produtor maximizar os ganhos econômicos. Entretanto, o mercado consumidor vem em busca de alimentos com elevada qualidade nutricional, perfazendo com que os programas tenham novas diretrizes.

No melhoramento clássico as características organolépticas dos alimentos não são alteradas em detrimento do aumento do conteúdo nutricional. Com isso, o consumidor final agrega qualidade nutricional a sua dieta sem que seja necessário se acostumar com a introdução de um novo alimento com características diferentes das quais já está habituado (JOST et al., 2009).

Para o desenvolvimento de novas variedades biofortificadas são realizados cruzamentos de plantas que apresentam variação genética para os caracteres de interesse, como por exemplo, a concentração de micronutrientes das partes comestíveis da planta, permitindo que sejam selecionadas ao longo das gerações aquelas que apresentam caracteres de interesse. Um entrave ao melhoramento clássico é o longo período dos programas para inserção da característica de interesse, além da necessidade de compatibilidade entre as espécies cruzadas (JOHNS e EYZAGUIRRE, 2007; RIOS et al., 2009).



Para o estabelecimento de programas de melhoramento que buscam aumentar a qualidade nutricional alguns pontos devem ser observados, entre eles: (1) manutenção ou aumento da produtividade; (2) o aumento dos conteúdos de nutrientes devem impactar diretamente a saúde humana ou animal; (3) a característica de aumento dos níveis de nutriente deve ser estável em diferentes ambientes e condições de cultivo; (4) os nutrientes devem estar biodisponíveis sob condições tradicionais de preparo e por fim; (5) o alimento melhorado deve ter a aceitação do consumidor quanto às características organolépticas.

Por meio do melhoramento clássico diversas culturas já foram biofortificadas, como por exemplo: sorgo, milho e lentilha com elevados teores de zinco e ferro; batata rica em ferro; milho, abóbora, banana, batata doce e mandioca com aumento do teor de pró-vitamina A; arroz, trigo e feijão com elevados teores de zinco e ferro (SALTZMAN et al., 2013).

No Brasil, nos últimos oito anos a biofortificação de alimentos alcançou resultados expressivos, como mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Avanço da biofortificação no Brasil

<b>Cultura</b>	<b>Convencional</b>	<b>Cultivares dos projetos da Rede de Biofortificação no Brasil</b>
Arroz	Em média, 12 mg de Zn e 2 mg de Fe por quilo de arroz branco polido.	Média de 18 mg de Zn e 4 mg de Fe por quilo de arroz branco polido.
Batata doce	Em cultivares de polpa branca, até 10 microgramas de betacaroteno por grama de raízes frescas.	Na cultivar Beauregard, média de 115 microgramas de betacaroteno por grama de raízes frescas.
Feijão	Em média, 50 mg de Fe e 30 mg de Zn por quilo de feijão tipo carioca.	Em média, 90 mg de Fe e 50 mg de Zn por quilo de cultivar BRS Pontal.
Feijão caupi	Média de 50 mg de Fe e 40 mg de Zn por quilo.	Na BRS Xiquexique, média de 77 mg de Fe e 53 mg de Zn por quilo.

Mandioca	Em variedades de polpa branca não há teores expressivos de betacaroteno .	Até 9 microgramas de betacaroteno por grama em raízes frescas
Milho	Em média, 4,5 microgramas de pró-vitamina A por grama de milho em base seca.	Até 9 microgramas de pró-vitamina A por grama de milho em base seca.
Trigo	Em média, 30 mg de ferro e 30 mg de zinco por quilo em trigo integral.	Média superior a 40 mg de Fe e 40 mg de Zn por quilo de trigo integral.

---

Fonte: BioFORT, 2017.

### 1.1 Biofortificação por engenharia genética

Outra alternativa para aumentar os níveis de nutrientes minerais e orgânicos é a engenharia genética, onde pode-se introduzir genes de diferentes fontes diretamente nas variedades locais utilizadas pelos agricultores (FARRÉ et al., 2011).

Além de oferecer uma escolha irrestrita de genes para melhoria nutricional, a abordagem por engenharia genética permite que as características nutricionais sejam direcionados a órgãos específicos (por exemplo, sementes de cereais) e múltiplos caracteres podem ser combinados nas mesmas plantas sem programas de melhoramento complexos (ZHU et al., 2007; NAQVI et al., 2009).

Diferentes estratégias são utilizadas para incremento nutricional visando melhorar o conteúdo de nutrientes orgânicos (aminoácidos, ácidos graxos e vitaminas) ou minerais. Todas as estratégias de engenharia genética que se concentram em aumentar nutrientes orgânicos essenciais envolvem a modulação do metabolismo das plantas. Enquanto que ao contrário dos nutrientes orgânicos, que são o produto do metabolismo das plantas, os nutrientes inorgânicos (minerais) devem ser absorvidos pelas plantas do meio ambiente. As abordagens da engenharia genética relativas aos nutrientes minerais, portanto, focam em estratégias que visem aumentar a solubilidade desses nutrientes na rizosfera, mobilizá-los nas plantas, transportá-los para órgãos de armazenamento, aumentar a capacidade de armazenamento da planta e maximizar a

biodisponibilidade (GÓMEZ-GALERA et al., 2010; PÉREZ-MASSOT et al., 2013). Alguns exemplos de culturas biofortificadas estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Culturas transgênicas melhoradas para conteúdo de nutrientes minerais e orgânicos

Nutriente	Espécie	Genes utilizados
Vitamina A	<i>Zea mays</i>	<i>PacrtB</i> e <i>PacrtI</i>
	<i>Z. mays</i>	<i>Zmpsy1</i> , <i>PacrtI</i> , <i>PcrtW</i> , <i>Glylycb</i>
	<i>Z. mays</i>	<i>Zmpsy1</i> , <i>PacrtI</i>
	<i>Triticum aestivum</i>	<i>Zmpsy1</i> , <i>PacrtI</i>
	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>EuCrtB</i> , <i>EuCrtI</i> , <i>EuCrtY</i>
	<i>S. tuberosum</i>	BoOr
	<i>S. tuberosum</i>	AtZEP
	<i>S. tuberosum</i>	PacrtB
	<i>Manihot esculenta</i>	PacrtB
	<i>Oryza sativa</i>	<i>Nppsy1</i> , <i>EucrtI</i>
	<i>O. sativa</i>	<i>Zmppy1</i> , <i>EucrtI</i>
Vitamina C	<i>Z. mays</i>	Osdhar
	<i>Solanum lycopersicum</i>	Acggp
	<i>S. tuberosum</i>	StVTC2A
Ácido fólico	<i>O. sativa</i>	<i>Atgtpchi</i> , <i>Atadcs</i>
	<i>S. lycopersicum</i>	<i>Atgch</i> , <i>Atadcs1</i>
Ferro	<i>O. sativa</i>	Osnas2
	<i>O. sativa</i>	<i>Gmferritin</i> , <i>Af phytase</i> , <i>Osnas1</i>
	<i>O. sativa</i>	Activation tagging of <i>Osnas3</i>
	<i>Z. mays</i>	<i>Gm ferritin</i> e <i>Af phytase</i>
	<i>M. esculenta</i>	Crfea1
Zinco	<i>O. sativa</i>	Activation tagging of <i>Osnas2</i>
	<i>O. sativa</i>	Osnas2
	<i>O. sativa</i>	<i>Gmferritin</i> , <i>Af phytase</i> , <i>Osnas1</i>

	<i>M. esculenta</i>	Atzat1
	<i>M. esculenta</i>	Atzip
Selênio	<i>Brassica juncea</i>	Ataps1
	<i>B. juncea</i>	Absmt1
Cálcio	<i>Daucus carota</i>	scax1
	<i>Lactuca sativa</i>	scax1
	<i>S. tuberosum</i>	scax1
	<i>S. tuberosum</i>	<i>cax2b</i> chimeric

---

Adaptado de Pérez-Massot et al. 2013.

As culturas geneticamente modificadas devem ser submetidas a uma avaliação de risco para avaliar o impacto potencial sobre a saúde humana e o meio ambiente antes de receber autorização de mercado (EFSA, 2010). O maior problema da biofortificação por meio da transgenia é a sua aceitação e o longo processo necessário antes de obter autorização para cultivo e consumo humano (GIULIANO, 2017). Isso envolve caracterização molecular detalhada, comparação com culturas convencionais da mesma espécie, avaliação de potencial toxicidade / alergenicidade e análise nutricional (EFSA, 2011).

## 2. PRINCIPAIS CULTURAS BIOFORTIFICADAS

A proposta da iniciativa internacional de biofortificação de alimentos envolve a biofortificação dos alimentos que demonstraram viabilidade completa e são consumidos pela maioria das populações pobres da África, Ásia e América Latina. No Brasil, destaca-se o arroz, feijão, milho, mandioca e trigo. Exemplos de alguns alimentos biofortificados podem ser vistos na Figura 1.

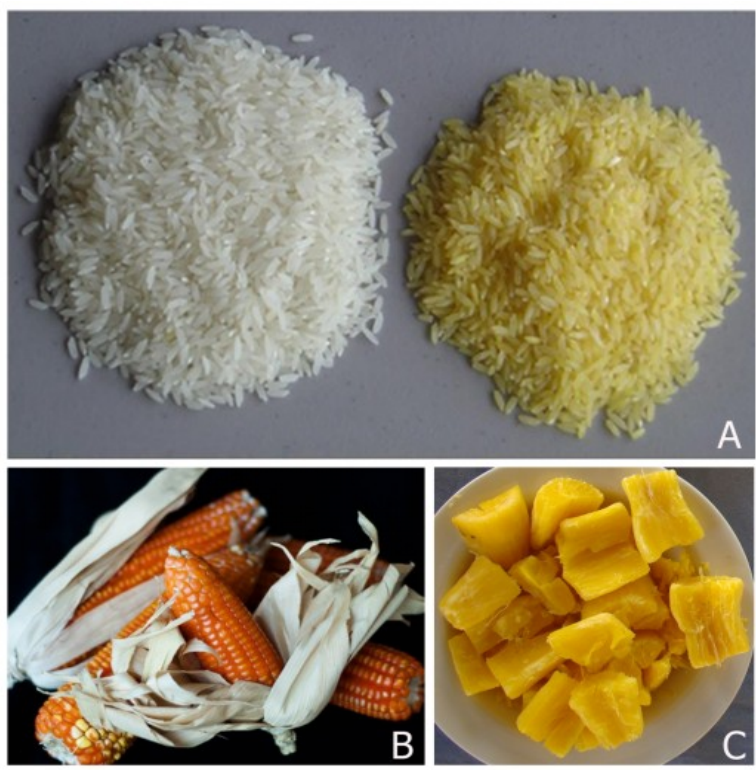


Figura 1. Exemplos de alimentos biofortificados com betacaroteno. A) Arroz convencional x arroz biofortificado (Fonte: Hossain e Mohiuddin, 2012); B) Milho laranja (Fonte: [www.harvestplus.org](http://www.harvestplus.org)); C) Mandioca amarela de mesa BRS Jari (Fonte: [www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)).

## 2.1 Biofortificação na cultura do arroz

A produção de arroz possui grande importância para a alimentação mundial, sendo este um dos cereais mais consumidos do mundo (LUCCA et al., 2006). No Brasil, o arroz fornece 17,9% das proteínas e 24,2% das calorias consumidas (SOARES, 2005). Desta forma, ao se considerar que o arroz é a base da alimentação em mais de 30 países e que a produção do cereal apresenta grandes

potenciais de crescimento, melhorar seu teor nutricional pode ser uma eficiente forma de combate à desnutrição (LUCCA et al., 2006; SANTOS et al., 2006). Muitos estudos de biofortificação do arroz têm sido desenvolvidos no Brasil e no mundo, principalmente com micronutrientes e vitaminas comumente ingeridos em baixa quantidade na alimentação de pessoas de menor poder aquisitivo, como zinco, ferro, selênio e vitamina A (BOLDRIN et al., 2012; GONÇALVES et al., 2015).

Trabalhos de biofortificação do arroz têm sido desenvolvidos tanto por meio de engenharia genética, como por melhoramento convencional, este último exige que a característica de interesse disponha de variabilidade genética suficiente na população (HOSSAIN e MOHIUDDIN, 2012). Variedades com alto teor de zinco (Zn) têm sido desenvolvidas em vários países. No Brasil, uma variedade de arroz com alto teor de Zn foi identificada pela Embrapa, e registrada para lançamento em 2012 e na China em 2011 uma variedade com alto teor de Fe foi liberada para lançamento (SALTZMAN et al., 2013)

O selênio (Se) é um micronutriente considerado essencial para a saúde humana, sua baixa ingestão tem sido relacionada a vários problemas de saúde humana, incluindo o desenvolvimento de diferentes tipos de câncer (COMBS, 2001). Os trabalhos de biofortificação agrônômica com Se são conduzidos por métodos agrônômicos convencionais, mediante o incremento desse nutriente na adubação das culturas (GRAHAM et al., 2007, BOLDRIN et al., 2012). De acordo com Chen et al. (2002) o incremento de Se na adubação do arroz é eficiente para conseguir maiores teores de Se nos grãos, o que possibilitaria maior ingestão desse elemento pela população. Assim, ao considerar o grande número de pessoas no mundo que tem o grão de arroz como base de sua alimentação, esta cultura possui grande potencial para contribuir efetivamente para a redução da deficiência de Se na dieta alimentar da população.

Boldrin et al. (2012) constataram que na cultura do arroz os teores de Se acumulados nos grãos variam em função da forma de aplicação de Se. As aplicações de Se na forma de selenatos são mais facilmente aproveitadas pelas plantas, em função da maior eficiência de absorção pelas raízes, bem como maior eficiência na

translocação pela planta, e conseqüentemente maior teor de Se se acumula nos grãos.

Objetivando reverter os quadros de hipovitaminose A, em 1999 nas Filipinas, foi desenvolvido um arroz transgênico, enriquecido com alto teor de betacaroteno, chamado de arroz dourado ou *Golden Rice*. O betacaroteno é transformado facilmente em vitamina A pelo organismo humano. A transgenia possibilitou a restauração da rota metabólica que dá origem ao betacaroteno no endosperma dos grãos de arroz, levando ao acúmulo da substância em torno de  $1,6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Na seqüência dos estudos, outras linhagens do arroz transgênico foram desenvolvidas, atingindo acúmulos de betacaroteno de até  $30 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  nos grãos (PAINE et al., 2005; GONÇALVES et al., 2015).

Estudos de engenharia genética também têm sido desenvolvidos visando aumentar os teores de Fe e Zn no endosperma do arroz, e têm apresentado resultados promissores. Goto et al. (1998) constataram, a partir de transformação, correlação entre os níveis de ferritina e o acúmulo de ferro no tabaco. Entretanto, no arroz, apesar da expressão da ferritina transformada ter elevado o teor de Fe nos tecidos vegetais, nas sementes não houve incremento teor de Fe, que é o objetivo do programa. Posteriormente, foi realizada a transferência do gene da ferritina da soja para o arroz e identificada a expressão dessa proteína em altas concentrações em seu endosperma, no entanto nas sementes não constataram aumento na concentração de Fe, concluindo os autores, que o acúmulo de Fe nas sementes de arroz, não depende apenas da expressão da ferritina, mas também da eficiência de absorção e transporte desse micronutriente absorvido do solo (QU et al., 2005, HOSSAIN e MOHIUDDIN, 2012).

Recentemente, o incremento de Fe e Zn foi conseguido com sucesso na cultura do arroz a partir de transformação genética. Dois genes foram inseridos na variedade de arroz japonês, um gene que codifica a nicotianamina sintase (NAS), enzima que produz nicotianamina (NA) que quelata temporariamente o ferro e facilita seu transporte, e um gene codifica a proteína ferritina, que funciona como um depósito e armazenamento de átomos de Fe na planta, permitindo que a planta de arroz além de expressar a proteína ferritina, também aumentasse a eficiência de absorção e transporte

do Fe na planta. A forte expressão do gene da nicotianamina sintase, e síntese de Nicotinamina e ácido 2-desoxi mugineico, culminaram no aumento das concentrações de Fe e Zn nas sementes de arroz (HOSSAIN e MOHIUDDIN, 2012).

## 2.2 Biofortificação na cultura do feijão

O feijão, assim como o arroz é um grão de grande importância para a alimentação mundial. No Brasil é o segundo alimento mais consumido, principalmente em regiões mais pobres, como norte e nordeste, onde grande parte da população tem menos acesso a uma alimentação nutricionalmente balanceada.

Apesar de vários programas governamentais para reduzir problemas de desnutrição e de acesso a micronutrientes como Fe e Zn, o problema persiste em função de muitas pessoas não terem acesso a esses programas. Assim a biofortificação do feijão pode ser também uma estratégia importante, afim de contornar o problema, frente a forte presença desse alimento na alimentação dessa população em especial.

Os programas de biofortificação do feijão-comum para aumento nos teores de Fe e Zn nos grãos possuem grandes potenciais, visto que a cultura apresenta grande variabilidade genética para esses caracteres (NCHIMBI-MSOLLA e TRYPHONE, 2010; PEREIRA et al., 2014; MARTINS et al., 2016) e também porque o feijoeiro é a leguminosa de maior importância na alimentação humana, participando diretamente da dieta alimentar (BEEBE et al., 2000).

Pesquisadores do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) avaliaram mais de 1000 genótipos de feijoeiro e encontraram grande variação no teor de Fe e Zn (WHITE e BROADLEY, 2005). Com relação ao teor de Fe, os valores variaram de 34 e 89 mg.kg<sup>-1</sup> e o teor de Zn variou de 21 e 54 mg.kg<sup>-1</sup>. Segundo Gregório (2002), no Peru foram encontrados acessos de feijão com até 100 mg.kg<sup>-1</sup> de Fe. Beebe et al., (2000) constataram elevada variabilidade genética em acessos de feijão no Banco de Germoplasma do CIAT da Colômbia para os teores de Fe e Zn. Segundo os mesmos autores a variabilidade encontrada permitiria elevar os teores de Fe e Zn em 80 e 50%, respectivamente nos grãos de feijoeiro comum.



No Brasil, grande variabilidade foi identificada do teor desses nutrientes no Banco de Germoplasma da Universidade Federal de Lavras (UFLA) por Silva et al. (2012). Em 100 linhagens avaliadas, os teores de Fe e Zn variaram de 54,2 mg kg<sup>-1</sup> a 161,5 mg kg<sup>-1</sup> e de 29,3 a 65,5 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Pereira et al. (2014) trabalhando com cultivares e linhagens de feijão comum em três diferentes ambientes constataram que os teores de Fe variaram de 54,1 mg kg<sup>-1</sup> a 82,1 mg kg<sup>-1</sup> e os teores de Zn variaram de 28,9 mg kg<sup>-1</sup> a 44,8 mg kg<sup>-1</sup>. Em 17 linhagens e cultivares elites de feijão, avaliadas por Martins et al. (2016) em cinco ambientes diferentes, os autores observaram que as médias de Fe oscilaram de 58,1 mg kg<sup>-1</sup> a 82,0 mg kg<sup>-1</sup> e as médias de Zn variaram de 29,2 mg kg<sup>-1</sup> a 37,3 mg kg<sup>-1</sup>.

Várias variedades de feijão estão sendo lançadas no mercado com altos teores de Fe e Zn. Em 2012, cinco novas variedades de feijão enriquecidas com Fe e Zn foram lançadas no mercado em Ruanda, mostrando a importância desta cultura em países africanos. No Brasil foram lançadas três novas variedades de feijão biofortificadas em Fe e Zn pela Embrapa, sendo as variedades BRS Pontal, BRS Agreste e BRS Cometa, com teores de Fe variando de 10 a 90 mg.kg<sup>-1</sup> e teores de Zn variando de 40 a 50 mg.kg<sup>-1</sup> (SALTZMAN et al., 2013; EMBRAPA, 2014). Di Prado (2017) estudando linhagens de feijão-comum, selecionou 24 linhagens com elevados teores de Fe e Zn, com potencial de alta produtividade. O mesmo autor observou uma associação entre os teores de Fe e Zn, o que pode indicar uma relação entre os genes que controlam essas características.

### 2.3 Biofortificação na cultura do milho

O milho é cultivado em quase todas as regiões agrícolas do mundo e sua importância econômica é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, indo desde a alimentação humana, tanto na forma *in natura* como processada, como pães, farinha e massas e ainda para a alimentação animal, ração ou silagem. É um alimento básico para mais de 200 milhões de pessoas em todo o mundo, fornecendo cerca de 20% das calorias do mundo (FRANO et al., 2014).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, estando atrás somente os Estados Unidos e a China, com produção estimada de 30,5 milhões de toneladas para primeira safra 2016/2017 (CONAB, 2017). Considerado a base alimentar em muitos países, o milho traz inúmeros benefícios à saúde, devido aos seus compostos que atuam como cofatores para enzimas antioxidantes, tais como, vitamina E e minerais, carotenoides e compostos fenólicos.

O grão de milho é composto por endosperma (83%), gérmen (11%) e pericarpo (6%). No gérmen do grão do milho são encontradas as vitaminas A e E, e grande parte dos minerais (fósforo, potássio, magnésio e enxofre). Na variedade de milho amarelo estão presentes os carotenoides, que são encontrados em quantidades significativas no endosperma. Os principais carotenoides presentes nos grãos de milho são:  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno, luteína, zeaxantina e  $\beta$ -criptoxantina (NUSS e TANUMIHARDJO, 2010).

A identificação de cultivares de milho ricas em Fe, Zn e provitamina A e o aumento de sua oferta podem melhorar de forma significativa a saúde e a longevidade da população em diversas partes do mundo. Sendo assim, atividades de biofortificação em milho estão sendo desenvolvidos no Brasil coordenados pelo projeto BioFORT, parte do programa mundial HarvestPlus.

O projeto com parceria com a Embrapa Milho e Sorgo, começou em 2006 no Brasil. Grandes avanços foram alcançados nesses anos com caracterização de linhagens elite e cultivares comerciais de milho, além de identificação de processos mais adequados para a obtenção de sementes, apresentando distinto perfil de carotenoides e metodologias rápidas para sua determinação e disponibilidade de minerais em grãos de milho.

Baseado em seis linhagens elites para características agrônômicas e provitamina A foi desenvolvida uma variedade sintética de milho biofortificada, a BRS 4104, lançada em 2013. O milho biofortificado apresenta concentração de carotenoides na faixa de 6 a 8  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de grãos, enquanto o milho comum apresenta entre 2,5 e 4  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Atualmente o programa está em fase de desenvolver híbridos provitamina A (EMBRAPA, 2017).

Na África, foram lançados mais de 40 variedades sintéticas de milho biofortificado para betacaroteno. As primeiras variedades lançadas em 2012/2013 continham 6-8 ppm de provitamina A adicional (cerca de 50% do incremento alvo), as lançadas em 2015/2016 continham cerca de 10 ppm de provitamina A adicional (66% do incremento alvo). Variedades com 100% do incremento alvo, ou seja, 15 ppm de provitamina A, conforme estabelecido pela HarvestPlus, estão previstas para serem lançadas em 2018, uma vez que já estão sendo testadas em experimentos de campo na África Subsaariana (ANDERSSON et al., 2017). Todas as variedades biofortificadas combinam o rendimento de grãos e qualidade para uso final pelo consumidor com maior conteúdo de provitamina A.

Além da criação de milho biofortificado provitamina A, pesquisas também estão sendo realizadas para o melhoramento do milho com maior teor de Fe e Zn. O teor de Zn no milho varia de 17 a 42 ppm, e variedade de milho elite sintético e híbridos com mais de 80% do incremento alvo (+12 ppm de Zn adicional) foram identificados em programas de melhoramento (ANDERSSON et al., 2017). Bnziger e Long (2000) relatam concentrações de Fe e Zn nos grãos entre 9,6 e 63,2 mg kg<sup>-1</sup> e 12,9 e 57,6 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para mais de 1.800 genótipos de milho no México e Zimbábue. Frequentemente, as linhas de alto teor de Zn também possuem alta qualidade protéica (chamado *Quality Protein Maize* QPM). Guimarães et al. (2005) avaliaram linhagens de milho QPM com teores de Fe e Zn de 46,8 mg kg<sup>-1</sup> e 53,8 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, e genótipos com 70,5 mg kg<sup>-1</sup> e 63,1 mg kg<sup>-1</sup>.

O maior conteúdo de carotenóides no milho está associado a cor laranja mais escura e o conteúdo de carotenóides pode ser melhorado selecionando cor alaranjada (WURTZEL, 2004). Entretanto, muitas vezes é difícil avaliar fenotípicamente o milho, o que torna a seleção assistida por marcadores uma ferramenta importante para o melhoramento. Uma vez encontrado um marcador molecular capaz de distinguir genótipos que acumulam mais provitamina A no milho, essa abordagem pode ser eficiente.

Na literatura há relatos de dois genes identificados, licopeno epsilon ciclase (LcyE) e betacaroteno hidroxilase 1 (crtRB1) que regulam o acúmulo de compostos de provitamina A no milho (YAN et al., 2010, HARJES et al., 2008). Estes genes são considerados os

mais importantes até o momento e as experiências de validação mostraram que o crtRB1 sozinho, muitas vezes, dobra, e às vezes triplica, a concentração total de conteúdo de carotenóides de provitamina A em grãos de milho, principalmente pelo aumento do conteúdo de betacaroteno (BABU et al., 2013).

Na engenharia genética há avanços quanto a criação de milho transgênico biofortificado. Naqvi et al. (2009) desenvolveram um milho transgênico em que os níveis de três vitaminas foram aumentados, especificamente no endosperma, através da modificação simultânea de três vias metabólicas separadas. Os grãos transgênicos continham 169 vezes a quantidade normal de betacaroteno, 6 vezes a quantidade normal de ascorbato e o dobro da quantidade normal de folato. Farré et al. (2013) desenvolveram uma população diversificada de plantas de milho transgênico expressando várias combinações de genes carotenogênicos e exibindo fenótipos metabólicos distintos. Estes autores avaliaram a extensão da interação entre as vias de carotenóides durante o desenvolvimento do endosperma de milho transgênico e selvagem. Os autores desenvolvemos um modelo teórico que explica essas interações, e os resultados sugerem pontos de intervenção genética que permitem que a via carotenóide do endosperma do milho seja projetada de forma mais efetiva e previsível.

Além de trabalhos de melhoramento para aumento de micronutrientes, estudos de biodisponibilidade e eficácia devem ser realizados. Um estudo de eficácia realizado na Zâmbia com crianças de 5-7 anos de idade mostrou que, após três meses de consumo, as reservas corporais totais de vitamina A nas crianças que estavam no grupo do milho laranja biofortificado aumentaram significativamente em comparação com as do grupo controle (GANNON et al., 2014). O consumo de milho laranja biofortificado demonstrou melhorar as reservas totais de vitamina A do corpo de forma eficaz como suplementação (GANNON et al., 2014) e melhorar significativamente a função visual em crianças com deficiência marginal de vitamina A (PALMER et al., 2016).

#### 2.4. Biofortificação na cultura da mandioca

A mandioca, a quarta cultura alimentar mais importante do mundo, é a principal fonte de carboidratos para mais de 600 milhões de pessoas na África, partes da América Latina, Oceania e

Ásia. Além de ser uma fonte rica de amido (~ 80% da raiz), a raiz também é rica em vitamina C, cálcio, potássio e alguns carotenóides, em especial betacaroteno (nas raízes amarelas) precursor da vitamina A e licopeno (nas raízes rosadas) exibe propriedades antioxidantes que protegem o corpo contra radicais livres (IYER et al., 2010). Raízes de mandioca têm normalmente apenas 1,5% de proteína, enquanto o trigo tem 7% ou mais. São especialmente deficientes em aminoácidos essenciais sulfurados, tais como metionina e cisteína (NASSAR e ORTIZ, 2010).

A mandioca foi domesticada por povos amazônicos nativos através do cultivo do progenitor selvagem *M. esculenta* ssp. *Flabellifolia* e agora é cultivada em regiões tropicais em todo o mundo (OLSEN, 2004). É uma das principais fontes mundiais de calorias e tem potencial para se tornar uma cultura mais produtiva e mais nutritiva, reduzindo a subnutrição em boa parte dos países em desenvolvimento (NASSAR e ORTIZ, 2010).

No Brasil, a biofortificação da mandioca por meio do melhoramento genético tem como principal alvo o betacaroteno, que é uma importante fonte de vitamina A, cuja falta resulta em progressivo dano à visão – um problema sério e disseminado nas áreas tropicais da África, Ásia e América Latina (NASSAR e ORTIZ, 2010). A biofortificação da mandioca por meio de melhoramento convencional, fornece aumento significativa de provitamina A, visto que a variação genética do conteúdo de beta-caroteno é suficiente para atingir tal objetivo, diferente do que acontece nas culturas de arroz, batata e trigo, o que torna a transgenia necessária (GIULIANO, 2017).

O Projeto de Melhoramento de Mandioca para Biofortificação desenvolvido pela Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical é parte do programa HarvestPlus e financiado pela Fundação Melinda e Bill Gates e pelo Banco do Nordeste. Teve início em 2001 e tem como metas desenvolver genótipos de mandioca com altos teores de betacaroteno nas raízes e baixos teores de ácido cianídrico (HCN), sendo uma alternativa para minimizar o déficit de vitamina A nas populações carentes principalmente na região nordeste brasileira. Atualmente, existem as variedades BRS Gema de Ovo (com teores de betacaroteno de 4,0 ppm), BRS Dourada (betacaroteno = 3,3 ppm) lançadas em 2005 (FUKUDA e PEREIRA,

2005, FUKUDA et al., 2005) e a BRS Jarí (betacaroteno = 8,7 ppm) (FUKUDA et al., 2009). lançadas pela Embrapa. O objetivo destes projetos ainda não foi atingido e é alcançar 15 microgramas de betacaroteno/grama, com boa qualidade para o consumo de mesa e boas características agrônômicas.

No âmbito mundial, grandes avanços surgem de um trabalho de cooperação internacional chamado BioCassava Plus (BC+). Esse ambicioso programa conta com uma equipe multidisciplinar empenhada na causa do combate da desnutrição e fome mundial, também financiado pela Fundação Bill e Melinda Gates, é um dos quatro projetos que visam criar culturas de base alimentares nutricionalmente completas para as populações mais vulneráveis do mundo. BC+ visa desenvolver variedades em que um indivíduo adulto possa obter em 500 g de uma refeição a base de mandioca, todos os nutrientes diários necessários, incluindo vitamina A, vitamina E, Zn, Fe e proteínas, combinados em uma única variedade (SAYRE et al., 2011).

Na literatura há relatos de cultivares de mandioca transgênicas que possuem genes que expressam para diversas características de interesse, principalmente com relação à biofortificação (LIU et al., 2011, CHAVARRIAGA-AGUIRRE et al., 2016). Por exemplo, estudos que visam aumentar o teor de zinco na raiz tuberosa em mais de quatro vezes, por superexpressão de transportadores de zinco localizado em membrana vacuolar e plasmática, uma vez que a mandioca contém uma concentração de aproximadamente 10 ppm de Zn no córtex radicular, bem abaixo da quantidade necessária para atender o mínimo diário. Outro exemplo está relacionado aos teores de Fe, várias estratégias estão sendo estudadas, incluindo o aumento da absorção de ferro usando uma proteína assimilatória específica de ferro (FEA1) de *Chlamydomonas reinhardtii*; superexpressão da proteína de armazenamento de ferro, ferritina; e uma combinação de ambas as estratégias (SAYRE et al., 2011). Porém, até o momento, nenhuma cultivar desenvolvidas por transgenia está aprovada para cultivo, problema causado pelas barreiras regulatórias associadas à tecnologia de organismos geneticamente modificados (STEUR et al., 2017).

O sequenciamento do genoma da mandioca, que contribui para compreensão do *pool* de genes e o entendimento sobre a estrutura

populacional, surge como uma ferramenta que provavelmente irá alavancar o desenvolvimento da mandioca transgênica e contribuir para seleção de genótipos superiores por meio de seleção assistida por marcadores (SAM) (WANG et al., 2014; BRENDESEN et al., 2016). RABBI et al. (2014) descrevem o alelo de fitoenol sintase 2 (PSY2) como um dos mais importantes para o acúmulo de provitamina A em raízes de mandioca, um forte candidato para SAM, que aliado aos métodos de seleção fenotípica irá tornar o melhoramento mais rápido e eficaz.

## 2.5 Biofortificação na cultura do trigo

O trigo consiste em um alimento de grande importância para alimentação mundial. Matéria prima para uma gama de produtos, estima-se que pelo 30% da população mundial se alimente de pelo menos um de seus derivados e no Brasil, programas governamentais que visam aumentar as pesquisas e incentivar o aumento nas áreas de produção têm sido desenvolvidos, visando a autossuficiência do país nesse grão (GONÇALVES et al., 2015).

Programas de fortificação de zinco em culturas como aveia e o trigo podem ser uma importante estratégia para o combate à desnutrição, devido a seu baixo custo e grande sustentabilidade (BROWN et al., 2007).

Linhas de pesquisa visando a biofortificação do trigo com relação ao teor de Zn é desenvolvida pelo programa HarvestPlus. As cultivares de trigo desenvolvidas pelo programa são fornecidas e testadas em países alvo do programa como Paquistão e Índia, afim de melhorar a produção local (ANDERSSON et al., 2017). As novas cultivares lançadas pelo programa possui teores de Zn de 20 a 40% superior as cultivares tradicionais e são no mínimo agronomicamente superiores as cultivares convencionais cultivadas na região sul da Ásia (VELU et al., 2012, 2015). Muitas das cultivares lançadas possuem resistência a importantes doenças do trigo, como ferrugem do colmo e amarela, sendo que todas as cultivares de trigo desenvolvidas pelo programa HarvestPlus são obrigatoriamente resistentes a ferrugem amarela do trigo (ANDERSSON et al., 2017).

Nas avaliações, os germoplasma mais promissores são selecionados, além de analisar criteriosamente as cultivares propostas para comercialização, que atendem aos atributos de qualidade de uso final preferidos pelo consumidor e que são amplamente adaptadas e estáveis nos testes. Várias cultivares elites foram identificados com alta herdabilidade genética para os teores de Fe e Zn (VELU et al., 2012, 2015). Além das cultivares já lançadas no mercado, as pesquisas do programa continuam visando desenvolver cultivares com alto teor de Zn, associado à maturação das cultivares (precoce, médio e tardio) (ANDERSSON et al., 2017).

Avaliações realizadas no germoplasma de trigo pelo Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo no México (CIMMYT) identificaram elevada variabilidade genética para a concentração de Zn e Fe, com os teores variando de 25,2 e 53,3 mg.kg<sup>-1</sup> e 28,8 e 56,5 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo que dentre os genótipos estudados a espécie *Triticum dicoccum* apresentou as maiores concentrações desses micronutrientes, com teores de Zn variando de 30 e 98 mg.kg<sup>-1</sup> e de Fe variando de 15 e 94 mg.kg<sup>-1</sup> (GREGÓRIO, 2002; WHITE e BROADLEY, 2005).

Com o objetivo de avaliar o teor de Zn e Fe em 180 cultivares de trigo em três ambientes diferentes, Scheeren et al. (2011) identificaram grande variabilidade genética na concentração desses micronutrientes nas cultivares estudadas. A média do teor de Fe encontrado nos três ambientes foi de 32,63 mg.kg<sup>-1</sup>, variando de 21,95 a 55,75 mg.kg<sup>-1</sup>, e a média do teor de Zn foi de 31,77 mg.kg<sup>-1</sup>, variando de 20,99 a 55,10 mg.kg<sup>-1</sup>.

Em geral, há elevadas perdas de minerais do trigo durante o processo de moagem e estão diretamente relacionadas ao tempo de duração e intensidade do processo, que tem uma relação direta com a biodisponibilidade dos minerais devido à redução simultânea de fitato (SALTZMAN et al., 2013). Pesquisas tem sido desenvolvidas para avaliar as perdas de Fe e Zn associadas a moagem. Um estudo realizado no México mostrou que o zinco absorvente total foi significativamente maior na variedade de trigo biofortificada em comparação com o trigo não biofortificado (ROSADO et al., 2009).



### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O incremento de micronutrientes orgânicos e minerais em culturas que constituem a base nutricional da alimentação humana, surge como uma estratégia para contornar os problemas advindos da deficiência desses micronutrientes. Abordagens de boas práticas agrícolas, melhoramento genético clássico e engenharia genética podem promover esse aumento dos teores nutricionais. Embora a biofortificação agrônômica eleve esses teores, o incremento é temporário, onde somente uma geração da cultura vem a ser beneficiada pela adubação. Enquanto que a biofortificação por melhoramento clássico e engenharia genética promovem um enriquecimento nutricional em maior número de populações, complementando os sistemas de intervenções nutricionais convencionais. Diversas pesquisas demonstram a variabilidade genética encontrada nas culturas como arroz, milho, trigo, mandioca e feijão, o que facilita a biofortificação por meio do melhoramento clássico. Quando a variabilidade das variedades e cultivares é baixa ou até mesmo não apresentam genes que expressam as características de interesse, é possível lançar mão de técnicas de engenharia genética, como por exemplo, a transgenia, onde são inseridos genes de outras espécies, a fim de expressar a característica da espécie doadora do gene na cultura de interesse. Dentre os diversos micronutrientes, grande parte dos estudos visam o incremento de Ferro, Zinco e betacaroteno que são alguns dos que estão mais carentes na alimentação humana e ainda apresentam ampla variabilidade genética, facilitando programas de melhoramento. Concomitantemente ao incremento dos nutrientes, é esperado também que haja acréscimo na produtividade das culturas, principalmente em regiões com solos deficientes em micronutrientes, estimulando a produção dos alimentos biofortificados entre os agricultores. Paralelamente ao enriquecimento é necessário que os micronutrientes estejam biodisponíveis para os consumidores, sem que haja alteração nas características organolépticas do alimento. Portanto, para que os programas de biofortificação de alimentos sejam eficazes, diversos fatores devem ser levados em conta, como a superioridade agrônômica dos novos materiais, a relação custo benefício, a

sustentabilidade, o alimento deve apresentar valor nutricional elevado e que seja biodisponível.

#### 4. REFERÊNCIAS

- Andersson MS, Saltzman A, Virk OS, Pfeiffer WH. Progress update: crop development of biofortified staple food crops under harvestplus. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and development* 17(2): 11905-11935, 2017.
- Babu R, Palacios-Rojas N, Gao S, Yan J, Pixley K. Validation of the effects of molecular marker polymorphisms in LcyE and CrtRB1 on provitamin A concentrations for 26 tropical maize populations. *Theoretical and Applied Genetics* 126: 389-399, 2013.
- Beebe S, Gonzalez AV, Rengifo J. Research on trace minerals in the common bean. *Food and Nutrition Bulletin* 21(4): 387-391, 2000.
- Beyer P. Golden rice and 'golden' crops for human nutrition. *New Biotechnology* 27(5): 478-481, 2010.
- BioFORT. Resultados. Disponível em: <<http://biofort.com.br/resultados/>>. Acesso em 24 ago. 2017.
- Bnziger M, Long J. The potential for increasing the iron and zinc density of maize through plant breeding. *Food and Nutritional Bulletin* 21:397-400, 2000.
- Boldrin PF, Faquim V, Ramos SJ, Guilherme LRG. Selenato e selenito na produção e biofortificação agrônômica com selênio em arroz. *Pesquisa agropecuária brasileira* 47(6): 831-837, 2012.
- Bouis HE, Saltzman A. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. *Global Food Security* 12: 49-58, 2017.
- Brendesen JV, Lyons JB, Prochnik SE, Wu GA, Ha CM, Edsinger-Gonzales E, Grimwood J, Schmutz J, Rabbi IY, Egesi C, Nauluvula P, Lebot V, Ndunguru J, Mkamilo G, Bart RS, Setter TL, Gleadow RM, Kulakow P, Ferguson ME, Rounsley S, Rokhsar DS. Sequencing wild and cultivated cassava and related species reveals extensive interspecific hybridization and genetic diversity. *Nature biotechnology* 34: 562-570, 2016.
- Brown KH, López de Romaña D, Arsenault JE, Peerson JM, Penny ME. Comparison of the effects of zinc delivered in a fortified food or a liquid supplement on the growth, morbidity, and plasma zinc concentrations of young Peruvian children American. *American Journal of Clinical Nutrition* 85(2): 538-547, 2007.
- Chavarriaga-Aguirre P, Brand A, Medina A, Mónica Prías M, Escobar R, Juan Martinez J, Díaz P, López C, Roca WM, Tohme J. The potential of using biotechnology to improve cassava: a review. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 52:461-478, 2016.

- Chen L, Yang F, Xu J, Yun H, Hu Q, Zhang Y, Pan G. Determination of selenium concentration of rice in China and effect of fertilization of selenite and selenate on selenium content of rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 51285130, 2002.
- Combs GF. Selenium in global food systems. *British journal of Nutrition* 85(5): 517-547, 2001.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2017) Acompanhamento da safra Brasileira: grãos, v. 4 - Safra 2016/17, n. 11 - Décimo primeiro levantamento, Brasília, p. 1-171, Agosto 2017. Disponível em <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: Agosto de 2017.
- Di Prado PRC. Melhoramento genético para altos teores de ferro e zinco em feijoeiro-comum. 2017. 133 p. Tese (Programa de pós-graduação em genética e melhoramento de plantas) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiás, 2017.
- EFSA. Panel on Genetically Modified Organisms (GMO). Guidance for risk assessment of food and feed from genetically modified plants. *European Food Safety Authority Journal* 9:2150–2186, 2011.
- EFSA. Panel on Genetically Modified Organisms (GMO). Guidance on the environmental risk assessment of genetically modified plants. *European Food Safety Authority Journal* 8:1879–1989, 2010.
- Embrapa. Plantas biofortificadas têm alta produtividade e fornecem alimentos enriquecidos. 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/2246805/plantas-biofortificadas-tem-alta-produtividade-e-fornecem-alimentos-enriquecidos>>. Acesso em 26 ago. 2017).
- Farré G, Rivera MS, Alves R, Vilaprinyo E, Sorribas A, Canela R, Naqvi S, Sandmann G, Capell T, Zhu C, Christou P. Targeted transcriptomic and metabolic profiling reveals temporal bottlenecks in the maize carotenoid pathway that may be addressed by multigene engineering. *Plant Journal* 75: 441-455, 2013.
- Farré G, Twyman RM, Changfu Z, Capell T, Christou P. Nutritionally enhanced crops and food security: scientific achievements versus political expediency. *Current Opinion in Biotechnology* 22:245–251, 2011.
- Franco MRL, Moura FF, Erick B, Lönnnerdal B, Burri BJ. Bioavailability of iron, zinc, and provitamin A carotenoids in biofortified staple crops. *Nutrition Reviews* 72: 289–307, 2014.
- Fukuda WMG, Carvalho HWLD, Oliveira LAD, Oliveira IRD, Pinho JLND, Santos VDS, Nutti M R, Kimura M. BRS Jari: nova variedade de mandioca para mesa com alto teor de betacaroteno nas raízes. Aracaju:

- Embrapa Tabuleiros Costeiros; Cruz das Almas: Embrapa mandioca e Fruticultura Tropical, 2009.
- Fukuda WMG, Pereira MEC, Oliveira LA, Godoy RCB. BRS Dourada: mandioca de mesa com uso diversificado. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2005.
- Fukuda WMG, Pereira MEC. BRS gema de ovo: mandioca de mesa biofortificada. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2005.
- Gannon B, Kaliwile C, Arscott S, et al., Biofortified orange maize is as efficacious as a vitamin A supplement in Zambian children even in the presence of high liver reserves of vitamin A: a community-based, randomized placebo-controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition* 100(6): 1541-1550, 2014.
- Giuliano G. Provitamin A biofortification of crop plants: a gold rush with many miners. *Current Opinion in Biotechnology* 44:169–180, 2017.
- Gómez-Galera S, Rojas E, Sudhakar D, Zhu C, Pelacho AM, Capell T, Christou P. Critical evaluation of strategies for mineral fortification of staple food crops. *Transgenic Research* 19: 165-180, 2010.
- Gonçalves ASF, Gonçalves WM, Silva KMJ, Oliveira RM. Uso da biofortificação vegetal: uma revisão. *Cerrado Agrociências* (6): 75-87, 2015.
- Goto F, Yoshihara T, Saiki H. Iron accumulation in tobacco plants expressing soyabean ferritin gene. *Transgenic Research* 7: 173-180, 1998.
- Graham RD, Welch RM, Saunders DA, OrtizMonasterio I, Bouis HE, Bonierbale M, De Haan S, Burgos G, Thiele G, Liria R. Nutritious subsistence food systems. *Advances in Agronomy* 92: 174, 2007.
- Gregório GB. Progress in breeding for trace minerals in staple crops. *Journal of Nutrition* 132(3): 500S-502S, 2002.
- Guimarães PE, Ribeiro PEA, Paes MCD, Schaffert RE, Alves VMC, Coelho AM, Nutti M, Viana JLC, Nogueira ARA e Souza GB. Caracterização de linhagens de milho quanto aos teores de minerais nos grãos. Sete Lagoas, MG: Embrapa CNPMS, 2005. 4p.
- Harjes EC, Rocheford RTB, Ling PT, Brutnell BC, Kandianis GS, Sowinski EA, Tapleton R, Vallabhaneni M, Williams TE, Wurtzel J, Yan Buckler SE Natural genetic variation In lycopene epsilon cyclase tapped for maize biofortification. *Science* 319: 330-333, 2008.
- Hossain SM, Mohiuddin AKM. Study on biofortification of rice by targeted genetic engineering. *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology* 2(2): 25-35, 2012.

- Hussain S, Muhammad AM, Zed R, Tariq A. Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. *Plant and Soil* 361(2): 279-290, 2012.
- Iyer S, Mattinson DS, Fellman JK. Study of the early events leading to cassava root postharvest deterioration. *Tropical Plant Biology* 3:151-165, 2010.
- Johns T, Eyzaguirre PB. Biofortification, biodiversity and diet: a search for complementary applications against poverty and malnutrition. *Food Policy* 32: 1-24, 2007.
- Jost E, Ribeiro ND, Cerutti T, Poersch NL, Maziero SM. Potencial de aumento do teor de ferro em grãos de feijão por melhoramento genético. *Bragantia* 68(8): 35-42, 2009.
- Liu J, Zheng Q, Ma Q, Gadidasu KK, Zhang P. Cassava Genetic Transformation and its Application in Breeding. *Journal of Integrative Plant Biology* 53:552-569, 2011.
- Long JK, Bänziger M, Smith ME. Diallel analysis of grain iron and zinc density in southern African-adapted maize inbreds. *Crop Science* (44): 6-2019-2026, 2004.
- Lucca P, Poletti S, Sautter C. Genetic engineering approaches to enrich rice with iron and vitamin A. *Physiologia Plantarum* 126(3): 291-303, 2006.
- Malafaia, G. Protein-energy malnutrition: A serious condition that still haunts the hospital context. *Revista Paulista de Pediatria* 28(3): 381-382, 2010.
- Martins SM, Melo PGS, Faria LC, Souza TLPO, Melo LC, Pereira HS. Genetic parameters and breeding strategies for high levels of iron and zinc in *Phaseolus vulgaris* L. *Genetics and Molecular Research* 2(15): 1-14, 2016.
- Moraes MF, Nutti MR, Watanabe E, Carvalho JLV. Práticas agronômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. In: Lana RP, Mâncio AB, Guimaraes G, Souza MRM (eds). I Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável. Viçosa: Ed. UFV, 2009. p. 299-312.
- Naqvi S, Farre G, Sanahuja G, Capell T, Zhu C, Christou P. When more is better: multigene engineering in plants. *Trends in Plant Science* 15:49-56, 2009a.
- Naqvi S, Zhu C, Farre G, Ramessar K, Bassie L, Breitenbach J, Christou P. Transgenic multivitamin corn through biofortification of endosperm with three vitamins representing three distinct metabolic pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106:7762-7767, 2009b.
- Nassar N, Ortiz R. Breeding cassava to feed the poor. *Scientific American* 302: 78-84.

- Nchimbi-Msolla S, Tryphone GM. The effects the environment on iron and zinc concentrations and performance of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Asian Journal of Plant Sciences* 9(8): 455-462, 2010.
- Nuss ET, Tanumihardjo SA. Maize: a paramount staple crop in the context of global nutrition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 9:417-436, 2010.
- Olsen KM. SNPs, SSRs and inferences on cassava's origin. *Plant Molecular Biology* 56: 517-526, 2004.
- Paine JA, Shipton CA, Chaggar S, Howells RM, Kennedy MJ, Vernon G, Wright SY, Hinchliffe E, Adams JL, Silverstone AL, Drake R. Improving the nutritional value of Golden Rice through increased pro-vitamin A content. *Nature Biotechnology* 23(4): 482-487, 2005.
- Palmer AC, Healy K, Barffour MA, Siamusantu W, Chileshe J, Schulze KJ, West KP, Labrique AB. Provitamin A carotenoid-biofortified maize consumption increases pupillary responsiveness among Zambian children in a randomized controlled trial. *The Journal of Nutrition* 146(12): 2551-2758, 2016.
- Pereira HS, Del Peloso MJ, Bassinello PZ, Guimarães CM, Melo LC, Faria LC. Genetic variability for iron and zinc content in common bean lines and interaction with water availability. *Genetics and Molecular Research* 3(13): 6773-6785, 2014.
- Pérez-Massot E, Banakar R, Gómez-Galera S, Zorrilla-López U, Sanahuja G, Arjó G, Miralpeix B, Vamvaka E, Farré G, Rivera SM, Dashevskaya S, Berman J, Sabalza M, Yuan D, Bai C, Bassie L, Twyman RM, Capell T, Christou P, Zhu C. The contribution of transgenic plants to better health through improved nutrition: opportunities and constraints. *Genes e Nutrition* 8:29-41, 2013.
- Qu LQ, Yoshihara T, Ooyama A, Goto F, Takaiwa F. Iron accumulation does not parallel the high expression level of ferritin in transgenic rice seeds. *Planta* 222(2):225-233, 2005.
- Queiroz VAV, Guimarães PEO, Queiroz LR, Guedes EO, Vasconcelos VDB, Guimarães LJ, Ribeiro PEA, Schaffert RE. Disponibilidade de ferro e zinco em linhagens de milho. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 31(3), 2011.
- Rabbi I, Hamblin M, Gedil M, Kulakow P, Ferguson M, Ikpan AS, Ly D, Jannink JL. Genetic Mapping using genotyping-by-sequencing in the clonally propagated cassava. *Crop Science* 54: 1384-1396, 2014.
- Rios SA, Alves KR, Costa NMB, Martino HSD. Biofortificação: culturas enriquecidas com micronutrientes pelo melhoramento genético. *Revista Ceres* 56(6): 713-718, 2009.

- Rosado JL, Hambidge KM, Miller LV, Garcia OP, Westcott J, Gonzalez K, Conde J. The quantity of zinc absorbed from wheat in adult women is enhanced by biofortification. *Journal of Nutrition* 139(10): 1920-1925, 2009.
- Saltzman A, Birol E, Bouis HE, Boy E, De Moura FF, Islam Y, Pfeiffer WH. Biofortification: Progress toward a more nourishing future. *Global Food Security* 2: 9-17, 2013.
- Santos AB, Stone LF, Vieira NRA. *A cultura do arroz no Brasil*. 2. Ed. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão 2006. 1118p.
- Sayre R, Beeching JR, Cahoon EB, Egesi C, Fauquet C, Fellman J, Fregene M, Gruissem W, Mallowa S, Manary M, et al., *The BioCassava plus program: biofortification of cassava for sub-Saharan Africa*. *Annual Review of Plant Biology* 62: 251-272, 2011.
- Scheeren PL, Carvalho JL, Nutti MR, Caierão E, Bassoi MC, Albrecht JC, Castro RL, Miranda MZ, Torres GAM, Tibola CS. *Biofortificação em trigo no Brasil*. IV Reunião de biofortificação, 2011.
- Silva CA, Abreu ÁDFB, Ramalho MAP, Maia LCS. Chemical composition as related to seed color of common bean. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 12(2): 132-137, 2012.
- Soares AA. *Cultura do arroz*. 2. Ed. Lavras: UFLA, 2005. 130p.
- Steuer HD, Mehta S, Gellynck X, Finkelstein JL. GM biofortified crops: potential effects on targeting the micronutrient intake gap in human populations. *Current Opinion in Biotechnology* 44:181-188, 2017.
- Vellozo EP, Fisberg MA. Contribuição dos alimentos fortificados na prevenção da anemia ferropriva. *Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia* 32(2): 140-147, 2010.
- Velu G, Singh R, Balasubramaniam A, Mishra VK, Chand R, Tiwari C, Joshi A, Virk P, Cherian B, Pfeiffer W. Reaching out to farmers with high zinc wheat varieties through public-private partnerships – an experience from Eastern-Gangetic plains of India. *Advances In Food Technology And Nutritional Sciences* 1(3): 73-75, 2015.
- Velu G, Singh RP, Huerta-Espino J, Peña RJ, Arun B, Mahendru-Singh A, Mujahid MY, Sohu VS, Mavi GS, Crossa J, Alvarado G, Joshi AK, Pfeiffer WH. Performance of biofortified spring wheat genotypes in target environments for grain zinc and iron concentrations. *Field Crops Research* 137: 261-267, 2012.
- Wang W, Feng B, Xiao J, Xia Z, Zhou X, Li P, ... Peng M. Cassava genome from a wild ancestor to cultivated varieties. *Nature Communications* 5: 5110, 2014.
- White PJ, Broadley MR. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science* 10(12): 586-593, 2005.



- Wurtzel ET. Genomics, genetics, and biochemistry of maize carotenoid biosynthesis. *Recent Advances in Phytochemistry* 38: 85–110, 2004.
- Yan JB, Kandianis CB, Harjes CE, Bai L, EH Kim XH, Yang DJ, et al., Rare genetic variation at *Zea mays crtRB1* increases  $\beta$ -carotene in maize grain. *Nature Genetics* 42: 322–327, 2010.
- Zhu C, Naqvi S, Gomez-Galera S, Pelacho AM, Capell T, Christou P. Transgenic strategies for the nutritional enhancement of plants. *Trends in Plant Science* 12:548–555, 2007.

## CAPÍTULO 6

# TRANSGÊNICOS: MITOS, VERDADES E PERSPECTIVAS

Bárbara J. P. Borges  
Alexandre L. Nepomuceno  
Maria Lucia Zaidan Dagli  
Patricia M. B. Fernandes

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo a *Convenção sobre Diversidade Biológica* da ONU, 1992, "Biotecnologia é qualquer aplicação tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos, ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica". Como tal, a Biotecnologia está na vanguarda, e pode proporcionar muitas soluções aos problemas que afligem a sociedade. Com intensos debates sobre o aquecimento global, a necessidade de alimentos saudáveis, custo e valor dos novos medicamentos, as novas tecnologias de edição do genoma, proteção de propriedade intelectual, a necessidade de fontes de combustível e processos industriais mais sustentáveis e muitas outras questões críticas, somente a Ciência poderá gerar alternativas duradouras e sustentáveis para a saúde humana, animal e o meio ambiente.

Os organismos geneticamente modificados (OGM), também denominados de organismos transgênicos, representam uma grande conquista na agricultura não somente no Brasil, mas em todo o mundo. Plantas transgênicas vêm sendo desenvolvidas para garantir maior produtividade, e também ajudar a proteger e preservar o meio ambiente, diminuindo o uso de insumos agrícolas e até mesmo limitando o impacto das mudanças climáticas. A adoção de novas técnicas de Biotecnologia possibilita aumentar a disponibilidade de alimentos para uma população mundial em crescimento de forma produtiva e eficiente, reduzindo o impacto da agricultura sobre o meio ambiente. Desta forma, o uso de OGM na agricultura leva a redução dos volumes de produtos químicos

agrícolas exigidos pelas culturas, limitando o escoamento desses produtos no meio ambiente, através do uso de culturas biotecnológicas que precisam de menos aplicações de pesticidas e que permitem aos agricultores reduzir as terras cultiváveis. Mais ainda, temos observado o desenvolvimento de culturas com perfis de nutrição aprimorados que solucionam deficiências de vitaminas e nutrientes, a produção de alimentos sem alérgenos e toxinas, como a micotoxina, dentre outros.

Atualmente são 18 milhões de agricultores em todo o mundo que plantam OGM. Estes agricultores destacam como vantagens a capacidade de cultivar com sucesso e com menos insumos, incluindo aplicações reduzidas de pesticidas e diminuição no combustível necessário para operar tratores. As alterações genéticas promovidas nas plantas, como resistência a vírus, a insetos e outras enfermidades, e tolerância à seca, ajudam a maximizar o rendimento, minimizando a perda de colheitas para pragas, doenças e condições climáticas adversas. Calcula-se que nos últimos 20 anos, as plantas transgênicas permitiram reduzir as aplicações de pesticidas em 8% e ajudaram o aumento das produções em 22% (JAMES, 2016; KLÜMPER e QAIM, 2014).

Um estudo realizado por pesquisadores da Universidade de Purdue, EUA, determinou que a eliminação de todos os OGM da prática agrícola levaria a uma redução dos rendimentos de milho em 11,2%, de soja em 5,2% e de algodão em 18,6%. Para compensar a diferença, levaria a conversão de cerca de 7,7 milhões de acres estimados de floresta e pastagem em terras agrícolas (TAHERIPOUR et al., 2016).

Os OGM são extensivamente estudados e avaliados em todo o mundo, para se certificar de que eles são seguros para o homem, os animais, as plantas e o meio ambiente antes de chegarem ao mercado. As plantas GM são testadas e os pesquisadores procuram minimizar quaisquer diferenças entre as plantas GM e as plantas convencionais para garantir que a variedade GM cresça igual à variedade não-GM. Eles também são testados para garantir que demonstrem a característica desejada, por exemplo, a resistência a insetos praga da lavoura.

Entretanto, apesar da grande maioria dos cientistas assegurar, baseados em dados científicos, que os alimentos provenientes de

OGM são seguros, a desconfiança continua a reinar entre o público leigo e também entre os consumidores. Isto se deve, em muito, à dispersão de informações incorretas disponibilizadas em diversos meios de comunicação e às táticas de sensacionalismo em relação aos organismos transgênicos.

A Organização Mundial da Saúde, a “European Food Safety Authority” (EFSA), a “US Food and Drug Administration” (FDA) nos Estados Unidos, a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) no Brasil e tantas outras agências no mundo declararam que os OGM são seguros para o consumo. Entretanto, desde o surgimento dos OGM, no final dos anos 1990, existe um grupo de opositores à tecnologia e, o que se observa na verdade, é que a maioria das pessoas não compreende a Biotecnologia e não sabe realmente o que são os OGM. As pessoas tendem a desejar naturalidade nos alimentos e o medo decorre de algo que parece antinatural; é uma reação negativa a algo que parece ser um aditivo ou incomum. A falta de informação associada à propaganda maciça feita por produtores e comerciantes de produtos “naturais e orgânicos” de que seus produtos são livres de OGM e são saudáveis, promovendo uma conexão errônea, levam à desconfiança do consumidor. O que pode ser ainda mais perigoso é o fato de algumas empresas adotarem o rótulo de “não-OGM” somente para capturar o consumidor, mesmo que estes tenham alto teor de sal, de açúcar ou de gordura - ingredientes que são cientificamente reconhecidos como prejudiciais quando consumidos em quantidades não moderadas.

Vários estudos científicos referendados concluíram que não há evidências de que alimentos produzidos organicamente sejam mais seguros do que os alimentos produzidos por qualquer outro método de cultivo; e não existe um aumento nutricional claro por se alimentar de produtos orgânicos. Além disso, não há evidências de que os alimentos geneticamente modificados atualmente no mercado representam qualquer risco à saúde humana ou que sejam menos seguros do que os alimentos produzidos tradicionalmente. De acordo com *National Academies of Sciences, Engineering and Medicine* dos Estados Unidos: “Até a presente data, nenhum efeito adverso para a saúde atribuído à engenharia genética foi documentado na população humana”. Em estudo realizado na

Califórnia, no qual foram analisados mais de 1 milhão de animais de produção (bovinos, suínos e aves) que consumiram milho e soja transgênicas, demonstrou-se que houve um aumento da produtividade dos animais após a administração de plantas transgênicas, e nunca se constatou nenhum efeito adverso nesses animais ou em suas proles (VAN EENENNAAM e YOUNG, 2014).

A facilidade de acesso a vários meios disponíveis, especialmente a web, não significa facilidade para encontrar informações confiáveis que possam apoiar decisões sensatas e autônomas. Ao contrário, facilita a disseminação de informações errôneas sobre a segurança dos OGM e derivados (CAPALBO et al., 2015). Entretanto, a própria complexidade do processo de desenvolvimento biotecnológico dificulta a comunicação entre os cientistas e a comunidade. Portanto, é fundamental que a população tenha confiança nos órgãos reguladores e nos relatórios científicos. Da mesma forma, devem-se defender as políticas baseadas em evidências e no método científico, além da divulgação de relatórios científicos dos resultados das análises de biossegurança dos OGM.

## 2. A MODIFICAÇÃO GENÉTICA DOS ORGANISMOS

Simplificadamente, OGM é um organismo cujo material genético (DNA/RNA) tenha sido modificado por qualquer técnica de engenharia genética.

O termo 'Engenharia Genética' é usado para descrever a manipulação artificial da molécula de DNA, levando a alteração genética de um organismo. Este rearranjo do DNA pode corresponder a inserção de um novo fragmento de DNA ou a retirada de um gene ou parte dele. Desta forma, um organismo transgênico é um tipo de OGM. É um organismo cuja composição genética foi alterada pela adição de material genético de um organismo não relacionado, ou seja, que não é sexualmente compatível. Portanto, o desenvolvimento de um transgênico envolve a utilização de técnicas de engenharia genética, levando a identificação e manipulação de sequências específicas do DNA para

que ao serem transferidas para as células da espécie receptora se tornem metabolicamente funcionais.

Um organismo cisgênico é um organismo cuja composição genética foi alterada sem a adição de material genético de um organismo não relacionado.

Durante séculos, o homem fez melhorias nas plantas através de cruzamentos e da hibridação, com a polinização controlada das plantas. A Biotecnologia vegetal é uma extensão da seleção vegetal tradicional com uma diferença muito importante: a Biotecnologia garante a transferência de características benéficas de forma precisa e controlada.

Charles Darwin, em 1859, em seu livro *A Origem da Espécies*, elabora uma hipótese que denominou de seleção natural com o propósito de explicar o processo de evolução, com caracterização dos elementos de hereditariedade a partir do cruzamento de parentais. Ele propõe que a imposição de restrições aos indivíduos pelo meio ambiente vai selecionando-os, a longo prazo, para sobrevivência daqueles mais resistentes (ou mais adaptáveis - sob a ótica atual). Foi o ponto de partida para, posteriormente, serem agregadas evidências genéticas providas por pesquisas científicas do século XX, aprimorando-se os mecanismos de seleção e melhoramento genético de indivíduos vegetais com objetivo agrícola.

As bases conceituais da seleção natural são, portanto, idênticas às do melhoramento genético. Porém, o lapso temporal necessário para o primeiro ocorrer é maior que para o segundo, que é realizado sob a coordenação do intelecto humano. E, as estratégias pelas quais o melhoramento é feito são descritas como: convencional ou clássico, em que há o cruzamento das variedades de interesse e, não convencional, em que são empregados métodos mais modernos como a tecnologia de DNA recombinante. Ambas as estratégias visam à indução da característica desejada na planta e são avaliadas em testes de campo, sendo submetidas ao controle de qualidade de sementes. Ainda, os indivíduos obtidos por manipulação de material genético através das ferramentas de Engenharia Genética são submetidos a um controle adicional - a avaliação de risco, discutida adiante.

De Darwin ao melhoramento genético, a ciência não parou. E nunca para de buscar soluções sustentáveis e meios de melhorar a qualidade de vida e aumentar a eficiência de produção agrícola, causando o mínimo possível de impacto ambiental. Alcançou-se um estágio de conhecimento impressionante acerca dos seres vivos, especialmente com a possibilidade de manipulação de material genético através das ferramentas de Engenharia Genética.

Apresentamos abaixo um histórico do desenvolvimento da Biotecnologia até o primeiro OGM e o primeiro alimento GM disponível ao consumidor:

- 1869 – O químico suíço Friedrich Miescher identificou o DNA (ácido desoxirribonucleico), que ele chamou de nucleína.
- 1919 – O bioquímico russo Phoebus Levene caracterizou os nucleotídeos (fosfato-açúcar-base) e como estes se ligam para formar uma cadeia polinucleotídica.
- 1928 - 1944 – Frederick Griffith, Oswald Avery, Alfred Hershey e Martha Chase demonstraram que a base da hereditariedade está no DNA.
- 1950 – O bioquímico austríaco Erwin Chargaff demonstrou que o número total de purinas (A + G) em uma molécula de DNA é igual ao número total de pirimidinas (C + T) (A regra de Chargaff).
- 1953 - O biólogo americano James Watson e o físico inglês Francis Crick descobriram que a molécula de DNA existe na forma de uma dupla hélice tridimensional.
- 1973 – Herbert Boyer e Stanley Cohen criaram o primeiro organismo geneticamente modificado por engenharia genética. Os dois cientistas desenvolveram o método denominado de DNA recombinante, no qual utilizavam enzimas de restrição para cortar sequências específicas de DNA de um organismo e inseri-las em outra célula. Usando esse método, eles transferiram sequência de DNA que codifica a resistência a antibiótico de uma cepa de bactéria a outra, conferindo resistência ao receptor.
- 1974 - Rudolf Jaenisch e Beatrice Mintz introduziram DNA exógeno em embriões de camundongo, produzindo o primeiro organismo multicelular geneticamente modificado.
- 1975 – Proposta pelo cientista Paul Berg da Universidade de Stanford, EUA, a Conferência de Asilomar reuniu cientistas, advogados e funcionários de governos para debater acerca da segurança dos experimentos de engenharia genética e concluíram que os projetos deveriam continuar com determinadas diretrizes. Desta forma, a conferência definiu os regulamentos de segurança e contenção para

mitigar os riscos de cada experiência e determinou que o investigador principal de cada laboratório deve ser o responsável por garantir uma segurança adequada aos seus pesquisadores, bem como apresentar o desenvolvimento das pesquisas a comunidade científica. Mais ainda, os participantes da reunião concluíram que tais diretrizes deveriam ser fluidas, influenciadas por novos conhecimentos à medida que a comunidade científica avançava.

- 1980 – A primeira patente de um OGM foi concedida: bactéria degradadora de óleo.
- 1982 – Primeiro OGM foi liberado no mercado: bactéria geneticamente modificada para sintetizar a insulina humana, e, conseqüentemente, o primeiro derivado de OGM, a droga Humulin.
- 1994 – Chegou ao mercado norte-americano o tomate com amadurecimento retardado que tem uma vida útil mais longa do que os tomates convencionais. É o primeiro alimento GM liberado comercialmente.

A Engenharia Genética se refere especificamente aos métodos baseados na tecnologia de DNA recombinante, em que moléculas de DNA de duas ou mais fontes são combinadas dentro de células ou *in vitro* e são inseridas em um organismo hospedeiro. A tecnologia de DNA recombinante é um conjunto de técnicas que leva a união de moléculas de DNA de duas espécies diferentes que são inseridas em um organismo hospedeiro para produzir novas combinações genéticas com valor comercial. Isso geralmente é feito inserindo um gene no genoma em posições aleatórias, juntamente com sequências de bactérias, vírus ou outras espécies que conduzem a expressão do gene.

As novas tecnologias de edição de genomas (NBT, do inglês *new breeding technologies*) permitem mudanças em regiões específicas do DNA de forma bastante precisa; podendo trocar, retirar ou inserir nucleotídeos, retirar todo um gene ou inserir sequências exógenas, ou seja, de um outro organismo. As novas tecnologias de edição gênica se baseiam no uso de nucleases, enzimas capazes de cortar DNA com alta especificidade, garantindo precisão na alteração genética através de quebra na molécula de DNA em regiões de interesse.

As principais NBTs utilizadas para produzir novas variedades de plantas são (GAJ et al, 2016):



(1) nucleases efetoras semelhantes à ativadores transcricionais (TALEN, do inglês *Transcription activator-like effector nucleases*). TALEN são enzimas quiméricas (fusão de mais de um tipo de enzima) que combinam uma nuclease com outras proteínas que são capazes de se ligar ao DNA. Essas proteínas, chamadas efetores TAL (*Transcription activator-like*), podem ser projetadas artificialmente para reconhecer e ligar a qualquer sequência de interesse.

(2) nucleases de dedo de zinco (ZFN, do inglês *Zinc finger nucleases*). ZFN também são enzimas quiméricas em que uma nuclease é combinada com uma série de proteínas contendo íons zinco que reconhecem moléculas de DNA. Este grupo de proteínas é conhecido como “Domínio de Ligação ao DNA” e cada uma destas proteínas pode ser modificada para reconhecer sequências específicas.

(3) CRISPR-Cas (repetições palindrômicas curtas e regularmente inter espaçadas associadas a proteína Cas, do inglês *clustered regularly interspaced short palindromic repeats*). Na tecnologia CRISPR/Cas9, a nuclease Cas9 é guiada por uma molécula de RNA, o RNA guia, e com isso faz cortes em locais específicos do genoma. O RNA guia é uma sequência complementar ao alvo, ou seja, a região do DNA que se quer cortar, e pode ser modificada para se ligar à qualquer sequência de interesse. Devido a facilidade de uso, precisão e eficiência, a tecnologia CRISPR-Cas9 vem sendo amplamente adotada pelos cientistas. Para se ter uma idéia do impacto desta tecnologia, uma pesquisa usando o termo ‘CRISPR’ como palavras-chave forneceu 6.697 publicações na Web of Science e combinando com o termo ‘plants’, foram encontradas 503 publicações (em 05/09/2017).

Considerando que as NBT não utilizam marcadores genéticos, como genes bacterianos de resistência a antibióticos, por exemplo, não há necessariamente a introdução de um gene exógeno. Desta forma, este sistema permite o desenvolvimento de OGM cisgênicos que poderiam ocorrer naturalmente ou poderiam surgir através de técnicas de evolução induzida. Por não possuírem nenhum marcador de mutação, é praticamente impossível identificar se este novo OGM foi produzido por engenharia genética ou por melhoramento clássico.

O advento da engenharia genética baseada em CRISPR/Cas9 apresenta opções anteriormente inimagináveis para erradicar doenças transmitidas por animais ou espécies invasoras. Mas, como qualquer outra nova variedade, pode representar um risco potencial para ecossistemas ou efeitos colaterais imprevistos em caso de liberação involuntária, e deve ter sua biossegurança avaliada. Naturalmente, isso levou a um debate acalorado na comunidade científica e além de questões de ética e segurança, com a sugestão para uma moratória sobre a pesquisa até que a regulamentação adequada esteja em vigor.

Cautela nunca é demais. No entanto, nortear-se pelo princípio da precaução não significa recusar os avanços que a ciência pode trazer, muito menos impedir que ela progrida. Afinal, para conhecer os mecanismos de cada nova tecnologia inventada ou processo descoberto, são necessários estudos contínuos, constantes e aprofundados. Sem novas pesquisas, as dúvidas permanecerão sem resposta. Desse modo, operar no sistema do medo, impingindo moratórias, pode estacionar a marcha da ciência, causando danos ainda mais graves à sociedade.

E assim, o primeiro produto produzido através da tecnologia CRISPR a entrar no mercado norte-americano foi liberado pelo USDA, após análise, sem que tivesse que se submeter à regulamentação. O OGM em questão é um cogumelo branco comum (*Agaricus bisporus*) resistente ao escurecimento, desenvolvido pela equipe do fitopatologista Yinong Yang, da Pennsylvania State University (Penn State), EUA. O escurecimento de frutas, e da mesma forma dos cogumelos, ocorre pela ação das enzimas polifenoloxidasas (PPO). Ao eliminar apenas alguns pares de bases no genoma do cogumelo, Yang e col. eliminou um dos seis genes que codificam para a PPO - reduzindo a atividade da enzima em 30%. A principal justificativa para a liberação para a produção e venda sem nenhuma supervisão adicional é que não houve a introdução de nenhum gene de outro organismo (WALTZ, 2016).

### 3. OS PRODUTOS BIOTECNOLÓGICOS COMERCIALIZADOS NO MUNDO

Os primeiros produtos agronômicos derivados de OGM do mercado foram plantas que continham genes que codificavam uma única proteína e eram regulados por alguns elementos comuns, como um promotor e um terminador. A grande maioria das transformações gerou intencionalmente características agronômicas, como tolerância a herbicidas (glifosato, glufosinato e oxinyl) e resistência a insetos (diversas formas das proteínas Cry, derivadas do *Bacillus thuringiensis*).

Observa-se que a obtenção de culturas de OGM aprovadas para uso é tão complexa e dispendiosa que a maioria dos que foram modificados são grandes commodities como milho e soja. Entretanto, acredita-se que com o advento das NBT, principalmente CRISPR, a situação pode mudar devido à facilidade e ao baixo custo, possibilitando o engenheiramento de plantas que não são tão importantes comercialmente.

Nos últimos anos, mandioca biofortificada, trigo e arroz resistentes às doenças, além de laranjas doces enriquecidas com vitaminas são exemplos de cultivares GM que trazem efeitos diretos aos consumidores e poderão ter uma aceitação maior. Estas vantagens, aliadas ao rápido aprimoramento das estratégias e ferramentas de edição gênica, com a redução de custos proporcionarão benefícios à população, especialmente, em países em desenvolvimento.

No entanto, a diminuição da proporção do financiamento dos programas de melhoramento públicos em relação aos privados, sobretudo nos países não desenvolvidos (PARDEY et al., 2016), juntamente às práticas de proteção intelectual, tem contribuído globalmente para o agravamento do domínio tecnológico das grandes empresas de biotecnologia agrícola, a redução da diversidade de produtos agropecuários e, em última instância, o aumento dos preços de sementes (ALSTON et al., 2009). Atualmente, as sete maiores corporações de biotecnologia agrícola controlam aproximadamente dois terços do mercado global de sementes (ETC GROUP, 2015), e processos de fusão e aquisição recentes e em andamento levarão a concentração ainda maior no

futuro próximo (BRENNAN, 2016). No Brasil, até meados da década de noventa, a participação de empresas de melhoramento genético nacionais nos mercados de sementes de soja e milho era superior a 70% e 30%, respectivamente (FIGUEIREDO SILVA et al., 2015). Contudo, em decorrência de diversas aquisições de empresas de capital nacional, da adoção da Lei de Patentes em 1996 e da Lei de Proteção de Variedades Vegetais em 1997, sementes proprietárias foram introduzidas maciçamente pelas grandes corporações da agrobiotecnologia no mercado brasileiro de sementes. Como resultado, a participação nacional no mercado de sementes de soja e milho foi reduzida (FIGUEIREDO SILVA et al., 2015).

Uma característica distinta das grandes empresas de biotecnologia agrícola é a sua capacidade de inovação para o desenvolvimento contínuo de genótipos superiores utilizando-se ferramentas biotecnológicas. Para isso, operam estratégias robustas de pesquisa e desenvolvimento que utilizam, em adição ao melhoramento genético convencional, mas também ferramentas biotecnológicas como marcadores moleculares, engenharia genética e, edição genômica para gerar novas cultivares que incorporam características como resistência a herbicidas e pragas e maior tolerância a diferentes estresses e melhoramento do valor nutricional (MCELROY, 2004; PRADO et al., 2014). Por meio dessas estratégias, milhares de genótipos são avaliados anualmente e aqueles selecionados são responsáveis por ganhos de produtividade, sobretudo em condições adversas. Globalmente, essa estratégia tem sido bem-sucedida na descoberta, desenvolvimento e comercialização de cultivares combinando diversas ferramentas biotecnológicas. Existem vários exemplos, de transgenes introduzidos por engenharia genética que foram capazes de melhorar características agronômicas levando direta ou indiretamente ao aumento do rendimento de grãos em várias *commodities* (CASTIGLIONI et al., 2008; NUCCIO et al., 2015). Mais recentemente, uma nova revolução no desenvolvimento de variabilidade genética parece ter surgido para ficar. As primeiras plantas que tiveram seu genoma editado por técnicas de engenharia genética de precisão como CRISPR, ZFN e TALEN começaram a ser colocadas no mercado. Como exemplo citamos híbridos de milho com composição modificada de amido com 100%

de amilopectina e 0% de amilose, mais interessantes para a indústria, ou cogumelos e maçãs cujo genoma foi editado para inativação de oxidases de polifenóis, enzimas que causam o escurecimento do tecido vegetal, gerando nestes dois casos produtos de maior vida de prateleira. Em decorrência de não carregarem transgenes, em países importantes como EUA, Canadá e Argentina, estes produtos obtiveram autorização para comercialização da forma como ocorre para os produtos convencionais e não como para os OGMs (WALTZ, 2016).

O uso da Engenharia Genética no controle de pragas e doenças não tem se limitado a gerar plantas GM com a inserção de genes que conferem resistência/tolerância a estes estresses, mas também no desenvolvimento de novas estratégias inovadoras que podem revolucionar todo o mercado de defensivos agrícolas mundial. A molécula de RNA ganhou destaque no cenário da genética com a descoberta na década de 90 de sua função na regulação da expressão gênica. RNAs de interferência (RNAi ou siRNA) e os microRNAs (miRNA) podem levar ao silenciamento gênico, agindo na forma de moléculas de RNA dupla-fita com tamanho < 30 pb. O sistema foi observado primeiramente em plantas de petúnia GM para um gene de pigmentação, mas a compreensão do sistema DICER/RISK só começou a ser entendido com os resultados de experimentos com *Caenorhabditis elegans* (AGRAWAL et al., 2003). Hoje o uso de RNAi tem sido aplicado no silenciamento gênico pós-transcricional em plantas e animais, tanto para estudos funcionais, como já na geração de plantas GM. Até a pouco, seu uso era restrito ao desenvolvimento de plantas GM expressando construções gênicas que permitissem a formação de RNAs fita dupla específicos para o gene alvo a ser silenciado, seja ele um gene da própria planta ou de um patógeno que ataca a espécie de interesse (BONNET et al., 2006).

No Brasil, a Embrapa domina esta tecnologia, e em 2011 obteve autorização da CTNBio para uso comercial no país de plantas de feijão GM resistentes ao Vírus do Mosaico Dourado, produzidos empregando-se a estratégia de RNAi. Entretanto, novos usos de RNAi têm sido testados com sucesso. A empresa Monsanto tornou público alguns resultados limitados, sobre o potencial de uso de RNAi para melhorar a eficácia do herbicida glifosato no controle de

plantas daninhas resistentes ao herbicida. A estratégia sendo testada é a de geração de RNAs fita dupla *in vitro* capazes de se ligar e inibir a expressão do gene EPSPS (alvo do herbicida) nas plantas daninhas resistentes. Estes RNAs são aplicados de forma tópica, como spray na superfície das folhas junto com o herbicida, facilitando assim a ação do mesmo em inibir o desenvolvimento da planta daninha. A tecnologia BioDirect™, que é baseada no uso de RNAi de aplicação tópica, tem potencial para ser usada não somente no controle de ervas daninhas resistentes, mas também em qualquer organismo alvo de que se tenha conhecimento da sequência de DNA do gene a ser desligado via RNAi (MONSANTO, 2017). O desenvolvimento e a comercialização desta tecnologia, aparentemente, ainda estão sendo trabalhados. Ainda existem gargalos consideráveis como a manutenção da estabilidade da fita dupla em diferentes situações ambientais e/ou a produção em larga escala para aplicações em situações reais da produção agropecuária (NUMATA et al., 2014). Entretanto, a tecnologia tem potencial de ser utilizada em todo o agronegócio, trazendo inovações que podem alterar completamente o paradigma atual de controle pragas e doenças em animais e plantas.

#### 4. SEGURANÇA DOS PRODUTOS

Antes de qualquer produto derivado de OGM ser comercializado no Brasil, ele passa por uma análise de risco. As pesquisas laboratoriais e experimentos de campo também são avaliadas, tendo em vista não só a saúde humana, animal e vegetal, mas os riscos para o meio ambiente como um todo.

A análise de risco é um processo composto pelo gerenciamento de risco, comunicação de risco e avaliação de risco. No Brasil, a avaliação da segurança dos organismos geneticamente modificados é atribuída à CTNBio, a decisão política relativa à liberação comercial fica a cargo do Conselho Nacional de Biossegurança (CNBS) e, a gestão de risco e a comunicação de risco são compartilhadas por todos os órgãos e instituições envolvidas no processo. O gerenciamento de riscos reúne mecanismos, medidas e estratégias adequadas para regular, gerir e controlar os riscos

identificados na avaliação de risco. A comunicação de risco é um processo interativo envolvendo todas as partes interessadas, inclusive os consumidores. A avaliação de risco corresponde a uma combinação de procedimentos ou métodos pelos quais é possível avaliar os efeitos potenciais da liberação comercial de OGM e derivados do meio ambiente, para saúde humana e animal através de uma análise caso a caso. Todos os componentes devem ser proporcionais ao risco, com base no resultado da avaliação de risco. Ainda, a transparência é característica essencial nos processos de decisão de avaliação de riscos e gerenciamento de riscos.

Isso significa que os produtos só estarão nas prateleiras à disposição do consumidor após uma série exaustiva de análises, na avaliação de risco, que desenvolve-se através da consecução de etapas coerentemente organizadas, descritas, especialmente, em resoluções normativas da CTNBio, respeitadas as peculiaridades de cada matéria específica. As estas etapas ou fases que orientam o processo podem ser assim resumidas: (i) identificação de qualquer característica genotípica ou fenotípica nova associada ao organismo vivo modificado que possa ter efeitos adversos na diversidade biológica no provável meio receptor, considerando-se também os riscos para a saúde; (ii) avaliação da probabilidade de esses efeitos adversos se concretizarem, levando em conta o nível e tipo de exposição do provável meio receptor ao organismo vivo modificado; (iii) avaliação das consequências, caso esses efeitos adversos de fato ocorrem; (iv) estimativa do risco geral apresentado pelo organismo vivo modificado com base na avaliação da probabilidade dos efeitos adversos identificados ocorrerem e de suas consequências; (v) recomendação sobre se os riscos são aceitáveis ou manejáveis ou não, inclusive, quando necessário, a identificação de estratégias para manejar esses riscos; (vi) e, quando houver incerteza a respeito do nível de risco, essa incerteza poderá ser tratada solicitando-se maiores informações sobre aspectos preocupantes específicos ou pela implementação de estratégias apropriadas de manejo de risco e/ou monitoramento do organismo vivo modificado no meio receptor (CBD, 2000).

Dessa forma, do processo de avaliação da segurança pode resultar tanto a necessidade de maiores informações sobre aspectos específicos do OGM em análise, quanto redundar em informações

sobre outros aspectos que podem não ser relevantes em certos casos. Ao final, obtém-se o parecer técnico sobre a biossegurança, isto é, por meio de um processo de avaliação de risco, examina-se individualmente o OGM. Sendo os riscos identificados como aceitáveis, ou seja, o risco encontrado foi tão pequeno que pode ser desconsiderado - registre-se que não existe risco zero para nenhuma atividade acadêmica ou não, o OGM é considerado seguro para ser pesquisado ou liberado comercialmente.

Para que seja possível confrontar os riscos e os benefícios da adoção e desenvolvimento dos OGM, é importante diferenciar os conceitos de risco e perigo e sua relação com a percepção de risco, uma vez que não só a informação técnica será responsável pela formação da opinião do público em geral e também dos tomadores de decisão (ARANTES, 2012). O perigo é o agente nocivo de natureza química, física ou biológica, que é capaz de causar efeitos adversos. Já o risco corresponde à função de probabilidade de ocorrência do perigo, sendo influenciado, portanto, pela exposição, dessa forma, impossível de o risco ser igual a zero, pois sempre haverá uma probabilidade de exposição ao risco, ainda que infinitamente pequena.

Assim, não só a avaliação de risco em si, mas o modo e a estratégia de informação/comunicação (na gestão e comunicação de risco) são elementos relevantes para a divulgação de informações corretas e que colaborarão na construção da opinião consciente e consistente sobre os OGM, uma vez que influenciarão a percepção de risco que as pessoas vão ter. Através, portanto, de diferentes interpretações e percepções nascem as divergências sobre o tema; divergências, estas, que se baseiam nos mais diversos argumentos. Estes argumentos podem ser resumidos em perspectivas polarizadas favoráveis ou pró-OGM e desfavoráveis ou contra-OGM.

Inúmeras pesquisas investigaram a adoção dos OGM e identificaram resultados positivos como o aumento da produtividade agrícola em geral (TAHERIPOUR et al., 2016), beneficiando os países em desenvolvimento (EVENSON, 2003; GONZÁLEZ et al., 2009). Além disso, verificou-se a diminuição do desmatamento e o aumento da capacidade de alimentar uma população maior, com melhoria na qualidade nutricional dos



alimentos. Os OGM têm sido utilizados desde o final da década de 1990, sem impacto negativo demonstrado na saúde (NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE, 2016). Por exemplo, a proteína Bt, incorporada em algumas culturas GM, é aprovada também para uso em culturas orgânicas (BAULCOMBE et al., 2016).

Em geral, as perspectivas contrárias se amparam em questões de biossegurança e bioapropriabilidade (HERRING, 2010), afirmando que só foram criados no interesse meramente econômico das grandes empresas e que não foram feitos testes adequados para determinar se os OGM são seguros, sendo associados à crescente incidência de asma, autismo, alergias e outras doenças. Ainda, são direcionados questionamentos quanto à qualidade e confiabilidade das pesquisas, afirmando-se que há conflito de interesse porque os cientistas estariam recebendo financiamento não declarado de empresas. Sobre este assunto, foi publicado um estudo na *Nature*, uma das revistas de maior relevância na ciência, com resultados interessantes. A partir de um universo de 698 trabalhos originais publicados em revistas com sistema de avaliação por pares (no período entre 1993 e julho de 2014), há declaração de conflito de interesse em 25%. Destes 25%, apenas 15% não informaram a fonte de financiamento. Desse modo, a pesquisa de Sanchez (2015) refuta as teses de que não há suficiente e criteriosa investigação que avalie a segurança de alimentos geneticamente modificados e que prevalecem os conflitos de interesses nas pesquisas.

Outro ponto questionado é a necessidade de melhor elucidação dos mecanismos pelos quais a proteína Cry atua como inseticida (VACHON et al., 2012). Embora os OGM com a característica de produção de toxinas Bt tenham sido produzidos para reduzir o ataque de insetos às plantações, pela especificidade da toxina contra insetos e, portanto, segurança para os demais organismos, existem pesquisadores que levantam questões acerca da toxicidade da substância, baseando-se em testes nos quais proteínas Cry causaram toxicidade em isolados de células humanas. Neste trabalho, Mizuki et al. (1999) pesquisaram genes que codificam proteínas Cry do tipo não inseticidas (contra lepidópteros), ou seja, genes que não são utilizados para produção de plantas GM. Isso significa que as proteínas que se mostraram tóxicas às células

humanas *in vitro* não estão sendo produzidas nas plantações, nem estão na nossa refeição.

Talvez o argumento que mais atraia adeptos ao banimento dos OGM seja a associação com uso de agrotóxicos. Indivíduos que adotam postura contrária aos OGM reforçam as repercussões negativas do uso de defensivos agrícolas como se fossem inseparáveis das tecnologias de Engenharia Genética. Ainda, mantém sua posição contrária com suporte na ação tóxica de herbicidas, por exemplo, o glufosinato de amônio (fabricado pela empresa Bayer) que é uma neurotoxina para mamíferos e uma molécula persistente no meio ambiente (LANTZ et al., 2014). Assim, pelo fato de alguns OGM serem resistentes aos herbicidas, como o glufosinato ou o glifosato, sugere-se que os agricultores empregam excessiva quantidade destes. Com efeito, Bøhn et al. (2014) apresentaram que plantas GM possuem maior quantidade de resíduos de herbicidas quando comparadas com amostras convencionais e orgânicas. Porém, se de fato os agricultores estão aplicando, em excesso, doses de defensivos agrícolas, o verdadeiro problema não reside em a planta ser ou não GM, mas sim na ausência de boas práticas na produção agrícola.

No tocante à bioapropriabilidade, insistem que o objetivo comercial dos OGM não seria melhorar as condições alimentares das pessoas ou as práticas agrícolas, mas gerar propriedade intelectual sobre sementes e criação de plantas, impulsionando o agronegócio (LATHAM, 2015). No entanto, este aspecto, resumido pela ideia maniqueísta de opressão das grandes multinacionais sobre os pequenos produtores, é questionado de modo mais abrangente por alguns pesquisadores (HERRING, 2010; TOFT, 2012).

É interessante recordar que, na história, inovações relacionadas à saúde e, conseqüentemente, à alimentação sempre despertaram desconfiança por parte da população, ainda que fossem capazes de proporcionar grandes benefícios e melhorar a qualidade de vida. Só para ficar em dois exemplos, sendo que o primeiro sequer envolvia ainda a Engenharia Genética - trataremos da vacinação e da insulina recombinante. A adoção de campanhas de vacinação gerou tamanho terror na população brasileira no início do século XX, que ficou conhecida como "Revolta da Vacina". As pessoas, por ignorância dos mecanismos de defesa do organismo, ou seja, por

desconhecimento dos avanços da ciência, recusaram-se a se submeter à exposição voluntária ao agente causador de doença (como o micro-organismo atenuado ou partícula antigênica), acreditando que isto causaria a doença e os mataria. No entanto, um dos resultados positivos foi a erradicação da varíola à época (HOCHMAN, 2011). Por último, lembramos ainda que a produção de insulina pela tecnologia do DNA recombinante causou protestos, despertando ações radicais contrárias ao uso da maquinaria de um microrganismo para produção de um medicamento tão importante e significativo como a insulina (BATRA, 2017). Assim, após 120 anos, a aceitação da vacina é quase unânime pela população e, após 40 anos, seria impensável viver sem a insulina recombinante. Porém, após 30 anos de consumo, fica a dúvida: quanto tempo mais é necessário para os OGM?

## 5. O SISTEMA REGULATÓRIO DE OGM NO BRASIL

O sistema regulatório de OGM possui fundamento na Constituição Federal de 1988, que estabelece o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, caracterizando-o como um bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida. Nesta oportunidade, firma-se o pacto intergeracional, fixando-se o dever de preservação e defesa do meio ambiente sob a responsabilidade da coletividade e do Poder Público, cabendo a este último, especialmente, assegurar a preservação da diversidade e da integridade do patrimônio genético do País; realizar a fiscalização de entidades dedicadas à pesquisa e manipulação de material genético; dentre outras atividades.

Através da inserção da Medida Provisória nº 2.191-9, de 23.8.2001, na Lei nº 8.974, de 5.1.1995 (antiga Lei de Biossegurança), foi criada a CTNBio para a prestação de apoio técnico consultivo e de assessoramento ao Governo Federal na formulação, atualização e implementação da Política Nacional de Biossegurança (PNB) no tocante aos OGM e derivados, com atribuição da responsabilidade pelo estabelecimento de normas técnicas de segurança, bem como a elaboração de pareceres técnicos conclusivos referentes à proteção da saúde humana, dos demais organismos vivos e do meio

ambiente, para atividades que envolvam a construção, experimentação, cultivo, manipulação, transporte, comercialização, consumo, armazenamento, liberação e descarte de OGM e derivados.

Em 2005, sob as diretrizes de estímulo ao avanço científico na área de biossegurança e biotecnologia, na proteção à vida e à saúde humana, animal e vegetal, e na observância do princípio da precaução para a proteção do meio ambiente, delineando o sistema regulatório de biossegurança, foi editada a Lei de Biossegurança (Lei nº 11.105, de 24.3.2005 e o Decreto 5.591, de 22.11.2005) que estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização sobre a construção, o cultivo, a produção, a manipulação, o transporte, a transferência, a importação, a exportação, o armazenamento, a pesquisa, a comercialização, o consumo, a liberação no meio ambiente e o descarte de OGM e derivados. Cumpre mencionar, também, que a atual regulamentação buscou, ainda, harmonizar-se com as demais normas internas correlatas, tais como a Lei ambiental (Lei nº 9.605, de 12.2.1998) e a Lei de agrotóxicos (Lei nº 7.802, de 11.7.1989); esta aplicada aos OGM quando destinados a compor matéria-prima para produção de agrotóxicos.

A CTNBio nasceu em 2001 como uma instância colegiada multidisciplinar vinculada ao Ministério da Ciência e Tecnologia (atual Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC), tendo mantido sua natureza com a atual legislação. Especialmente após o estabelecimento de critérios mínimos de proteção, balizados pelo Princípio da Precaução, através do Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança (PCB) – cujo texto final foi aprovado em 29.1.2000 e ratificado pelo Brasil em 24.11.2003 (promulgado pelo Decreto nº 5.705, de 16.2.2006), a atual Lei de Biossegurança buscou adequar o regramento nacional ao novo contexto mundial, detalhando e completando as competências da CTNBio. Foi trazida para a descrição da comissão o subsídio essencial para sua atividade: a avaliação de risco zoofitossanitário, à saúde humana e ao meio ambiente dos OGM e derivados. A CTNBio é composta por 27 membros titulares e suplentes (em igual número), designados pelo Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação dentre cidadãos brasileiros de reconhecida competência técnica. A Lei exige que os membros da comissão

possam elevado nível de qualificação técnica, caracterizando-os por possuírem notória atuação e saber científicos, titulação acadêmica de doutor(a), além de destacada atividade profissional atualizada nas áreas de biossegurança, biotecnologia, biologia, saúde humana e animal ou meio ambiente.

A composição multidisciplinar da CTNBio está organizada por 12 especialistas de notório saber científico e técnico, e seus respectivos suplentes, em efetivo exercício profissional, sendo três de cada uma das seguintes áreas saúde humana, animal, vegetal e meio ambiente, os quais são escolhidos a partir de lista tríplice, elaborada com a participação das sociedades científicas; nove representantes ministeriais, sendo cada um indicado pelo respectivo Ministro de Estado de cada um dos órgãos: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Saúde, Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Ministério da Defesa, Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República, Ministério das Relações Exteriores; além de 6 membros escolhidos a partir de lista tríplice, elaborada pelas organizações da sociedade civil (dotada de personalidade jurídica, cujo objetivo social seja compatível com a matéria de especialização), sendo um especialista em defesa do consumidor, indicado pelo Ministro da Justiça, um especialista na área de saúde, indicado pelo Ministro da Saúde, um especialista em meio ambiente, indicado pelo Ministro do Meio Ambiente, um especialista em biotecnologia, indicado pelo Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, um especialista em agricultura familiar, indicado pelo Ministro do Desenvolvimento Agrário e um especialista em saúde do trabalhador, indicado pelo Ministro do Trabalho e Emprego. Por fim, anote-se que cada membro efetivo possui um suplente que assume as atividades na ausência daquele.

Em resumo, a CTNBio possui, eminentemente, a competência para proceder à análise técnica (via avaliação de risco) relativa a atividades e projetos que envolvam OGM e derivados, o que inclui o parecer técnico favorável ou desfavorável que irá subsidiar a decisão de liberação comercial do OGM, residindo, nesse ponto, as

maiores polêmicas e repercussões na mídia. Esta competência é exclusiva (da CTNBio) e vinculante aos demais órgãos e entidades públicos, sendo-lhes facultada a interposição de recurso à própria Comissão ou, em caso de liberação comercial dos OGM e derivados, ao CNBS.

Desse modo, o parecer técnico da CTNBio acerca da biossegurança dos OGM é vinculante, o que significa que os demais órgãos, por exemplo, aqueles de registro e fiscalização como Anvisa, MAPA e Ibama, deverão acatar a decisão técnica sobre a biossegurança e atuar em suas respectivas áreas como saúde, vigilância sanitária, agricultura, pecuária e meio ambiente no limite de suas responsabilidades e competências legais. Entretanto, o sistema não é estático, ao contrário, possui uma dinâmica de acompanhamento da evolução da ciência e da realidade fática, pois diante de novos conhecimentos científicos ou com fundamento em novos fatos que sejam relevantes à biossegurança de OGM e derivados, a CTNBio irá reavaliar suas decisões técnicas por solicitação de seus membros ou por recurso dos órgãos e entidades de registro e fiscalização.

Cada instituição pública ou privada que se dedique ao ensino, à pesquisa científica, ao desenvolvimento tecnológico e à produção industrial envolvendo OGM e derivados, de natureza pública ou privada, deve compor Comissão Interna de Biossegurança (CIBio), cujos mecanismos de funcionamento são estabelecidos pela CTNBio, assim como os requisitos relativos à biossegurança para autorização de funcionamento de laboratório, instituição ou empresa que desenvolverá atividades relacionadas a OGM e derivados. Além disso, a instituição deve requerer o Certificado de Qualidade em Biossegurança (CQB) previamente ao desenvolvimento de atividades com OGM e derivados. A CIBio representa componente essencial para o monitoramento e acompanhamento dos OGM e derivados, sendo imprescindível para fazer cumprir a regulamentação de biossegurança, uma vez que para cada projeto específico existe um(a) pesquisador(a) principal (registrado como responsável).

Ainda, dentro do sistema regulatório de OGM, com a nova lei foram criados o Sistema de Informação de Biossegurança (SIB) e o Conselho Nacional de Biossegurança (CNBS), ora descritos.

O SIB, vinculado à Secretaria-Executiva da CTNBio, é destinado à gestão das informações decorrentes das atividades de análise, autorização, registro, monitoramento e acompanhamento das atividades que envolvam OGM e derivados; por intermédio do SIB, confere-se publicidade das atividades da CTNBio, em homenagem ao princípio da publicidade administrativa, conferindo transparência à atuação da Administração Pública. Ressalte-se, porém, a previsão de exclusão de divulgação de informações sigilosas, de interesse comercial, aquelas assim consideradas pela própria comissão. Além da CTNBio, outros órgãos e entidades públicas, tais como, aqueles responsáveis pelo registro e fiscalização do Ministério da Saúde, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, do Ministério do Meio Ambiente e da Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República, devem fomentar o SIB com as informações relativas às atividades de que trata a Lei de Biossegurança, processadas no âmbito de sua competência.

O CNBS é um órgão de assessoramento superior do Presidente da República para a formulação e implementação da PNB, vinculado à Presidência da República, formado por 11 membros, quais sejam, Ministro de Estado Chefe da Casa Civil da Presidência da República; Ministro de Estado da Ciência Tecnologia e Inovação; Ministro de Estado do Desenvolvimento Agrário; Ministro de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Ministro de Estado da Justiça; Ministro de Estado da Saúde; Ministro de Estado do Meio Ambiente; Ministro de Estado do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Ministro de Estado das Relações Exteriores; Ministro de Estado da Defesa; Secretário Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República. Este é o órgão superior do sistema de OGM e possui a competência para fixar princípios e diretrizes para a ação administrativa dos órgãos e entidades federais com competências sobre OGM e derivados; decidir, a pedido da CTNBio, sobre os aspectos de conveniência e oportunidade socioeconômicas e do interesse nacional na liberação para uso comercial de OGM e derivados; avocar os processos relativos às atividades que envolvam o uso comercial de OGM e derivados para análise e decisão, em última e definitiva instância; decidir sobre os recursos dos órgãos e entidades de registro e

fiscalização relacionados à liberação comercial de OGM e derivados, dentre outros.

A organização do sistema regulatório favorece a integração dinâmica entre seus componentes considerando também os aspectos (bio)éticos, pois estabelece-se uma dissociação entre a análise dos aspectos técnicos (biossegurança - CTNBio) e o interesse socioeconômico (CNBS). Destarte, as questões socioeconômicas relacionadas às atividades envolvendo os OGM são alheias ao campo técnico, sendo de responsabilidade do CNBS a deliberação sobre a oportunidade e conveniência da liberação, em atenção ao interesse nacional.

## 6. PERSPECTIVAS

As ferramentas biotecnológicas possibilitam a criação direcionada de alelos favoráveis (incluindo aqueles inexistentes nas espécies agrícolas) de forma guiada pelo conhecimento obtido a partir de estudos de inúmeras espécies. Dentre as diversas ferramentas de edição genômica existentes, os sistemas CRISPRs, associados com nucleases como a CAS-9 e/ou Cpf1 são muito mais simples, eficientes, e de baixo custo para criação de inserções e deleções (InDels), troca de poucos nucleotídeos e a inserção e substituição de fragmentos genômicos. Por exemplo, CRISPR-Cas9 tem sido utilizado com sucesso em várias culturas agrícolas importantes, incluindo arroz, milho, soja e trigo, para a modificação de diversos caracteres de interesse agrícola como resistência a herbicidas, doenças e tolerância à seca e composição química e nutricional de grãos (WANG et al., 2014; LI et al., 2015; SVITASHEV et al., 2015; ZHOU et al., 2015; SHI et al., 2016; SUN et al., 2016).

A edição genômica deve produzir transformações profundas na indústria de biotecnologia agrícola, principalmente por seu impacto em processos regulatórios, cujo domínio demanda grandes investimentos financeiros e humanos e é, conseqüentemente, um ativo concentrado em poucas empresas de biotecnologia agrícola e outras especializadas na prestação desse serviço. Híbridos de milho com alto teor de amilopectina, por exemplo, gerados a partir de edição genômica, não foram considerados OGMs e, portanto, já



obtiveram autorização para comercialização nos EUA à margem da legislação aplicável a plantas geneticamente modificadas (WALTZ, 2016). Esse precedente, que pode influenciar os prováveis arcabouços regulatórios sendo atualmente definidos globalmente para a tecnologia, deve levar à rápida introdução no mercado de plantas genômica editadas que não contém fragmentos de DNA de outras espécies e/ou grandes alterações da sequência de DNA endógena. Nesse sentido, o uso crescente de partículas ribonucleoprotéicas (WOO et al., 2015; SVITASHEV et al., 2016; LIANG et al., 2017) deve se tornar ainda mais significativo, por dispensarem por completo o emprego de transgenes. Além dessas questões regulatórias, definições de cenários de propriedade intelectual e seus possíveis desdobramentos (LEDFOORD, 2017) podem resultar em acesso amplo e não exclusivo à CRISPR/Cas e, conseqüentemente, à participação maior no mercado de diversas e novas organizações por meio da obtenção de novos genótipos vegetais e alelos produzidos por edição genômica. Particularmente, o cenário de propriedade intelectual deve revelar-se mais dinâmico à medida que novos mecanismos moleculares são descobertos e ferramentas correspondentes (incluindo proteínas do tipo CRISPR-associated nuclease com propriedades tecnológicas mais desejáveis) são desenvolvidas em substituição a suas antecessoras (LOWDER et al., 2016; LEDFOORD, 2017; TANG et al., 2017).

Baixa eficiência e recalcitrância de genótipos e espécies agrícolas à transformação genética e, principalmente, à regeneração de plantas por cultura de tecidos são grandes obstáculos não somente à engenharia genética, mas também à edição genômica (LEDFOORD, 2016). Particularmente, novos métodos disruptivos que eliminem limitações impostas por cultura de tecidos vegetais são necessários para viabilizar a introdução de transgenes e outras moléculas (por exemplo, partículas ribonucleoprotéicas) em células e tecidos vegetais. É imperativo o desenvolvimento de métodos de larga escala e muito eficientes (high throughput) e universais de transformação, e grande progresso tem ocorrido nesse sentido (LOWE et al., 2016). Pouca dependência de cultura de tecidos ou mesmo o emprego amplo de métodos ainda incipientes de transformação de gametas, eliminado completamente a necessidade de cultura de tecidos, são cenários futuros ótimos.

É inegável o potencial que o uso tópico de RNAi para controle de pragas e doenças possui no Agronegócio. A Monsanto é talvez a empresa mais avançada nesta tecnologia, e recentemente foi adquirida por uma das maiores empresas de produção de defensivos agrícolas do mundo, a Bayer. Isto pode estar sinalizando uma tendência de mudança de paradigma na indústria de defensivos agrícolas. Tecnologias como o BioDirect<sup>TM</sup>, criada pela Monsanto, explora o uso tópico do RNAi, usando o argumento de que são moléculas “achadas na natureza”, e por isso já participam de nossa cadeia alimentar e poderiam dar suporte a uma agricultura mais sustentável quando se fala em termos de controle de pragas e doenças na agricultura. Este sem dúvida é um momento crítico da revolução na genética que vivemos. O volume de informações da base genética de qualquer ser vivo pode rapidamente ser obtido por equipamentos e metodologias de última geração. Estas informações estão trazendo o embasamento para desenvolvimento de estratégias inovadoras de controle sem o uso de defensivos agrícolas tradicionais, focando no desligamento de genes chaves no metabolismo do patógeno/praga alvo. Devemos investir pesado em conhecer os genomas das espécies mais problemáticas da agricultura brasileira, e com base nestas informações desenvolver novas estratégias de uso de RNAi na agricultura.

Trinta anos após a produção da primeira geração de plantas geneticamente modificadas, avançamos para uma nova era de tecnologia de culturas recombinantes por meio da aplicação da biologia sintética. O objetivo é a criação de novas e complexas características de interesse agropecuário, através de indução física e/ou química e controle da expressão gênica. O uso de tecnologias de biologia sintética permitirá, além de adições incrementais de transgenes, o desenvolvimento direcionado de novas rotas metabólicas, controle mais preciso da regulação gênica, modulação de características fisiológicas e estratégias de controle do desenvolvimento. Há necessidade de melhorar e intensificar a capacidade de melhoramento genético de espécies de interesse agrícola através da engenharia genética de plantas e animais, não apenas para alimentação, mas como fonte de insumos renováveis para os demais setores produtivos. Essas demandas de aceleração e

diversificação de novas características de produção coincidem com a necessidade de reduzir insumos e melhorar a sustentabilidade agrícola. Diante desses desafios, as tecnologias existentes precisarão ser complementadas com abordagens avançadas e direcionadas para transformar recursos genéticos valiosos de forma mais eficiente e rápida em produtos agrícolas utilizáveis.

A capacidade de sintetizar quimicamente e com alta eficiência seqüências de DNA tem duas consequências imediatas: a construção de elementos genéticos individuais funcionais para montagem de sistemas genéticos complexos, tais como rotas e portas lógicas e premissas para o desenvolvimento de cromossomos artificiais e células totalmente sintéticas, idênticas àquelas não produzidas pela engenharia genética. O conceito de construção modular de estruturas genéticas e sistemas similares se expande em abordagens semelhantes aos vetores de expressão, adaptadores, promotores, entre outros. Nesse cenário, a engenharia metabólica permite a síntese de vários produtos, incluindo desenvolvimento, construção e otimização de rotas (nativas ou não) para síntese de processos e produtos inovadores. O foco é intensificar o contínuo melhoramento de características de interesse demandadas pelo setor agropecuário como resistência a estresses bióticos e abióticos e produtividade; engenharia de proteínas, ácidos graxos e carboidratos para geração de plantas como matérias-primas de biomassa para biocombustíveis; produção de alto valor agregado, como melhoria nutricional e alimentos funcionais; produção de biofábricas para a produção de insumos para setor industrial e farmacêutico.

Estratégias biotecnológicas são caras e exigem tempo e abordagens multidisciplinares para serem bem-sucedidas. Estima-se que o desenvolvimento de uma tecnologia transgênica, da descoberta inicial de muitos genes até a pré-comercialização de um único evento transformado, leve no mínimo 10 anos e exija investimentos da ordem de US\$ 130 milhões ao longo desse período (SHAKYA et al., 2013). Esse valor compreende os custos com recursos humanos especializados, infraestruturas laboratoriais e operacional sofisticadas, propriedade intelectual e aspectos regulatórios. Mesmo eventos gerados por edição genômica, apesar

da eventual redução dos custos regulatórios, exigirão aporte considerável de recursos.

O Brasil corre o risco de perder posição de mercado nos agronegócios caso opte por uma postura pouco inovativa e muito conservadora na política de OGM, acarretando ao país uma posição inferior de competitividade mundial, com aumento de custos de produção nacional em relação ao que é produzido externamente. Principalmente, considerando que um dos pilares econômicos deste país é o agronegócio, não se podem relegar ao segundo plano as commodities.

## 7. REFERÊNCIAS

- Agrawal N, Dasaradhi PV, Mohmmmed A, Malhotra P, Bhatnagar RK, Mukherjee SK. RNA interference: biology, mechanism, and applications. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 67(4): 657-685. doi: 10.1128/MMBR.67.4.657-685, 2003.
- Alston JM, Beddow JM, Pardey PG. Agricultural research, productivity, and food prices in the long run. *Science* 325: 1209-1210, 2009. doi: 10.1126/science.1170451.
- Arantes OMN. A bioética e a segurança alimentar: alimentos geneticamente modificados. *Revista Brasileira de Pesquisa em Saúde* 14(3): 14-20, 2012. doi: 10.21722/rbps.v14i3.4598.
- Batra K. 40 Years Ago, GMO Insulin Was Controversial Also. *BIOTechNOW*. 2017. Disponível em: <[http://www.biotech-now.org/food-and-agriculture/2017/08/40-years-ago-gmo-insulin-was-controversial-also?roi=echo4-37906882714-93938389-e1f23456ce8ffecc1475841b51c15a9d&utm\\_source=newsletter&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=0907](http://www.biotech-now.org/food-and-agriculture/2017/08/40-years-ago-gmo-insulin-was-controversial-also?roi=echo4-37906882714-93938389-e1f23456ce8ffecc1475841b51c15a9d&utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=0907)>. Acesso em 8 set 2017.
- Baulcombe D, Dunwell J, Jones J, Leyser O, Pickett J, Skehel J. *GM Plants: questions and answers*. The Royal Society, 2016.
- Bonnet E, Van de Peer Y, Rouzé P. The small RNA world of plants. *New Phytologist* 171(3): 451-468, 2006. doi: 10.1111/j.1469-8137.2006.01806.x.
- Bøhn T, Cuhra M, Traavik T, Sanden M, Fagan J, Primicerio R. Compositional differences in soybeans on the market: Glyphosate accumulates in Roundup Ready GM soybeans. *Food Chemistry* 153: 207-215, 2014. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.12.054.
- Brennan B. Bayer-Monsanto Could Create Three Crop-Chemicals Giants: Chart. 2016. *Bloomberg.com* Disponível em: <<http://www.bloomberg.com/news/articles/2016-05-19/bayer-monsanto-could-create-three-crop-chemicals-giants-chart>>. Acesso em 8 set. 2017.
- Capalbo DMF, Arantes OMN, Maia AG, Borges IC, Silveira JMFJ da. A Study of Stakeholder Views to Shape a Communication Strategy for GMO in Brazil. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 3: 1-10, 2015. doi:10.3389/fbioe.2015.00179.
- Castiglioni P, Warner D, Bensen RJ, Anstrom DC, Harrison J, Stoecker M, Abad M, Kumar G, Salvador S, D'ordine R, Navarro S, Back S, Fernandes M, Targolli J, Dasgupta S, Bonin C, Luethy MH, Heard JE. Bacterial RNA Chaperones Confer Abiotic Stress Tolerance in Plants and Improved Grain Yield in Maize under Water-Limited Conditions. *Plant Physiology* 147: 446-455, 2008. doi: 10.1104/pp.108.118828.

- Convention on Biological Diversity. CBD. Text of the Cartagena Protocol on Biosafety. 2000. Disponível em: <<http://bch.cbd.int/protocol/text/>>. Acesso em: 8 set. 2017.
- Etc Group. Mega-Mergers in the Global Agricultural Inputs Sector: Threats to Food Security & Climate Resilience. 2015. Disponível em:<<http://www.etcgroup.org/content/mega-mergers-global-agricultural-inputs-sector>>. Acesso em: 8 set. 2017.
- Evenson RE. Gmos: Prospects for Increased Crop Productivity in Developing Countries. Yale University Economic Discussion Paper n. 878, 2003. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=487503>>. Acesso em: 8 set. 2017.
- Figueiredo Silva F de, Braga MJ, Garcia JC. Concentração nos mercados de sementes de milho, soja e algodão: uma abordagem ECD. *Agroalimentaria* 21: 133-150, 2015.
- Gaj T, Sirk SJ, Shui S, Liu J. Genome-Editing Technologies: Principles and Applications. *Cold Spring Harbor Perspect Biology*, 2016. doi: 10.1101/cshperspect.a023754.
- González C, Johnson N, Qaim M. Consumer acceptance of second-generation GM foods: The case of biofortified cassava in the Northeast of Brazil. *Journal of Agricultural Economics* 60: 604–624, 2009. doi:10.1111/j.1477-9552.2009.00219.x.
- Herring RJ. Epistemic brokerage in the bio-property narrative: Contributions to explaining opposition to transgenic technologies in agriculture. *New Biotechnology* 27: 614–622, 2010. doi:10.1016/j.nbt.2010.05.017.
- Hochman G. Vacinação, varíola e uma cultura da imunização no Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva* 16(2): 375-386, 2011. doi: 10.1590/S1413-81232011000200002.
- James C. ISAAA Briefs brief 52 Global status of Commercialized biotech / GM Crops. ISAAA Briefs, 2016. doi:10.1017/S0014479706343797.
- Klümper W, Qaim M. A Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops. *PLoS ONE* 9(11): e111629, 2014. doi: 10.1371/journal.pone.0111629.
- Lantz SR, Mack CM, Wallace K, Key EF, Shafer TJ, Casida JE. Glufosinate binds N-methyl-D-aspartate receptors and increases neuronal network activity in vitro. *Neurotoxicology* 45: 38-47, 2014. doi: 10.1016/j.neuro.2014.09.003.
- Latham JR. Growing Doubt: a Scientist's Experience of GMOs. *Independent Science News*, 2015. Disponível em: <<https://www.independentsciencenews.org/health/growing-doubt-a-scientists-experience-of-gmos/>>. Acesso em: 7 set. 2017.

- Ledford H. Plant-genome hackers seek better ways to produce customized crops. *Nature* 539: 16–17, 2016. doi: 10.1038/539016a.
- Ledford H. Why the CRISPR patent verdict isn't the end of the story. *Nature*, 2017. doi: 10.1038/nature.2017.21510.
- Li Z, Liu ZB, Xing A, Moon BP, Koellhoffer JP, Huang L, Ward RT, Clifton E, Falco SC, Cigan AM. Cas9-guide RNA Directed Genome Editing in Soybean. *Plant Physiology* 169(2): 960-70, 2015. doi: 10.1104/pp.15.00783.
- Liang Z, Chen K, Li T, Zhang Y, Wang Y, Zhao Q, Liu J, Zhang H, Liu C, Ran Y, Gao C. Efficient DNA-free genome editing of bread wheat using CRISPR/Cas9 ribonucleoprotein complexes. *Nature Communications* 18(8): 14261 14261, 2017. doi: 10.1038/ncomms14261.
- Lowder L, Malzahn A, Qi Y. Rapid Evolution of Manifold CRISPR Systems for Plant Genome Editing. *Frontiers in Plant Science* 7: 1683, 2016. doi: 10.3389/fpls.2016.01683.
- Lowe, K., Wu, E., Wang, N., Hoerster, G., Hastings, C., Cho, M.J., Scelonge, C., Lenderts, B., Chamberlin, M., Cushatt, J., Wang, L., Ryan, L., Khan, T., Chow-Yiu, J., Hua, W., Yu, M., Banh, J., Bao, Z., Brink, K., Igo, E., Rudrappa, B., Shamseer, P.M., Bruce, W., Newman, L., Shen, B., Zheng, P., Bidney, D., Falco, S.C., Register, I.J., Zhao, Z.Y., Xu, D., Jones, T.J., and Gordon-Kamm, W.J. (2016). Morphogenic Regulators Baby boom and Wuschel Improve Monocot Transformation. *Plant Cell*. doi: 10.1105/tpc.16.00124.
- McElroy D, Walters DA, Gilbertson LA. U.S. Patent No. 6, 750, 379. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2004.
- Monsanto. What innovations are made to help farmers? Two main technologies are at the core of our agricultural biologicals platform: microbial and BioDirect™. 2017. Disponível em: <<http://www.monsanto.com/products/pages/biodirect-ag-biologicals.aspx>>. Acesso em: 9 set. 2017.
- Mizuki E, Ohba M, Akao T, Yamashita S, Saitoh H, Park YS. Unique activity associated with non-insecticidal *Bacillus thuringiensis* parasporal inclusions: in vitro cell- killing action on human cancer cells. *Journal of Applied Microbiology* 86: 477–486, 1999.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects*. Washington, DC: The National Academies Press, 2016. doi: 10.17226/23395.
- Nuccio ML, Wu J, Mowers R, Zhou HP, Meghji M, Primavesi LF, Paul MJ, Chen X, Gao Y, Haque E, Basu SS, Lagrimini LM. Expression of trehalose-6-phosphate phosphatase in maize ears improves yield in well-watered and drought conditions. *Nature Biotechnology* 33(8): 862-869, 2015. doi: 10.1038/nbt.3277.

- Numata K, Ohtani M, Yoshizumi T, Demura T, Kodama Y. Local gene silencing in plants via synthetic dsRNA and carrier peptide. *Plant Biotechnology Journal* 12: 1–8, 2014. doi: 10.1111/pbi.12208.
- Pardey PG, Chan-Kang C, Dehmer SP, Beddow JM. Agricultural R&D is on the move. *Nature* 537: 301–303, 2016. doi: 10.1038/537301a.
- Prado JR, Segers G, Voelker T, Carson D, Dobert R, Phillips J, Cook K, Cornejo C, Monken J, Grapes L, Reynolds T, Martino-Catt S. Genetically engineered crops: from idea to product. *Annual Review of Plant Biology* 65, 2014. doi: 10.1146/annurev-arplant-050213-040039.
- Sanchez MA. Conflict of interests and evidence base for GM crops food/feed safety research. *Nature Biotechnology* 33: 135–137, 2015. doi:10.1038/nbt.3133.
- Shakya S, Wilson WW, Dahl B. Valuing new random genetically modified (GM) traits in corn. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 38(1): 107–123, 2013.
- Shi J, Gao H, Wang H, Lafitte HR, Archibald RL, Yang M, Hakimi SM, Mo H, Habben JE. ARGOS8 variants generated by CRISPR-Cas9 improve maize grain yield under field drought stress conditions. *Plant Biotechnology Journal* 15(2): 207–216, 2016. doi: 10.1111/pbi.12603.
- Sun Y, Zhang X, Wu C, He Y, Ma Y, Hou H, Guo X, Du W, Zhao Y, Xia L. Engineering Herbicide-Resistant Rice Plants through CRISPR/Cas9-Mediated Homologous Recombination of Acetolactate Synthase. *Molecular Plant* 9(4): 628–631, 2016. doi: 10.1016/j.molp.2016.01.001.
- Svitashev S, Schwartz C, Lenderts B, Young JK, Cigan AM. Genome editing in maize directed by CRISPR-Cas9 ribonucleoprotein complexes. *Nature Communications* 7: 13274, 2016. doi: 10.1038/ncomms13274.
- Svitashev S, Young JK, Schwartz C, Gao H, Falco SC, Cigan AM. Targeted mutagenesis, precise gene editing, and site-specific gene insertion in maize using Cas9 and guide RNA. *Plant Physiology* 169: 931–945, 2015. doi: 10.1104/pp.15.00793.
- Taheripour F, Mahaffey H, Tyner WE. Evaluation of Economic, Land Use, and Land-use Emission Impacts of Substituting Non-GMO Crops for GMO in the United States. *AgBioForum* 19(2):156–172, 2016.
- Tang X, Lowder LG, Zhang T, Malzahn AA, Zheng X, Voytas DF, Zhong Z, Chen Y, Ren Q, Li Q, Kirkland ER, Zhang Y, Qi Y. (2017). A CRISPR-Cpf1 system for efficient genome editing and transcriptional repression in plants. *Nature Plants* 3:17018, 2017. doi: 10.1038/nplants.2017.18.
- Toft KH. GMOs and Global Justice: Applying Global Justice Theory to the Case of Genetically Modified Crops and Food. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 25: 223, 2012. doi: 10.1007/s10806-010-9295-x.



- Vachon V, Laprade R, Schwartz JL. Current models of the mode of action of *Bacillus thuringiensis* insecticidal crystal proteins: a critical review. *Journal of Invertebrate Pathology* 111: 1–12, 2012. doi: 10.1016/j.jip.2012.05.001.
- Van Eenennaam AL, Young AE. Prevalence and impacts of genetically engineered feedstuffs on livestock populations. *Journal of Animal Science* 92(10): 4255-78, 2014. doi: 10.2527/jas.2014-8124.
- Waltz E. Gene-edited CRISPR mushroom escapes US regulation. *Nature* 532(293), 2016. doi:10.1038/nature.2016.19754.
- Wang Y, Cheng X, Shan Q, Zhang Y, Liu J, Gao C, Qiu JL. Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew. *Nature Biotechnology* 32: 947-951, 2014. doi: 10.1038/nbt.2969.
- Woo JW, Kim J, Kwon SI, Corvalan C, Cho SW, Kim H, Kim SG, Kim ST, Choe S, Kim JS. DNA-free genome editing in plants with preassembled CRISPR-Cas9 ribonucleoproteins. *Nature Biotechnology* 33: 1162-1164, 2015. doi: 10.1038/nbt.3389.
- Zhou J, Peng Z, Long J, Sosso D, Liu B, Eom JS, Huang S, Liu S, Vera Cruz C, Frommer WB, White FF, Yang B. Gene targeting by the TAL effector PthXo2 reveals cryptic resistance gene for bacterial blight of rice. *The Plant Journal* 82: 632-643, 2015. doi: 10.1111/tpj.12838.

## CAPÍTULO 7

# VARIABILIDADE ESPACIAL DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO SOLO E DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS NA CULTURA DA SERINGUEIRA

Marcelo Soares Altoé  
Julião Soares de Souza Lima  
Samuel de Assis Silva

### 1. INTRODUÇÃO

A seringueira, [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell-Arg.], espécie nativa da Região Amazônica, pertencente à família Euphorbiaceae, é a principal fonte de borracha natural. A borracha é uma matéria prima de grande importância econômica, sendo uma das principais *commodities* agrícolas, de qualidade superior ao produto sintético e às vezes insubstituível, na produção de diversos produtos necessários ao bem estar humano. Utilizada na indústria, transporte, material bélico, com cerca de 50 mil produtos disponíveis no mercado derivados da borracha.

A importância da cultura verifica-se pela influência que a produção de borracha exerceu na sociedade, chegando a caracterizar uma época denominada “Ciclo da Borracha”, durante o século XX. O Brasil já foi o maior produtor e exportador de borracha natural, entretanto, com posterior introdução e adaptação da espécie nas colônias inglesas - Malásia, Cingapura e Celião, atual Sri Lanka e, também pela ocorrência do fungo causador da principal doença da cultura, conhecida como mal das folhas (*Microcyclus ulei*), o país perdeu competitividade no mercado mundial de borracha natural.

Nas últimas décadas, a produção nacional de borracha natural tem avançado, devido ao controle do fungo causador da doença do mal das folhas, pelo plantio em novas áreas, principalmente no noroeste paulista, e do desenvolvimento de práticas mais eficientes

de manejo e materiais vegetais adaptados às novas localidades produtoras. Mesmo com o crescimento do cultivo da seringueira, o cenário nacional ainda é desfavorável, visto que nossa produção não é capaz de suprir a demanda do mercado interno, obrigando as indústrias a importarem matéria prima dos países asiáticos, nossos principais concorrentes. Devido à baixa produção nacional, a cultura da seringueira tem grande potencial de expansão, com possibilidade de ótimos ganhos financeiros.

Por se tratar de uma planta adaptável a grande parte do território nacional, apresentar longevidade na produção e possuir uma cadeia produtiva fortemente dependente de mão de obra, é uma ótima alternativa econômica para pequenos e médios agricultores. Atualmente, 80% da produção mundial de borracha natural encontra-se na mão de pequenos produtores, com áreas de até 4 hectares. Como é possível observar na Índia, 92% das propriedades possuem área média de 0,5 hectare e a maior produtividade média de borracha natural do mundo (ALVARENGA, 2007).

A seringueira possui um apelo ambiental por constituir-se de uma boa opção para a recuperação de áreas degradadas, visto que, atualmente, temos mais de 140 milhões de hectares degradados no Brasil, o que corresponde a 16,5% do território nacional (BRASIL, 2016), e ser reconhecida como fixadora de carbono atmosférico, podendo até contribuir para a redução do efeito estufa, fenômeno provocado pela concentração de gases na atmosfera, com o aumento da temperatura global.

Algumas medidas podem ser adotadas para reduzir a emissão desse gás na atmosfera, dentre elas, destaca-se reflorestamento (SALATI, 1994; MARTINEZ, 2001). Neste contexto, a implantação do cultivo da seringueira aliada ao emprego de alta tecnologia e material genético adequado, implicará no aumento da produção de biomassa e, conseqüentemente, do estoque de carbono (JACOVINE et al., 2006).

## 2. HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

A utilização da borracha natural já ocorria na América, antes mesmo da chegada dos europeus, segundo Charles de La Condamine (1745). Os indígenas, habitantes da região amazônica, tinham conhecimento do látex extraído das árvores, e utilizavam para rituais, utensílios diversos, calçados e objetos para lazer (ALVARENGA, 2007).

A partir da descoberta do Novo Mundo, devido às viagens de Cristóvão Colombo, as primeiras informações sobre o cultivo de seringueira chegaram a Europa na última década do século XV (D' AGOSTINI et al., 2003). Em 1874, o naturalista inglês Henry Wickham, esteve no Brasil com o objetivo de coletar sementes e levá-las a Inglaterra. Esse movimento surgiu devido a crescente utilização de borracha natural. Toda via somente em 1875 que a espécie foi melhor estudada pelos estudiosos ingleses (WIMMER, 2010).

Durante o período no Brasil, Henry Wickham coletou 70 mil sementes e as levou para o Jardim Botânico de Londres, na Inglaterra. Posteriormente, foram levadas para as colônias inglesas na Ásia – atual Malásia, Cingapura. A cultura se adaptou muito bem as novas condições de cultivo, apresentavam maior produtividade e custo de produção incomparavelmente menor em relação ao extrativismo praticado a época no Brasil. A partir de 1911, teve início a produção de borracha asiática, alterando o mercado mundial da heveicultura (GONÇALVES et al., 1983).

Tal fato levou ao declínio a produção de borracha natural na Amazônia, culminando com o Brasil passando de maior produtor mundial de borracha, para atual importador de látex. Em 1905, a produção brasileira foi de 35 mil toneladas, enquanto a produção dos países asiáticos foi de apenas 171 toneladas. Entretanto, em 1913, ultrapassou a produção brasileira, com 47.618 toneladas. Seis anos depois, em 1919, a Ásia alcançou o número de 381.860 toneladas, enquanto a produção brasileira permanecia estagnada, com 35.285 toneladas de borracha natural (WOLFF, 1999).

No decorrer dos anos, após o declínio da produção de borracha natural no Brasil, desenvolveram-se vários projetos na tentativa de retomada do cultivo da cultura. Um dos mais conhecidos foi

idealizado pelo americano Henry Ford, que propôs o plantio de mais de 5 milhões de mudas, no estado do Pará. Anos após o projeto fracassou devido à ocorrência da principal doença da cultura da seringueira, Mal das Folhas, causada pelo ataque do fungo *Microcyclus ulei* P. Henn. v. Arx, sendo abandonado pelos americanos em 1945 (WIMMER, 2010).

Durante o século XX, o governo brasileiro criou diversos programas de incentivo ao plantio de seringueira. Em 1967 foi criado o primeiro plano nacional de heveicultura, denominado PROHEVEA. Esse plano previa o plantio de 10 milhões de mudas de seringueira. Devido a ineficiência do programa, foi substituído pelo PROBOR – Programa de Incentivo à Produção de Borracha Vegetal. Programa esse que obteve três versões, PROBOR I, II e III. Sendo o último, lançado em 1981 (WIMMER, 2010).

O plantio nacional voltou a crescer apoiado nos programas de governo e com o cultivo da seringueira em outras regiões fora da Amazônia, baseado na implementação de novas tecnologias de cultivo, saindo da forma extrativista tradicional praticada pelos seringueiros amazônicos. A seringueira encontrou nas regiões Sudeste e Centro Oeste, condições de cultivo favoráveis, particularmente nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás Bahia, Espírito Santo e São Paulo. Todavia, ainda hoje, o Brasil é dependente do mercado externo para suprir a demanda pela matéria prima (SANT'ANNA et al., 2009).

Dados do *International Rubber Study Group* - IRSG (2016), a produção mundial de borracha natural atingiu 12,401 milhões de toneladas e o consumo foi de 12,143 milhões de toneladas. A maior contribuição na produção foi de países do Sudeste Asiático, com produção de 11,420 milhões de toneladas. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2015), o Brasil possui 154 mil hectares plantados, com produção de 193 mil toneladas e rendimento médio de  $1,25 \text{ t ha}^{-1}$ . O consumo interno foi de 412 mil toneladas, ou seja, a produção interna só corresponde a 47% da demanda. No ano de 2015, foi importado 219 mil toneladas de borracha natural (53% da demanda interna), de países como: Indonésia (41,6%), Tailândia (33%) e Malásia (10,7%) (MDCI, 2015).

## 2.1 A cultura da seringueira no Espírito Santo

O cultivo da seringueira no estado teve início na década de 60, através de recursos dos próprios agricultores, tendo se expandido a partir do ano de 1979, como acesso dos produtores ao Programa de Incentivo à Produção de Borracha Natural (PROBOR II), do Governo Federal. O primeiro seringal implantado no estado foi na cidade de Vila Velha, com o objetivo de mostrar que a seringueira era apta a produção no Espírito Santo, e ficou conhecido como tira teima (ESPÍRITO SANTO, 2013).

Atualmente o Espírito Santo é o 6º maior produtor de borracha natural do Brasil, com uma produção de 12.330 toneladas em uma área de 9.030 ha, que representa 3,8 % da produção brasileira (IBGE, 2015). O estado possui maior capacidade produtiva, considerando a produtividade de 1,36 t ha<sup>-1</sup> em 2015, comparada com a nacional de 2,07 t ha<sup>-1</sup>. (IBGE, 2015).

A cultura da seringueira vem se mostrando uma alternativa viável para os produtores rurais capixabas, seja pelo plantio individualizado, ou em consórcio com outras espécies, como cacau, café e pimenta do reino (ESPÍRITO SANTO, 2013). Além disso, consolida-se como uma ótima alternativa para a produção rural, por se tratar de uma atividade agrícola que, exceto pelo treinamento do sangrador, é de fácil condução, além de fixar mão de obra no campo e também pela possibilidade do uso na recuperação de áreas degradadas (BRAGA, 2015).

De acordo com o Zoneamento Climático da Heveicultura no Brasil (2003), o Espírito Santo apresenta áreas aptas ao cultivo, situando-se no Sudoeste do estado, exceto áreas com ocorrência de baixas temperaturas, com média anual de até 18°C. As regiões Norte e Litorânea são consideradas áreas marginais, com possibilidade de ocorrência do Mal das Folhas e prevenção do plantio em áreas de baixada (CAMARGO, MARIM, CAMARGO, 2003). De acordo com Silva et al. (2013), o Espírito Santo possui 27,45% de sua área considerada apta para o plantio da cultura, com condições climáticas adequadas à seringueira e impróprias a esporulação do *Microcyclus ulei*.

### 3. ANÁLISE ESPACIAL NA CULTURA DA SERINGUEIRA: ATRIBUTOS DENDROMÉTRICOS DAS PLANTAS E AS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO SOLO

Vários estudos têm comprovados a existência da variabilidade espacial de atributos físicos e químicos do solo e os relativos às plantas. Esta análise se faz com base nos preceitos da geoestatística, incorporada no estudo da agricultura de precisão, que considera a variabilidade em função da distância entre os pontos amostrais, definindo a partir de quando os dados podem ser considerados independentes.

Vetorazzi e Ferraz (2000) ressaltam que o uso da chamada silvicultura de precisão favorece a coleta e análise de dados geoespaciais, viabilizando intervenções localizadas na floresta com exatidão e precisão adequadas. Assim, o estudo da distribuição espacial das variáveis dendrométricas das plantas de seringueira e seu relacionamento com os demais atributos do solo, torna-se essencial para compreender o comportamento e a relação entre esses atributos.

O conhecimento das variáveis dendrométricas da planta é importante devido à variabilidade espacial da produtividade de borracha seca ser relacionada com o perímetro do troco, e esse atributo influenciar de forma significativa a produtividade de borracha seca (ROQUE, 2005).

Desse modo, utilizando técnicas de agricultura de precisão, é possível alcançar maiores produtividades e a diminuição do impacto sobre o meio ambiente da atividade agrícola. Portanto, há necessidade de se conhecer a variabilidade espacial das variáveis dendrométricas da seringueira e das frações granulométricas do solo, implantadas em diferentes ambientes, como forma de entender a produtividade de culturas agrícolas.

#### 3.1 Metodologia

O estudo foi realizado na Fazenda Pedra Linda, no município de Nova Venécia – ES, localizada sob as coordenadas centrais: X=357594,870 m, Y=7931631,215 m, DATUM WGS-84 (FUSO 24S). A região apresenta clima classificado como tropical quente Am,

segundo classificação de Köppen e Geiger, com temperaturas elevadas de novembro a março.

O município está localizado a 65 m de altitude na bacia hidrográfica do rio São Mateus. A precipitação média anual varia entre 1400 a 2200 mm, e temperatura entre 24 a 26 °C. O solo da área do experimento foi classificado com um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura argilosa (EMBRAPA, 2011).

As plantas de seringueira estudadas são clonais, da variedade Fx 3864, enxertadas sobre o clone RRIM 600, cultivada no espaçamento 7 x 3 metros. O transplântio foi realizado entre os meses de janeiro e fevereiro de 2013. A área foi roçada mecanicamente, seguida de subsolagem nas linhas de plantio, a 0,50 m de profundidade. Nas linhas de plantio, foi feito o coveamento manual, a cada 3 metros, produzindo covas de 40 centímetros de profundidade, largura e comprimento.

Na área de estudo construiu-se uma malha amostral, que totalizam 200 pontos, no espaçamento de 7 x 6 m. Sendo que cada ponto amostral é composto por uma planta.

As características dendrométricas da cultura tais como: circunferência da base do tronco (CBT), circunferência a altura do peito (CAP), medidas a 0,10 metros do calo de enxertia e a 1,30 metros do solo, respectivamente, foram obtidos utilizando uma fita métrica graduada em milímetros e a altura da árvore (ALT) foi obtida utilizando uma trena graduada em milímetros.

A primeira medição foi realizada em janeiro/2014 (CBT1, CAP1 e ALT1), a segunda em agosto/2014 (CBT2, CAP2 e ALT2) e a terceira em dezembro/2014 (CBT 3, CAP 3 e ALT 3).

Para a análise das frações granulométricas, os pontos de amostragens foram aleatoriamente definidos, totalizando 70 pontos, na linha de cultivo da seringueira, distante a 0,50 m da planta. O solo foi amostrado nas camadas de 0,0 - 0,20 m (profundidade 1) e 0,20 - 0,40 m (profundidade 2) para determinação das frações granulométricas: argila (ARG), areia grossa (AG), areia fina (AF) e silte, conforme Embrapa (1997).

Na análise dos dados, os valores encontrados foram submetidos a uma análise exploratória para verificar a presença de valores discrepantes (*outliers*) e sua influência sobre as medidas de posição e dispersão, conforme proposta de Libardi et al. (1996). Depois os



dados passaram por análise para certificar se os mesmos apresentavam a distribuição normal, testada pelo teste Kolmogorov - Sminov ( $p < 0,05$ ).

Para verificar a existência e quantificar o grau de dependência espacial dos atributos avaliados, os dados foram submetidos a uma análise geoestatística, a partir do ajuste de funções teóricas aos modelos de semivariogramas experimentais, com base na pressuposição de estacionaridade da hipótese intrínseca e conforme equação:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

em que:  $N(h)$  é o número de pares de valores  $[Z(x_i), Z(x_i+h)]$  separados por um vetor  $h$ ;  $Z(x_i)$  é o valor determinado em cada ponto de leitura; e  $Z(x_i+h)$  é o valor medido num ponto, mais uma distância  $h$ .

A escolha do modelo do ajuste dos semivariogramas teóricos aos semivariogramas experimentais foi baseada na minimização da soma de quadrados dos resíduos e no coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ). Na sequência o coeficiente de correlação entre os valores observados e os estimados pela validação cruzada foi utilizado como critério definitivo de escolha.

Para análise do grau de dependência espacial (GDE), foi utilizado a relação  $[C_0/(C_0+C)] * 100$  e os intervalos propostos por Cambardella et al. (1994) que considera a dependência espacial forte a ( $GDE < 25\%$ ); moderada ( $25\% \leq GDE < 75\%$ ); e fraca ( $GDE \geq 75\%$ ). Os semivariogramas foram escalonados pela variância dos dados de forma a padronizar a semivariância.

Comprovada a dependência espacial para os atributos estudados, se utilizou o método de interpolação krigagem ordinária para estimar valores em locais não medidos e na construção dos mapas temáticos.

### 3.2 Resultados

A análise descritiva das frações granulométricas do solo amostrado nas camadas de 0,0-0,20 m (profundidade 1) e 0,20-0,40

m (profundidade 2) está apresentado na Tabela 1. Para os atributos dendrométricos das três medições estão nas Tabelas 2, 3 e 4

Tabela 1 - Análise descritiva das frações granulométricas nas camadas de solo 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m.

Atributos	M	Md	Min	Max	Q1	Q3	S	Ks	Kc	CV(%)
AT1*	394,4	395,5	295,0	460,0	369,0	423,0	35,5	-0,5	0,3	9,0
AG1*	105,9	109,0	79,0	130,0	96,5	115,0	12,3	-0,4	-0,7	11,6
AF1*	288,4	288,0	216,0	351,0	270,5	305,5	28,3	-0,2	-0,1	9,8
Silte1*	124,1	124,5	88,0	158,0	114,0	133,0	13,1	0,1	0,2	10,6
ARG1*	474,3	474,0	419,0	507,0	452,0	496,0	24,2	-0,3	-0,9	5,1
AT2*	385,4	389,0	260,0	462,0	363,5	411,5	39,6	-0,6	0,9	10,3
AG2*	106,4	110,0	79,0	125,0	95,5	115,0	12,4	-0,5	-0,8	11,7
AF2*	279,0	281,0	166,0	353,0	260,5	297,5	32,3	-0,6	1,9	11,6
Silte2*	119,0	118,5	89,0	156,0	107,0	130,0	15,3	0,2	-0,6	12,8
ARG2*	495,6	485,0	408,0	584,0	463,0	529,0	43	0,5	-0,4	8,7

AT: ateaia total; AG: areia grossa; AF: areia fina e ARG: argila; M: média; Md: mediana; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; Q1: primeiro quartil; Q3: terceiro quartil; S: desvio padrão; Ks: coefic. de assimetria; Kc: coefic. de curtose; CV: coefic. de variação e \* distribuição normal.

Tabela 2 - Resultados da análise descritiva das variáveis dendrométricas medidas em janeiro/2014

Atributos	M	Md	Min	Max	Q1	Q3	S	Ks	Kc	CV(%)
CBT1 (cm)	8,75	9,0	6,0	13	8	10	1,47	0,38	0,10	16,85
CAP1 (cm)	6,60	7,0	4,5	8,5	6,0	7,0	1,08	0,07	-0,99	16,31
ALT1 (m)*	2,59	2,63	1,37	3,82	2,33	2,96	0,53	-0,33	-0,21	20,28

M: média; Md: mediana; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; Q1: primeiro quartil; Q3: terceiro quartil; S: desvio padrão; Ks: coefic. de assimetria; Kc: coefic. de curtose; CV: coefic. de variação e \* distribuição normal.

Tabela 3 - Resultados da análise descritiva das variáveis dendrométricas medidas em agosto/2014.

Atributos	M	Md	Min	Max	Q1	Q3	S	Ks	Kc	CV(%)
CBT2 (cm)	10,72	10,0	6,0	16,0	9,0	12,0	185	0,18	-0,54	17,24
CAP2 (cm)	8,72	9,0	6,0	12,0	8,0	10,0	1,23	0,02	-0,23	14,09

*Variabilidade Espacial das Frações Granulométricas [...] Seringueira*

ALT2 (m)*	2,82	2,85	1,31	4,18	2,50	3,18	0,57	-0,12	-0,13	20,26
-----------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------

M: média; Md: mediana; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; Q1: primeiro quartil; Q3: terceiro quartil; S: desvio padrão; Ks: coefic. de assimetria; Kc: coefic. de curtose; CV: coefic. de variação e \* distribuição normal.

Tabela 4 - Resultados da análise descritiva das variáveis dendrométricas medidas em dezembro/2014.

Atributos	M	Md	Min	Max	Q1	Q3	S	Ks	Kc	CV(%)
CBT3 (cm)	12,91	13,0	9,0	16,0	12,0	14,0	1,76	-0,32	-0,64	13,84
CAP3 (cm)	11,0	11,0	7,0	15,0	10,0	12,0	1,65	0,11	-0,61	15,02
ALT3 (m)*	3,94	3,9	2,6	5	3,50	4,34	0,63	0,14	-0,79	16,03

M: média; Md: mediana; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; Q1: primeiro quartil; Q3: terceiro quartil; S: desvio padrão; Ks: coefic. de assimetria; Kc: coefic. de curtose; CV: coefic. de variação e \* distribuição normal.

A análise espacial das frações granulométricas nas camadas 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m está apresentado na Tabela 5, assim como na Tabela 6 para as características dendrométricas da seringueira.

Tabela 5 - Parâmetros e modelos dos semivariogramas escalonados pela variância para as frações granulométricas

Atributos	Unid.	Modelo	$C_0$	$C_0 + C$	a (m)	$R^2$ (%)	GDE (%)
AG1	$g\ kg^{-1}$	EXP	0,55	1,09	40,0	50,0	50,0
AF1	$g\ kg^{-1}$	EXP	0,55	1,10	56,0	60,0	50,0
Silte1	$g\ kg^{-1}$	EPP	1,00	1,00	-	-	-
ARG1	$g\ kg^{-1}$	EXP	0,52	1,07	35,0	50,0	48,0
AG2	$g\ kg^{-1}$	EPP	1,00	1,00	-	-	-
AF2	$g\ kg^{-1}$	EPP	1,00	1,00	-	-	-
Silte2	$g\ kg^{-1}$	EPP	1,00	1,00	-	-	-
ARG2	$g\ kg^{-1}$	ESF	0,10	1,00	20,0	90,0	9,0

1 e 2 : camadas de solo; AG: areia grossa; AF: areia fina; ARG: argila; EXP: modelo exponencial; EPP: efeito pepita puro e ESF: modelo esférico.

Tabela 6 - parâmetros e modelos dos semivariogramas escalonados para as características dendrométricas da seringueira.

Atributos	Unid.	Modelo	$C_0$	$C_0 + C$	a (m)	$R^2$ (%)	GDE (%)
CBT1	cm	EXP	0,11	1,01	10,0	90,0	11,0
CBT2	cm	EXP	0,09	1,00	10,0	85,0	10,0
CBT3	cm	EPP	1,00	1,00	-	-	-
CAP1	cm	EXP	0,12	1,03	14,0	90,0	12,0
CAP2	cm	EXP	0,09	1,00	11,0	81,0	10,0
CAP3	cm	ESF	0,85	1,12	110,0	70,0	76,0
ALT1	m	ESF	0,004	0,96	12,5	95,0	1,0
ALT2	m	ESF	0,06	0,96	12,5	95,0	6,0
ALT3	m	ESF	0,77	1,20	110,0	70,0	64,0

Unid; unidade; CBT: circunferência da base do tronco; CAP: circunferência da altura do peito; ALT: altura das árvores; EXP: modelo exponencial; EPP: efeito pepita puro e ESF: modelo esférico.

A seguir estão os mapas da distribuição espacial da área de estudo, representado as frações granulométricas do solo (Figura 1) e as variáveis dendrométricas das plantas, medidas de janeiro/2014 até dezembro/2014 (Figura 2 a 4).

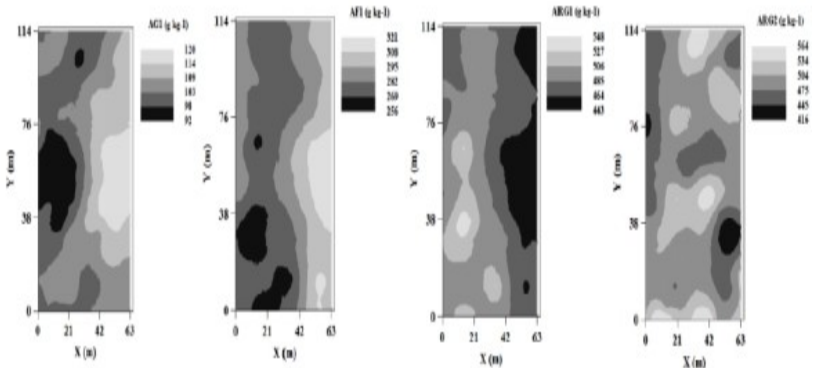


Figura 1- Mapas da distribuição espacial das frações granulométricas (AG1, AF1, ARG1 e ARG2).

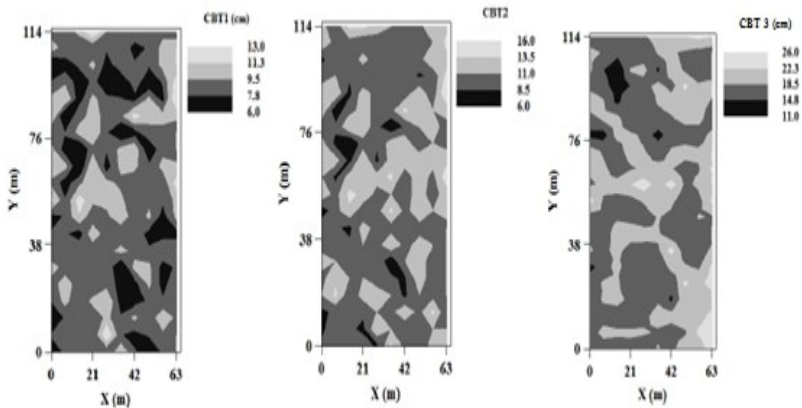


Figura 2 - Mapas da distribuição espacial da circunferência da base do tronco (CBT1, CBT2 e CBT3) da seringueira.

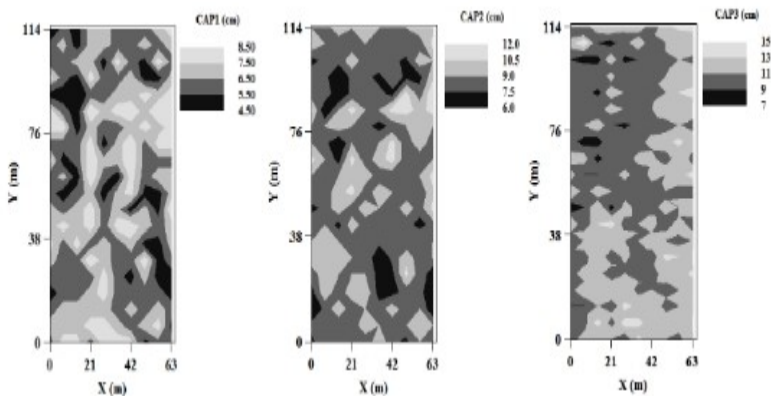


Figura 3 - Mapas da distribuição espacial da circunferência a altura do peito da seringueira (CAP1, CAP2 e CAP3).

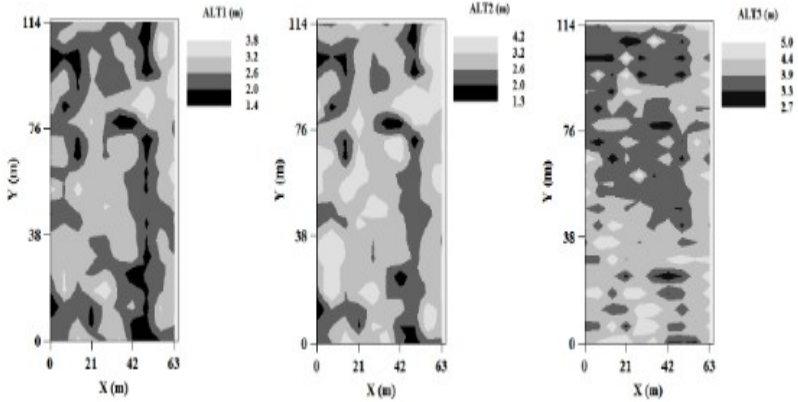


Figura 4 - mapas da distribuição espacial da altura (ALT1, ALT2 e ALT3) das árvores da seringueira.

### 3.3 Discussão

Os resultados das frações granulométricas do solo nas duas camadas apresentaram distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov ( $p \leq 0,05$ ). Todas as frações apresentaram distribuição assimétrica a esquerda, com exceção para Silte1, Silte2 e ARG2 (argila). Quanto à curtose as frações Silte1, AT2 (areia total) e AF2 (areia fina) apresentaram leptocurtica, positiva, as demais negativas.

A análise descritiva das variáveis dendrométricas da seringueira (clone Fx 3864) está nas Tabelas 2 a 4, onde se verifica distribuição assimétrica à direita para todas os atributos com concentração de valores abaixo da média, com exceção para a ALT1, ALT2, CBT3. Quanto à curtose, a variável CBT1, apresentou-se positiva, com distribuição leptocurtica, com concentração de valores em torno da média. Apesar da média e a mediana apresentarem valores próximos, somente as variáveis ALT1, ALT2, e ALT3 apresentaram distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov ( $p \leq 0,05$ ).

Como era de se esperar o CAP foi aumentando com o tempo. Segundo Roque et al. (2005) à medida que a variável CAP aumenta, a produtividade da borracha também tende a aumentar quando na fase de produção.

O coeficiente de variação (CV), por ser uma medida adimensional e possibilitar a comparação da variabilidade de duas variáveis, foi utilizado para avaliar a variabilidade dos dados, sendo que os valores foram classificados conforme os critérios proposto por Gomes e Garcia (2002): baixo ( $CV < 10\%$ ); médio ( $10\% < CV < 20\%$ ); alto ( $20\% < CV < 30\%$ ), e muito alto ( $CV > 30\%$ ). Assim, com baixa variação estão AT1, AF1, ARG1 ARG2; média variação para AG1, Silte1, AT2, AF2, Silte2, CBT1, CAP1, CBT2, CAP2, CBT3, ALT3 e CAP3; alta variação para ALT1 e ALT2.

O alcance de dependência espacial (a) define a partir desta distância que as amostras são independentes. As amostras com distância dentro do alcance são mais similares e quanto maior for o alcance maior é continuidade espacial do fenômeno. As frações granulométricas apresentaram alcances de 20 a 56 m e as frações AG1 e AF1 apresentaram mesmo padrão espacial de distribuição, com mesmo modelo (Exponencial) e alcances próximos, como pode ser visto na Tabela 5.

A fração ARG2 apresentou forte grau de dependência espacial ( $GDE < 25\%$ ), enquanto que as demais com moderada ( $25\% \leq GDE < 75\%$ ).

Como os atributos em estudo apresentaram dependência espacial utilizou-se o método de interpolação krigagem ordinária para a construção dos mapas de distribuição espacial, mostrando alternância de regiões de maiores e menores ocorrências de seus valores na área de estudo.

Os mapas dos atributos dendrométricos mostrados nas Figuras 2 a 4 foram construídos por krigagem ordinária, em pixel de  $7 \times 3$  m, sendo 3 m entre plantas na linha e 7 m na entrelinha, que é o espaçamento da cultura. Verifica-se que nas medições 1 e 2 as árvores da seringueira apresentam um padrão espacial similar. Esse fato pode estar relacionado pelo pequeno intervalo de medições, sendo a primeira em janeiro/2014 e a segunda em julho/2014.

Apesar do efeito pepita ( $C_0$ ) alto encontrados nos semivariogramas escalonados para VOL3, CAP3 e ALT3, não se pode afirmar, neste estudo, se com o passar do tempo e por ser clones, que o desenvolvimento das árvores caminhará para menor variabilidade dessas variáveis, ficando mais homogêneas tanto em pequenas e em maiores distâncias de amostragens. Visto que, é

consensual na análise espacial que amostras coletadas em coordenadas geográficas próximas apresentam menor variabilidade e à medida que se distanciam a variância espacial vai aumentando até atingir a variância dos dados.

#### 4. CONCLUSÃO

As frações granulométricas argila, areia grossa e areia fina apresentaram dependência espacial na camada 0-0,20 m e argila na camada 0-0,20 m, as demais com ausência de dependência espacial.

Os atributos dendrométricos da seringueira apresentaram dependência espacial, no decorrer do segundo ano de cultivo.

A altura das árvores apresentou maior ganho na terceira medição em maior parte da área, saindo do intervalo de 2,6 a 3,2 m (medição 1 e 2) para 3,9 a 4,4 m, com um ganho médio em altura de 52%, entre a primeira e a terceira medição. A circunferência da base do tronco (CBT) teve um ganho médio de 47,5% e a circunferência a altura do peito (CAP) de 66,6%, da primeira para a terceira medição, mostrando um ganho percentual maior para CAP. No período de avaliação a seringueira se mostrou com um incremento indicando boa alternativa para cultivo na região de estudo.



## 5. REFERÊNCIAS

- Alvarenga, A. P. Potencial de Minas Gerais para produção de borracha natural. Informe Agropecuário, Belo Horizonte: Epamig, v. 28, n. 237, p. 7-11, 2007.
- Braga, C. Indicadores econômicos da produção de borracha natural no Brasil. 2015. Disponível em: <[http://www.canaldoprodutor.com.br/sites/default/files/artigo-07\\_0.pdf](http://www.canaldoprodutor.com.br/sites/default/files/artigo-07_0.pdf)>. Acesso em 22 Agosto. 2017.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Quarto relatório nacional para a convenção sobre a diversidade biológica: Brasil, Brasília, 247 p, 2016.
- Camargo. A. P., Marin. F. R., Camargo, M. B. P. Zoneamento climático da heveicultura no Brasil. Brasília: EMBRAPA-Documentos, 2003.
- Cambardella, C. A.; Moorman, T.B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.;Turco, R. F.; Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, v.58, p.1501-1511. 1994.
- D'Agostini, S.; Bacilieri, S.; Vitiello, N.; Hojo, H.; Bilynskyj, M. C. V.; Batista Filho, A.; Rebouças M. M. Ciclo Econômico Da Borracha – Seringueira *Hevea Brasiliensis* (Hbk) M. Arg. Páginas do Instituto Biológico, São Paulo: v. 70, n. 2, p. 205-206, 2003.
- Espírito Santo (Estado). Seringueira: Pesquisa e Desenvolvimento no Espírito Santo. .Net, Vitória, Jul. 2013. Disponível em: <<https://seag.es.gov.br/seringueira-pesquisa-e-desenvolvimento-no-esp>>. Acesso em 01 Jun. 2017.
- Gomez, F. P.; Garcia, C. H. *Estatística aplicada a experimentos agrônomicos e florestais*: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba, FEALQ, 2002. 309p.
- Gonçalves, P.S.; Paiva, J. R. de; Souza, R. A. de. Retrospectiva e atualidade do melhoramento genético da seringueira (*Hevea* spp.) no Brasil e países asiáticos. Manaus: EMBRAPA-CNPQSD, p. 69 ,1983.
- Jacovine, L.A.G.; Fernandes, T.J.G.; Soares, C.P.B.; Silva, M.L. da; Alvarenga, A. de P. A heveicultura e a geração dos certificados de emissões reduzidas. In: ALvarenga, A. de P.; Carmo, C.A.F. de S. do (Ed.). Seqüestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural. Viçosa, MG: UFMG/Embrapa Solos/EPAMIG, p. 315-538, 2006.
- Libardi, P. L.; Manfron, P. A.; Moraes, S. O. Tuon, R. L. *Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico*. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 20, n. 1, p. 1-12, 1996.

- Martinez, C. B. Efeitos do aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico no crescimento das plantas. *Ação Ambiental*, Viçosa, MG, ano 4, n.21, p.16-19, 2001.
- MDCI. Estatísticas do Comércio Exterior de Serviços: Ministério da Indústria, Comércio exterior e Serviços. Brasil. 2015.
- Roque, C. G.; Centurion, J. F.; Pereira, G, T.;Beutler, A. N.; Freddi, O. S.; Andrioli, I. Variabilidade espacial de atributos químicos em Argissolo Vermelho – Amarelo cultivado com seringueira. *Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta*, v. 3, p.26 – 45, 2005.
- Salati, E. Emissão x seqüestro de CO<sub>2</sub>: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO<sub>2</sub> - UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: CVRD, p. 15-37, 1994.
- Sant’Anna A.; Ferraz, J. V.; Silva, M. L. M. (Coord.). *AGRIANUAL 2009: Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo: IFNP, p. 428-432, 2009.
- Wimmer, P. *Produção de Borracha Natural em Sistemas Agroflorestais de Várzea no Município de Itacoatiara-AM*. Manaus: INPA, 2011, 80 f. Dissertação (Mestrado Ciências de Florestas Tropicais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2010.

## CAPÍTULO 8

### MELOIDOGYNOSE DO CAFEIEIRO: ASPECTOS ECONÔMICOS E FITOSSANITÁRIOS

Guilherme de Resende Camara  
Breno Benvindo dos Anjos  
Kaique dos Santos Alves  
Isadora Rodrigues Garcia  
Simone de Paiva Caetano Bucker Moraes  
Waldir Cintra de Jesus Junior  
Fabio Ramos Alves  
Willian Bucker Moraes

#### 1. INTRODUÇÃO

A produção nacional de café beneficiado apresentou um aumento de 18,8% no ano de 2016 em relação a 2015, totalizando 51,37 milhões de sacas de 60 quilos em uma área de produção de 1,951 milhões de hectares com produtividade média recorde de 26,33 sacas, 17,1% superior à safra passada (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016).

O panorama nacional de produção de café apresenta destaque para dois principais estados: Minas Gerais e Espírito Santo, os quais, juntos, produzem 75% da produção nacional de café. (CONAB, 2016; LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA – LSPA, 2016; 2017).

Dos fatores bióticos limitantes ao desenvolvimento e produção do cafeeiro, a Meloidogynose, causada por nematoides do gênero *Meloidogyne* Goeldi, 1887, destaca-se como um dos principais problemas fitossanitários da cultura (OLIVEIRA et al., 2009; SALGADO and RESENDE, 2010; CONTARATO et al., 2014) e a perdas decorrentes variam consideravelmente entre os patossistemas (CONTARATO et al., 2014).

As espécies *Meloidogyne incognita*, *M. exigua* e *M. paranaensis* são economicamente a mais importantes no país, pois constituem um dos principais fatores limitantes na cadeia produtiva do café

(BARROS et al., 2014), decorrente da sua patogenicidade, extensão dos danos ao cafeeiro, perdas econômicas ao agronegócio, facilidade de disseminação e adaptação do patógeno a condições e regiões diversas (SALGADO and RESENDE, 2010).

O uso de cultivares de cafeeiros resistentes a fitonematoides é considerada como uma das formas de controle mais limpas e eficientes economicamente em um plano de manejo fitossanitário (SILVA et al., 2007; ALMEIDA et al., 2012; SHIGUEOKA, 2016), sendo seu desenvolvimento possível a partir da diversidade genética existente no gênero *Coffea* (SILVA et al., 2007).

## 2. ASPECTOS ECONÔMICOS DA CULTURA

A cafeicultura é uma das atividades mais importantes do setor agropecuário mundial (FERRÃO et al., 2011). Ao todo, são mais de 55 países envolvidos no setor de produção cafeeira, sendo o Brasil, Vietnã, Colômbia e Indonésia os principais países produtores, respectivamente (FERRÃO et al., 2011; ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ – OIC, 2016).

Das mais de 100 espécies de café existentes, *Coffea arábica* (café arábica) e *Coffea canefora* (conilon e robusta) representam quase todo o café produzido e comercializado no mundo (FERRÃO et al., 2011).

No Brasil, maior produtor e exportador mundial (BELING, 2015; COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016), a produção nacional de café beneficiado apresentou um aumento de 18,8% no ano de 2016 em relação a 2015, totalizando 51,37 milhões de sacas de 60 quilos em uma área de produção de 1.951 milhões de hectares, com produtividade média recorde de 26,33 sacas, 17,1% superior à safra passada (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016).

No ano safra 2016/2017, as exportações dos cafés do Brasil totalizaram 23,02 milhões de sacas de 60 quilos, com receita cambial de US\$ 3,94 bilhões, ao preço médio de US\$ 171,19 a saca (CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL - CECAFE, 2017).

No panorama nacional de produção de café conilon e arábica, a região sudeste lidera a produção, com destaque para dois Estados: Minas Gerais e Espírito Santo, os quais, juntos, produzem 75% da produção nacional de café (CONAB, 2016; LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA – LSPA, 2017).

Minas Gerais é maior Estado produtor de café e responde por aproximadamente 56% da produção nacional, com predomínio do cultivo do café arábica (*Coffea arábica* L.), enquanto que o Espírito Santo, segundo maior Estado produtor, detentor de 19% da produção nacional, é, também, o maior produtor de café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) do país, com produção superior a 65% da safra brasileira desta espécie (CONAB, 2016; LSPA, 2017).

Ao todo, Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia, Paraná e Goiás são responsáveis por aproximadamente 98,65% da produção nacional. Acre, Ceará, Pernambuco, Mato Grosso do Sul, Distrito Federal, Pará, Mato Grosso e Rio de Janeiro respondem pelos outros 1,35% da produção (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA, 2016; 2017).

## 2.1 Aspectos econômicos da cultura para o Espírito Santo

De acordo com o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - Incaper, a cafeicultura é a principal atividade agrícola do Espírito Santo, estando presente em todos os municípios capixabas, com exceção de Vitória (FERRÃO et al., 2013; INCAPER, 2016).

Segundo maior produtor nacional de café, o Espírito Santo possui expressiva produção das variedades arábica e conilon, com participação de 8,2% e 65,1% na produção nacional, equivalente a 19% da produção brasileira (LSPA, 2017). A atividade cafeeira é responsável por 35% do Produto Interno Bruto (PIB) agrícola capixaba, provenientes de um parque cafeeiro composto por 435 mil hectares em produção (INCAPER, 2016).

Dos 78 municípios capixabas, Jaguaré, Vila Valério, Sooretama, Nova Venécia, Linhares, São Mateus, Rio Bananal, Pinheiros, Boa Esperança e Marilândia destacam-se na produção de café conilon,

os quais, juntos, produzem 78% da produção estadual. Os municípios de São Gabriel da Palha, Vila Pavão e Colatina também apresentam destaque no cenário cafeeiro estadual, com participação na produção de 4,77%, 4,27% e 4,01%, respectivamente (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2015; INCAPER, 2016; LSPA, 2017).

O agronegócio cafeeiro, presente em 67% das propriedades agrícolas distribuídas por todo o Estado, gera, aproximadamente, 400 mil empregos diretos e indiretos, evidenciando, assim, a grande importância social e econômica para o desenvolvimento local (OLIVEIRA et al., 2014; INCAPER, 2016). Ao todo, 73% dos produtores rurais capixabas são de base familiar, em propriedades com tamanho médio de 8 hectares (INCAPER, 2016).

Referência brasileira e mundial no desenvolvimento do setor, a produção capixaba de café conilon já alcançou rendimento médio de 35 sacas de 60kg por hectare (sc/ha). Quando em propriedades tecnificadas, principalmente nas que possuem sistema de irrigação (70% das lavouras de café conilon estaduais), produtores já registraram rendimento médio de 100 sc/ha (INCAPER, 2016). Entretanto, na última safra, o rendimento médio não ultrapassou 19 sc/ha, resultados influenciados, principalmente, pela seca (LSPA, 2017).

A pesquisa científica, a transferência de tecnologias, a capacitação dos produtores e a prestação de assistência técnica são algumas das ações previstas em programas governamentais como o 'Renova Sul Conilon', iniciado em 2012 pelo Incaper, que objetiva renovar e/ou revigorar as lavouras de café conilon da região sul do Estado do Espírito Santo, visando o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade do produto final, além de contribuir com o sustentável desenvolvimento do Estado – aproximadamente 20 mil famílias de agricultores de base familiar são beneficiadas pelo programa (INCAPER, 2016).

### 3. ASPECTOS FITOSSANITÁRIOS DO CAFEIEIRO

Dos fatores mais limitantes para a produção e produtividade do cafeeiro, seja ainda em viveiro ou a campo, tem-se

as doenças, as quais podem ocasionar perdas que inviabilizem a exploração da cultura, tanto para os pequenos agricultores de base familiar, como para os grandes produtores em escala empresarial, sendo um constante desafio para o manejo eficiente desta cultura (VENTURA et al., 2007; ZAMBOLIM e ZAMBOLIM, 2008; CARVALHO et al, 2012).

A incidência de doenças na cultura do cafeeiro contribui para a redução da produção, produtividade e qualidade do produto final, além de elevar o custo da produção e, por isso, é considerada como uma das razões pelas quais se estabelecem os programas de melhoramento genético (VENTURA et al., 2007; CARVALHO et al., 2012).

Doenças de origem abiótica (decorrentes de temperaturas extremas, desequilíbrio nutricional, excesso ou déficit hídrico, fitotoxidez, entre outros) e doenças de origem biótica (causadas por fungos, vírus, bactérias, nematoides, entre outros) causam problemas significativos ao cafeeiro, ocasionando danos a todas as partes da planta e apresentando potencial de inviabilizar, ao menos economicamente, o cultivo desta cultura (VENTURA et al., 2007; FERRAZ, 2008; FERNANDES e VIEIRA JUNIOR, 2015).

Ainda de acordo com Ventura et al. (2007), “*para assegurar a sustentabilidade dos sistemas produtivos de café conilon, as estratégias de manejo e controle das doenças, deve-se levar em conta fatores genéticos do hospedeiro, evolutivos dos patógenos e epidemiológicos das doenças; porém, essas estratégias devem ser aplicadas em escala temporal e espacial baseadas em experimentos de pesquisa científica*” (p. 453).

Dentre as principais doenças de origem bióticas que incidem sobre o cafeeiro, destaca-se a Ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk et Br.), Mancha-de-olho-pardo ou Cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk, et Cook), Mancha Manteigosa (*Colletotrichum* spp), Mancha de *Phoma* (*Phoma costaricensis*), Seca-dos-Ponteiros (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Penz. (Melanconiales: Glomerellaceae)), Fusariose (*Fusarium solani*, *F. oxysporum*, *F. moliniforme*, *F. semitectum*, *F. equiseti.*), Mancha-de-Corynespora (*Corynespora cassicola* (Berk. & Curtis) Wei) e as Nematoses, doenças decorrentes do parasitismo do sistema radicular por fitonematoides, principalmente dos gêneros *Meloidogyne*,

*Pratylenchus*, *Rotylenchulus*, *Xiphinema*, *Criconemela* e *Helicotylenchus*. Os nematoides formadores de galhas radiculares, pertencentes ao gênero *Meloidogyne* Goeldi 1887, apresentam maior importância econômica na agricultura e caracterizam a doença conhecida como Meloidogynose (VENTURA et al., 2007; FERNANDES e VIEIRA JUNIOR, 2015).

### 3.1 A Meloidogynose do cafeeiro

Apesar do aumento anual na produção e na produtividade da cafeicultura nacional, diversos fatores abióticos e bióticos interferem e limitam o desenvolvimento da cultura (FERRAZ, 2008). A crescente ocorrência dos fitonematoides em lavouras comerciais requer atenção especial (BARROS et al., 2014), sendo mais frequentes em condições de climas tropicais e subtropicais (NICOL et al., 2011).

A Meloidogynose, causada por nematoides do gênero *Meloidogyne* Goeldi 1887, destaca-se como um dos principais problemas fitossanitários da cultura (OLIVEIRA et al., 2009; SALGADO e RESENDE, 2010; REIS e CUNHA, 2010; CONTARATO et al., 2014) e as perdas decorrentes variam consideravelmente entre os patossistemas (CONTARATO et al., 2014). A intensidade dos danos e das perdas depende da densidade populacional dos fitonematoides, da suscetibilidade da cultura, das condições ambientais e da presença de outros patógenos que podem interagir com os fitonematoides (PINOCHET, 1987).

Nesse contexto, inserem-se os danos quantitativos e qualitativos. Os primeiros referem-se à redução da produtividade e, nesse caso, as plantas infectadas apresentam menor eficiência do sistema radicular para realização de suas funções de absorção e condução de água e nutrientes. Consequentemente, observa-se baixa eficiência na nutrição, o que implica em gastos adicionais com fertilizantes para manutenção da produtividade (LORDELLO, 1988). Já os danos qualitativos dificultam o comércio do produto agrícola, pois provocam principalmente reduções na qualidade do produto final (CASTILLO et al., 2006).

Na cultura do cafeeiro, algumas espécies do patógeno, por exemplo, acarretam na formação de um elevado número de galhas



radiculares, dentre outros sintomas típicos do parasitismo por *Meloidogyne* spp., sem ocasionar a destruição do sistema radicular, mas que reflete em até 45% de redução na produção cafeeira nacional (LORDELLO, 1976; CAMPOS e VILLAIN, 2005). Outras espécies, em um espaço-temporal de cinco anos, são capazes de destruir até 80% do sistema radicular da cultura, inviabilizando a produção e podendo levar a planta a morte (BERTRAND e ANTHONY, 2008; SALGADO et al., 2011).

As espécies *Meloidogyne incognita*, *M. exigua* e *M. paranaensis* são economicamente as mais importantes no País, pois constituem um dos principais fatores limitantes na cadeia produtiva do café (BARROS et al., 2014), decorrente da sua patogenicidade, extensão dos danos ao cafeeiro, perdas econômicas ao agronegócio, facilidade de disseminação e adaptação do patógeno a condições e regiões diversas (SALGADO e RESENDE, 2010).

*M. incognita*, considerada uma das espécies mais destrutivas dos cafezais por causar rachaduras e degradação dos tecidos corticais (GONÇALVES et al., 2004; CARNEIRO et al., 2005; GONÇALVES e SILVAROLLA, 2007; SOUZA, 2008; OLIVEIRA et al., 2011) apresenta, ainda, capacidade de parasitar a raiz principal do cafeeiro, acarretando em danos irreversíveis a planta (LORDELLO e MELLO FILHO, 1970; CURTI et al., 1977; FERRAZ et al., 1983). Esta espécie já foi identificada em 56% dos cafezais avaliados no Espírito Santo por Barros et al. (2014), 42,9% nos estados de São Paulo e Minas gerais (CARNEIRO et al., 2005), assim como em 30,6% dos municípios do estado de São Paulo (LORDELLO et al., 2001). Pesquisadores relatam perdas de aproximadamente 24% da produção de café beneficiado em cafezais cultivados em áreas infestadas com *M. incognita* (OTOBONI e SANTOS, 2008).

A aquisição de mudas de cafeeiro infestadas por fitonematoides, há algum tempo, é considerada como uma das principais formas de disseminação deste patógeno (SILVA et al., 2004). O produtor, ao adquirir mudas de café contaminadas, acaba por introduzir em sua área de plantio um patógeno difícil de ser manejado, podendo tornar a área inviável para o cultivo desta e de diversas outras plantas de interesse agrônomo, sendo a erradicação do patógeno quase impossível (SALGADO et al., 2011). Devido a isto, medidas fitossanitárias devem ser utilizadas no sentido de minimizar as

chances de introdução de nematoides em áreas ainda não infestadas.

Em um manejo de fitonematoides, a utilização de medidas fitossanitárias que preconizam o método da exclusão, ou seja, o método que preconiza a prevenção da entrada do patógeno em uma área ainda não infectada, é de grande importância, e depende do conhecimento dos agentes de disseminação do patógeno. Dentre as medidas fitossanitárias de exclusão, destaca-se a quarentena e escolhas por materiais propagativos sadios (ZAMBOLIM et al., 2004; ALVES et al., 2009).

Quando já estabelecidos em uma determinada área, a utilização de métodos de controle que preconizam a erradicação ou redução do inóculo do patógeno tornam-se essenciais para a viabilidade da produção de interesse econômico. Dentre estas, destacam-se os métodos: a) físicos (remoção de partes vegetais infectadas, termoterapia e solarização do solo); b) culturais (rotação/sucessão de culturas, erradicação de plantas daninhas ou cultivadas atacadas por nematoides, inundação do solo, ressecamento do solo, pousio, incorporação de matéria orgânica, plantas antagonistas, adubação, época de plantio e localização da lavoura); c) biológicos; d) químicos e, como objetivo de estudo deste trabalho, e) genéticos.

Nesse contexto, no que se refere ao método genético de controle, o uso de cultivares de cafeeiros resistentes a fitonematoides é considerada como uma das formas de controle mais limpas e eficientes economicamente em um plano de manejo fitossanitário (SILVA et al., 2007; ALMEIDA et al., 2012; SHIGUEOKA, 2016), sendo seu desenvolvimento possível a partir da diversidade genética existente no gênero *Coffea* (SILVA et al., 2007).

## 4. RESISTÊNCIA GENÉTICA DE CAFEEIROS A FITONEMATOIDES

### 4.1 Conceito de resistência

As plantas estão sujeitas a ação benéfica ou não de microrganismos, presentes naturalmente ou não no ambiente, e possuem mecanismos que impossibilitam a penetração e o

desenvolvimento de patógenos em seus tecidos. A este mecanismo, dar-se o nome de resistência (AGRIOS, 1997; BLUM, 2002).

Entende-se por resistência a habilidade que uma planta apresenta em suprimir a reprodução ou o desenvolvimento de patógenos (ROBERTS et al., 1998), neste caso, os fitonematoides, ou seja, a capacidade morfológica e/ou bioquímica que a planta possui de inibir, restringir ou bloquear a entrada, permanência, estabelecimento e ou reprodução do patógeno no organismo do hospedeiro (AGRIOS, 1997; BLUM, 2002; LIMA, 2015).

Especificamente para a área de nematologia, o termo resistência é frequentemente utilizado para se referir a dois diferentes fenômenos biológicos: (i) capacidade da planta em suprimir a doença, inibindo sua reprodução, especialmente na formação das galhas radiculares (TAYLOR e SASSER, 1978; ROBERTS, 2002; STARR e ROBERTS, 2004; ALMEIDA et al., 2012) e; (ii) resposta geral da planta a infecções (BARKER, 1993).

#### 4.2 Aspectos relacionados à interação planta-nematoide

Os mecanismos de resistência das plantas evitam que determinadas espécies de fitonematoides se desenvolvam e/ou promovem baixas taxas de reprodução do patógeno. Em consequência, além do patógeno não ocasionar danos a cultura, haverá à redução da sua densidade populacional, possibilitando a manutenção econômica da cultura em áreas infestadas (SALGADO et al., 2014).

Plantas com alta resistência acarretam em taxas de reprodução muito restritas dos parasitos, sofrendo pouca ou nenhuma injúria, mesmo sob alta infecção, ao passo que as plantas suscetíveis, ou seja, não resistentes (hospedeiras), acarretam em abundante reprodução (SILVA, 2001).

Em geral, cultivares resistentes são atacadas por um número similar de indivíduos que as cultivares suscetíveis, ou seja, a resistência, salvo exceções, não impede o parasitismo pelo fitonematoide, contudo, dentro do sistema radicular, a indução do sítio de alimentação é inibida ou, caso este sítio tenha sido inicialmente estabelecido, estes são desintegrados nos estágios iniciais de desenvolvimento do fitonematoide (TRUDGILL, 1991;

JUNG e WYSS, 1999). Consequentemente, em plantas resistentes há um número reduzido de fitonematoides que alcançam a fase de desenvolvimento adulta e, ainda, há formação de maior número de indivíduos machos (não parasitos). Quando eventuais fêmeas se reproduzem, o fazem com baixas taxas de fecundidade (MORALES, 2007).

Visto da ocorrência de populações mistas de espécies de *Meloidogyne* em associação com o cafeeiro (CARNEIRO et al., 2005), a obtenção e seleção de materiais com resistência múltipla é de grande importância, tanto no aspecto social quanto econômico, por dispensar uma gama de cultivares atualmente disponíveis que possuem apenas resistência específica (BERTRAND e ANTHONY, 2008). Para a seleção desses materiais, o conhecimento dos mecanismos de resistência torna-se fundamental para o sucesso da atividade.

#### 4.3 Mecanismos de resistência

A resistência das plantas à patógenos pode ser pré-infectiva ou pós-infectiva, ou seja, pode ser expressa durante a penetração, desenvolvimento ou reprodução dos fitonematoides (ANWAR et al., 1994; WILLIAMSON e ROBERTS, 2009).

A resistência pré-infectiva está associada a fatores morfológicos pré-existentes ou a produção de exsudados radiculares que não atraem ou repelem os fitonematoides, mais especificamente os juvenis de 2º estágio (J2), limitando ou impedindo, assim, sua penetração (JATALA e RUSSEL, 1972; WILLIAMSON e ROBERTS, 2009). Um exemplo de resistência pré-infectiva por liberação de exsudatos radiculares é o da substância alfa-Tertienil, produzida pelo cravo-de-defunto (*Tagetes* spp.), assim como a nimbidina (produzida por *Azadirachta indica*) e o pirocatecol (produzido por *Eragrostis curvula*), dentre outras (HUANG, 1985).

Já na resistência pós-infectiva o desenvolvimento pós-penetração do fitonematoide é prejudicado pela ativação de processos fisiológicos da planta, os quais previnem ou atrasam o desenvolvimento dos J2 ou, ainda, limitam a reprodução das fêmeas, reduzido o nível populacional do inóculo (ANWAR et al., 1994; WILLIAMSON e ROBERTS, 2009). Dentre os processos

fisiológicos da planta desencadeados na resistência pós-infectiva, estudos demonstram diferentes mecanismos de resistência a Meloidogynose, dentre elas a reação de hipersensibilidade (DROPKIN, 1969; PAULSON e WEBSTER, 1972), acúmulo de compostos fenólicos (SINGH e CHOUDHURY, 1973), formação de fitoalexinas (VEECH, 1982) e a atividade da enzima fenilalanina amônia liase (GIEBEL, 1982).

A reação de hipersensibilidade das plantas, por exemplo, é o mecanismo de resistência pós-infectivo mais comumente observado. Neste, observa-se nas células do cilindro central do sistema radicular da planta, próximo à região penetrada pelo estilete do fitonematoide, um processo de morte celular programada, o que acarreta no não estabelecimento ou desenvolvimento do patógeno (ANWAR e MCKENRY, 2000; OLIVEIRA, 2006).

Além da classificação da resistência das plantas à patógenos em pré-infectiva e pós-infectiva, tem-se, também, a classificação da resistência em vertical e horizontal, ou também denominada de resistência qualitativa e quantitativa, respectivamente (LIMA, 2015), proposta inicialmente por Flor (1971) e, posteriormente, por Vanderplank (1978).

A resistência, no que se refere ao modo de herança, pode ser conferida por um (monogênica), poucos (oligogênica) ou vários genes (poligênica) (PERES, 2013). A resistência vertical, comumente controlada por um ou até no máximo três genes dominantes, frente aos quais diferenças na virulência do patógenos são identificadas em uma interação gene-a-gene (ROBERTS, 2002; PERES, 2013). Já na resistência horizontal, comumente poligênica, ocorre a ação de vários genes menores com efeitos aditivos, os quais conferem um nível qualitativo de resistência (ROBERTS, 2002; PERES, 2013).

A resistência horizontal, visto do seu caráter poligênico, tende a ser mais estável, durável e menos contornável pela pressão de seleção que incide sobre a população do nematoide parasita, principalmente se a taxa de recombinação do patógeno for baixa, fatores estes que dificultam o desenvolvimento de um patógeno capaz de romper a resistência mediada por todos os genes que atuam na determinação desta característica (VAN DER PLANK, 1963; MATIELLO et al., 1997; DAVIS et al., 2000).

#### 4.4 Virulência e avirulência de fitonematoides

O complexo espectro de virulência ou avirulência dentro e entre espécies e populações de *Meloidogyne* não são suficientes para limitar a utilização prática de resistência genética no manejo de fitonematoides (ROBERTS, 1995).

Genes de virulência presentes nos fitonematoides combinam com os genes de resistência da planta hospedeira. Especificamente para a área de nematologia, a virulência é definida de acordo com a capacidade do nematoide em se reproduzir em plantas hospedeiras que possuem um ou mais genes de resistência, enquanto que fitonematoides avirulentos apresentam inibição de sua reprodução na presença desses genes específicos (DAVIS et al., 2000).

Ressalta-se que populações de fitonematoides compreendem a uma mistura de indivíduos virulentos e avirulentos e que a frequência de indivíduos virulentos irá determinar o potencial de seleção de virulência na presença de plantas hospedeiras. Os genes que codificam essa característica são chamados de genes de avirulência ou genes Avr (ROBERTS, 2002).

Para a detecção de fontes de resistência, estudos precisos e detalhados devem ser realizados, visto da variabilidade intra e interespecífica encontrada em populações de fitonematoides (STARR et al., 2002), incluindo as espécies que ocasionam danos ao cafeeiro (RANDIG et al., 2002, 2004; CARNEIRO et al., 2004, CARNEIRO et al., 2005).

Considerando que a resistência em cafeeiros a *Meloidogyne* spp. é, na maioria das vezes, específica, o sucesso da seleção e uso de materiais resistentes dependerá da correta diagnose das espécies presentes na área (GONÇALVES e SILVAROLLA, 2001). Contudo, a diagnose é dificultada pelo elevado número de espécies presentes no meio e pela variabilidade morfológica intra-específica em *Meloidogyne* spp., a qual se deve ao modo de reprodução desses fitonematoides, que varia de anfimixia à partenogênese facultativa ou obrigatória; ao grau de ploidia, que vai de haploide até vários níveis de poliploidia; além das variações no número de cromossomos somáticos, os quais variam de 14 a 74 (CARNEIRO e ALMEIDA, 2000).

Nesse contexto, deve-se levar em consideração a necessidade de investigação de novas fontes de resistência do cafeeiro, principalmente Conilon, para *Meloidogyne* spp., objetivando a seleção de materiais com resistência múltipla, ou seja, a várias espécies de fitonematoides.

## 5. REFERÊNCIAS

- Agrios, GN. Plant Pathology. 4<sup>a</sup> ed. Londres: Academic Press, 1997.
- Almeida EJ, Wickert E, Santos JM, Martins ABG. Análise da variabilidade genética de acessos de *Psidium* spp. (Myrtaceae) avaliados quanto à reação a *Meloidogyne enterolobii*. Revista Brasileira de Fruticultura, v.34, n.2, p.532-539, 2012.
- Alves FR, Rodrigues AA, Rabello LKC, Costa DC, Jesus Júnior WC, Souza AF. Manejo integrado de fitonematoides: novas perspectivas. In: Ferreira A, Lima ABP, Matta FP, Amaral JFT, Lopes JC, Pezzopane, JEM, Ferreira MFS, Polanczyk RA, Soares TCB (Ed.). Tópicos especiais em produção vegetal I, n.1, p.187-204, 2009.
- Anwar SA, Mckenry MV. Penetration, development and reproduction of *Meloidogyne arenaria* on two new resistant *vitis* spp. Nematropica, v.30, n.9, 2000.
- Anwar SA, Trudgill DL, Phillips MS. The contribution of variation in invasion and development rates of *Meloidogyne incognita* to host status differences. Nematologica, v.40, 579 p., 1994.
- Barker KR. Resistance/Tolerance and Related Concepts/Terminology in plant nematology. Plant Disease, v.77, n.2, 1993.
- Barros AF, Oliveira RDL, Lima IM, Coutinho RR, Ferreira AO, Costa A. Root-knot nematodes, a growing problem for Conilon coffee in Espírito Santo state, Brazil. Crop Protection, v.55, p.74-79, 2014.
- Beling RR (Ed.). Anuário brasileiro do café 2015. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2015. 104 p. Disponível em: <[http://www.grupogaz.com.br/tratadas/eo\\_edicao/8/2015/06/20150617\\_6cc865d50/pdf/4810\\_cafe\\_2015.pdf](http://www.grupogaz.com.br/tratadas/eo_edicao/8/2015/06/20150617_6cc865d50/pdf/4810_cafe_2015.pdf)>. Acesso em: abr. 2016.
- Bertrand B, Anthony F. Genetics of resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) and breeding. In: Souza RM (Ed.) Plant-Parasitic Nematodes of Coffee. Dordrecht, NL. Springer Science+Business, p.165-190, 2008.
- Blum LEB. Doenças de Plantas: Conceitos Básicos. Florianópolis: UDESC, 2002.
- Campos VP, Villain L. Nematode parasites of coffee and cocoa. In: Luc M, Sikora RA, Bridge J. (Ed). Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. Wallingford: CABI, p.189-204, 2005.
- Carneiro RMDG, Randig O, Almeida MRA, Gonçalves W. Identificação e Caracterização de *Meloidogyne* spp. em cafeeiro nos Estados de São Paulo e Minas Gerais através do fenótipos das esterases e Scar-PCR-Multiplex. Nematologia Brasileira, v. 29, p. 233-241, 2005.
- Carneiro RMDG, Almeida MRA. Caracterização isoenzimática e variabilidade intraespecífica dos nematoides de galhas do cafeeiro no



- Brasil. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, Poços de Caldas, 2000, Resumos... Poços de caldas, 2000, p.280-282.
- Carneiro RMDG, Tigano MS, Randig O, Almeida MRA, SARAH JL. Identification, characterization and diversity of *Meloidogyne* spp. (*Tylenchida*, *Heteroderidae*) on coffee from Brazil, North and Hawaii. *Nematology*, v.6, p.287-298, 2004.
- Carvalho VL, Cunha RL, Silva NRN. Alternativas de controle do cafeeiro. *Coffee Science*, Lavras, v.7, n.1, p.42-49, 2012.
- Castillo P, Landa BB, Navas-Cortés JA. First Report of *Meloidogyne arenaria* parasitizing lettuce in Southern Spain. *Plant disease*, v.90. n.7. 2006.
- Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: café – quarto levantamento safra 2016. Brasília: CONAB, 2016. 77 p. Disponível em: <[http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/levantamento/Boletim\\_cafe\\_dezembro\\_2016.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/levantamento/Boletim_cafe_dezembro_2016.pdf)>. Acesso em: maio 2017.
- Conselho dos Exportadores de Café do Brasil. Relatório mensal: fevereiro 2017. São Paulo: CECAFE, 2017. 16 p. Disponível em: <[http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe\\_estatistico/CECAFE\\_Relatorio\\_Mensal\\_FEVEREIRO\\_2017.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe_estatistico/CECAFE_Relatorio_Mensal_FEVEREIRO_2017.pdf)>. Acesso em: maio 2017.
- Contarato CC, Tomaz MA, Alves FR, Sobreira FM, Jesus Junior WC, Rabello LKC, Ferrão MAG, Ferrão RG. Reaction of cultivar coffee 'Vitoria INCAPER 8142' of conillon to parasitism of *Meloidogyne exigua*. *Idesia*, v.32, n.1, p.93-97, 2014.
- Curi SM, Silveira SGP, Elias EG. Resultados de produção e da proteção do sistema radicular de cafeeiros sob controle químico do nematóide *Meloidogyne incognita* em condições de campo. *Nematologia Brasileira* v.2 n.93, 1977.
- Davis EL, Hussey RS, Baum TJ, Bakker J, Schots A, Rosso MN, Abad P. Nematode parasitism genes. *Annual Review of Phytopathology*. v.38, p.365-396, 2000.
- Dropkin VH. The necrotic reaction of tomatoes and other host resistant to *Meloidogyne*: reversal by temperature. *Phytopathology*, v.59, p.1632, 1969.
- Fernandes CF, Vieira Junior JR. Doenças do cafeeiro. In: Marcolan, AL, Espindula MC. (Ed.). *Café na Amazônia*. Brasília, DF: Embrapa, p.279-307, 2015.
- Ferrão RG. A cafeicultura no estado do Espírito Santo. In. Tomaz MA. (Org.). *Tecnologias para a sustentabilidade da cafeicultura*. Alegre: UFES, 2011. p.19-50.

- Ferrão RG, Silva AES, Ferrão MAG, Fonseca AFA. No ES, cafeicultura responde por 43% da produção agrícola. *Visão Agrícola*, n.12, p.95-96, 2013.
- Ferraz LCBF. World reports of *Meloidogyne*: Brazil. In: Souza RM. (Ed). Plant Parasitic Nematodes of Coffee. New York: APS Press & Springer, p.225-248, 2008.
- Ferraz LCCB, Rocha AD, Brancalion AM, Marconato AR. Considerações sobre a viabilidade do controle de *Meloidogyne incognita* visando a recuperação de cafezais infestados. *Nematologia Brasileira* v.6, n.117, 1983.
- Flor HH. Current status of gene-a-gene concept. *Annual Review of Phytopathology*, v.9, p.275-296, 1971.
- Giebel J. Mechanism of resistance to plant nematodes. *Annual Review of Phytopathology*, v.20, 257p., 1982.
- Gonçalves W, Ramiro DA, Gallo PB, Giomo GS. Manejo de nematoides na cultura do cafeeiro. In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO: CAFÉ, 10., 2004, Mococa, SP. Anais... Mococa, SP: Instituto Biológico, 2004. p.48-66. Disponível em: <<http://www.biologico.sp.gov.br/rifib/X%20RIFIB%20anais.pdf>>. Acesso em: abr. 2016.
- Gonçalves W, Silvarolla MB. A luta contra a doença causada pelos nematoides parasitos do cafeeiro. *O Agrônomo*, v.59, p.54-56, 2007.
- Gonçalves W, Silvarolla MB. Nematoides parasitos do cafeeiro. In: Zambolim L. (Ed.). Tecnologia de produção de café com qualidade. Viçosa: UFV, p.199-267, 2001.
- Huang JS. Mechanisms of resistance to root-knot nematodes. In: Sasser JN, Carter CC. (Ed.). An advanced treatise on *Meloidogyne*. Raleigh: North Caroline State University Graphics, v.1, p.165-174, 1985.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Cidades. Brasília: IBGE, 2015. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=32&search=espírito-santo>>. Acesso em: jul. 2017.
- Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER. Cafeicultura. Espírito Santo: INCAPER, 2016. Disponível em: < <https://incaper.es.gov.br/cafeicultura>>. Acesso em: ago. 2017.
- Jatala P, Russell CC. Nature of sweet potato resistance to *Meloidogyne incognita* and the effects of temperature on parasitism. *Journal of Nematology*, v.4, n.1, 1972.
- Jung C, Wyss U. New approaches to control plant parasitic nematodes. *Appl Microbial Biotechnol*, v.51, p.439-446, 1999.
- Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil – abril 2016. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 79 p. Disponível em:

- <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_\[mensal\]/Fasciculo/lspa\\_201604.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201604.pdf)>. Acesso em: maio 2016.
- Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil – abril 2016. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 79 p. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/estProdAgr\\_201706.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201706.pdf)>. Acesso em: ago. 2017.
- Lima EA. Resistência múltipla de *Coffea canephora* conilon a *Meloidogyne* spp.: mecanismos e genes candidatos. 2015. 170 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- Lordello AIL, Lordello RRA, Fazuoli LC. Levantamento de espécies de *Meloidogyne* em cafeeiros no estado de São Paulo. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2., 2001, Vitória, ES. Anais... Vitória, ES: Embrapa, p.1182-1187, 2001.
- Lordello LGE, Mello Filho AT. Mais um nematóide ataca o cafeeiro. Revista de Agricultura n.45, v.102, 1970.
- Lordello LGE. Nematóides das plantas cultivadas. São Paulo: Nobel, 1988.
- Lordello LGE. Perdas causadas por nematóides. Revista de Agricultura. v.51, p.222, 1976.
- Matiello RR, Barbieri RL, Carvalho FIF. Resistência das plantas a moléstias fúngicas. Ciência Rural, v.27, p.161-168, 1997.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Café. 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>>. Acesso em: abr. 2016.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Café. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>>. Acesso em: ago. 2017.
- Morales AMR. Análise da expressão de genes relacionados à resistência a *Meloidogyne javanica* em soja, através da técnica de PCR em tempo real. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Jaboticabal, 2007.
- Nicol JM, Turner SJ, Coyne D L, Nijs LD, Hockland S, Tahna Maafi Z. Current nematode threats to world agriculture. In: Jones J, Cheysen G, Fenoll, C. (Ed.), Genomics and molecular genetics of Plant-Nematode Interactions. Springer, p.21-43, 2011.
- Oliveira DS, Oliveira RDL, Silva DG, Silva RV. Characterization of *Meloidogyne incognita* populations from São Paulo and Minas Gerais state and their pathogenicity on coffee plants. Tropical Plant Pathology, n.36, v.3, p.190-194, 2011.

- Oliveira DS. Patogenicidade de populações de *Meloidogyne incognita*, provenientes de Minas Gerais e São Paulo, ao cafeeiro. 2006. 75 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- Oliveira JG, Gravina GA, Sousa EF. Estoque de carbono do solo em função das mudanças climáticas simuladas com o modelo century. *Coffee Science*, v.9, n.1, p.1-9, 2014.
- Oliveira RDL, Lima IM, Barros AF. Importância e diagnose do parasitismo de nematoides em cafeeiro conilon. In: Zambolim L. (Ed.). *Tecnologias para a produção do café conilon*. Viçosa: UFV, 2009. p. 65-83.
- Organização Internacional do Café - OIC. Relatório sobre o mercado de café: maio 2016. [S. l.]: OIC, 2016. 5p. Disponível em: <<http://www.ico.org/documents/cy2015-16/cmr-0516-p.pdf>>. Acesso em: jun. 2016.
- Otoboni CEM, Santos JM. Estimativa da perda de produção de cafeeiros atacados por *Meloidogyne* sp. In: Congresso de Iniciação Científica, 7., 2008, Ourinhos, SP. Anais... Ourinhos, SP: FIO, 2008.

## CAPÍTULO 9

# USO DE IMAGENS AÉREAS OBTIDAS POR VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT'S) NA DETECÇÃO DE DOENÇAS EM EUCALIPTO

Adimara Bentivoglio Colturato  
Edson Luiz Furtado  
Kalinka Regina Lucas Jaquie Castelo Branco

O eucalipto possui rápido crescimento, alta produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade de adaptação e é aplicado em diferentes processos industriais, com diversas finalidades. Apresentando um papel de destaque no cenário nacional e internacional. No cenário nacional existem extensas áreas plantadas principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Bahia, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul. Diante do contexto de importância da produção de eucalipto no cenário nacional, e das dimensões ocupadas por suas áreas de plantação, bem como da possibilidade de um aumento significativo da sua produção o uso de novas tecnologias se faz cada vez mais necessárias. O uso de VANT's tem se tornado uma importante ferramenta para obtenção de informações mais eficientes, de baixo custo e rápidas para a detecção de patologias em plantações de eucaliptos. O estudo realizado com as patologias Seca de Ponteiros (*Botryosphaeria ribis*), Ferrugem (*Puccinia psidii*) e Murcha de *Ceratocystis* (*Ceratocystis fimbriata*), com o objetivo de gerar as assinaturas espectrais de cada uma dessas doenças, mostrou que a partir dos dados de reflectância é possível detectar e classificar tais doenças através de imagens aéreas obtidas com VANT's.

As florestas plantadas de eucalipto e pinus, no Brasil, geram em 100% a produção de celulose e papel (18).

A importância do cultivo de eucalipto se dá em virtude de seu rápido crescimento, grande capacidade de adaptação, produtividade e por ter inúmeras aplicações em diferentes setores como nos segmentos industriais de papel e celulose, painéis de madeira

industrializada, madeira processada mecanicamente, siderurgia a carvão vegetal e biomassa (1).

O eucalipto está sujeito ao ataque de diversas patologias como Seca de Ponteiros, Ferrugem e Murcha de *Ceratocystis*.

A seca de ponteiros é causada pelo fungo *Dothyorella* sp., cuja forma perfeita corresponde a *Botryosphaeria ribis*. Seus sintomas surgem nos terços da copa da árvore. Trata-se de lesões nas extremidades da haste principal, nos pontos de inserções de seus galhos e ramos; nos galhos, nos pontos de inserções de seus ramos e pecíolos; nos ramos, nos pontos de inserções de seus pecíolos. *Botryosphaeria ribis* tem sido relatado como um patógeno que apresenta maior agressividade em plantas predispostas à infecção por fatores como desfolhamento, deficiência hídrica e deficiência de boro (23). A deficiência de boro tem sido comum nos plantios de eucalipto, principalmente em *Corymbia citriodora*. Os sintomas de deficiência têm sido: folhas novas cloróticas, encarquilhadas e corináceas que se tornam quebradiças; morte da gema apical; fendilhamento da casca e tronco, com exsudação de goma e necrose dos tecidos (12). Além de afetar o crescimento e desenvolvimento de árvores, essa deficiência parece ser um fator de predisposição à ocorrência de fungos como *B. ribis* e *Lasiodiplodia theobromae*.

A murcha de *Ceratocystis* causada por *Ceratocystis fimbriata* é uma enfermidade sistêmica em planta lenhosa, em razão do progresso do patógeno, causando estrias radiais escuras nas secções transversais de órgãos lenhosos, da medula para o exterior do lenho ou da periferia do lenho para a medula; ou descoloração (mancha escura), do tipo cunha, em geral da periferia para a medula (6). Esse patógeno pode causar mais de 40% de mortalidade em talhões monoclonais, afeta plantações clonais com 4 meses a 5 anos de idade, em brotações de tocos, em estacas de enraizamento e em mudas clonais em viveiro, afetando hoje, 10 clones, em quatro estados brasileiros (8).

Este patógeno é causador de doenças em muitas plantas lenhosas e em algumas herbáceas de importância econômica como a acácia negra, batata doce, cacau, figo, gmelina, mangueira, seringueira e o eucalipto (7).

O agente causal da ferrugem do eucalipto *Puccinia psidii* Winter, apresenta uma distribuição geográfica ampla (9). Ataca espécies da

família Myrtaceae, incluindo o eucalipto, jambeiro, goiabeira, jabuticabeira, araçazeiro, pitangueira e jamelãozeiro, respondendo de maneira diferente em cada hospedeiro quanto à agressividade (2, 10).

Atualmente, a ferrugem, representa um dos principais agentes responsáveis por prejuízos e injúrias nos reflorestamentos de eucalipto do Estado de São Paulo, passando a ser considerada importante em meados de 1990 em plantios jovens de eucaliptos da região de Itapetininga e Vale do Paraíba (4).

Em mudas nos viveiros e em plantas no campo, o ataque da ferrugem restringe-se aos órgãos tenros das plantas como primórdios foliares, terminais de galhos e haste principal (9). Os sintomas são pequenas pontuações na parte inferior das folhas, levemente salientes de coloração verde clara ou vermelho amarelada (20).

O manejo e a ocorrência de doenças estão ligados à qualidade e a produtividade de plantios de eucalipto. Requerem a utilização de métodos de quantificação de doenças de plantas, como métodos diretos, avaliação dos sintomas e sinais, como a incidência e a severidade; ou por métodos indiretos, como a determinação da população do patógeno, sua distribuição espacial, seus efeitos na produção (dano e/ou perda) e a desfolha causada (13).

O sensoriamento remoto baseado em imagens aéreas também é um método que pode ser utilizado tanto para detecção como para quantificação e tem a vantagem de não exigir contato com as plantas doentes. A quantificação da doença pode ser feita em diversos comprimentos de onda.

A “utilização conjunta de sensores, equipamentos, aeronaves, espaçonaves entre outros, com objetivo de estudar o ambiente terrestre por meio do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações”, é o que se define como Sensoriamento Remoto (16). Este é baseado na radiação refletida das folhagens. As diferenças de reflectância podem ser obtidas e utilizadas de forma eficiente para mapear a incidência de um número grande de patógenos de plantas. Os sensores usualmente utilizados são multiespectrais (normalmente RGB e NIR) e mais recentemente hiperespectrais, apresentando-se assim como uma

ferramenta que pode ser utilizada para detectar plantas doentes de forma rápida e eficiente em pequenas e grandes áreas (15).

A energia eletromagnética é a que se encontra em maior quantidade na Terra e tem a sua origem no Sol, de onde se propaga para todo espaço, por meio de ondas eletromagnéticas, na forma de radiação. A intensidade da radiação eletromagnética que atinge um sensor é o parâmetro utilizado para a obtenção dos dados dos alvos da superfície terrestre que, posteriormente são transformados em uma medida passível de interpretação (15). O comportamento espectral da vegetação está associado aos conceitos de refletância, absortância e transmitância, sendo a refletância o mais utilizado em estudos de vegetação envolvendo técnicas de sensoriamento remoto. As medidas de refletância espectral constituem o principal exemplo da aplicação destas técnicas na fitopatologia, uma vez que existem diferenças nas respostas espectrais de uma folha sadia e uma folha doente (Tabela 01).

A maior parte da radiação eletromagnética dos intervalos do azul (0,35 a 0,50 $\mu\text{m}$ ) e do vermelho (0,50 a 0,62 $\mu\text{m}$ ) é absorvida pela clorofila, enquanto no intervalo do verde (0,62 a 0,70  $\mu\text{m}$ ), boa parte é refletida. A radiação do infravermelho próximo (0,74 a 1,10  $\mu\text{m}$ ) é pouco afetada pela clorofila, mas muito influenciada pela estrutura foliar da vegetação alvo. Nas regiões do espectro visível e do infravermelho, a energia refletida depende de propriedades como pigmentação, umidade e estrutura celular da vegetação, da constituição mineral e umidade dos solos e da quantidade de sedimento em reservatórios de água (3).

O conhecimento do comportamento espectral da vegetação é fundamental, pois a partir deste poderá ser feita a escolha da região do espectro sobre o qual se pretende adquirir os dados referentes aos estudos. Em estudos relacionados a doenças de plantas, as mais utilizadas são as regiões do visível e do infravermelho próximo (21) pois são as regiões que melhor detectam os sintomas de doenças de plantas, tendo em vista que na maioria das doenças ocorre a degeneração do protoplasma, seguida de morte das células, tecidos e órgãos (15) (Figura 01)

Uma das grandes vantagens do sensoriamento remoto na agricultura é a capacidade de mapeamento de grandes áreas em curtos espaços de tempo. Outra vantagem é a possibilidade de uma



visão aérea da cultura, que pode revelar detalhes não observáveis pela visão em nível do solo.

Tabela 1. Resumo das características espectrais de tecidos saudios e doentes

<b>Comprimento</b>	<b>Tecido sadio</b>	<b>Tecido doente</b>
Visível (400-700 nm)	Baixa refletância exceto na banda verde ( $\approx 550\text{nm}$ ).	Aumento da reflectância, especialmente nas bandas de absorção de clorofila devido à interrupção da fotossíntese e presença de esporos de superfície ou micélio
Infra-vermelho próximo (NIR 700-1200nm)	Alta reflectância particularmente de 730nm (a "borda vermelha")	A reflexão elevada da borda vermelha é deslocada para começar em comprimentos de onda mais curtos (por exemplo, de 670nm). Também a redução da biomassa ligada à senescência dos tecidos, ao crescimento reduzido e à desfolhação reduz a reflectância no NIR em comparação com as plantas saudáveis
Infra-vermelho de onda curta (SWIR 1200-2400 nm)	Geralmente baixa reflectância	Pequenas mudanças associadas ao teor de água é possível
Banda térmica infravermelha (TIR $\approx$ (8000-14000 nm)	A radiação emitida depende da temperatura da folha, que é afetada pela taxa de transpiração (muitas vezes afetada pela doença da base e da base da haste e algumas doenças foliares)	

Modificado de Jon S. West e Sarah A.M. Perryman, 2017.

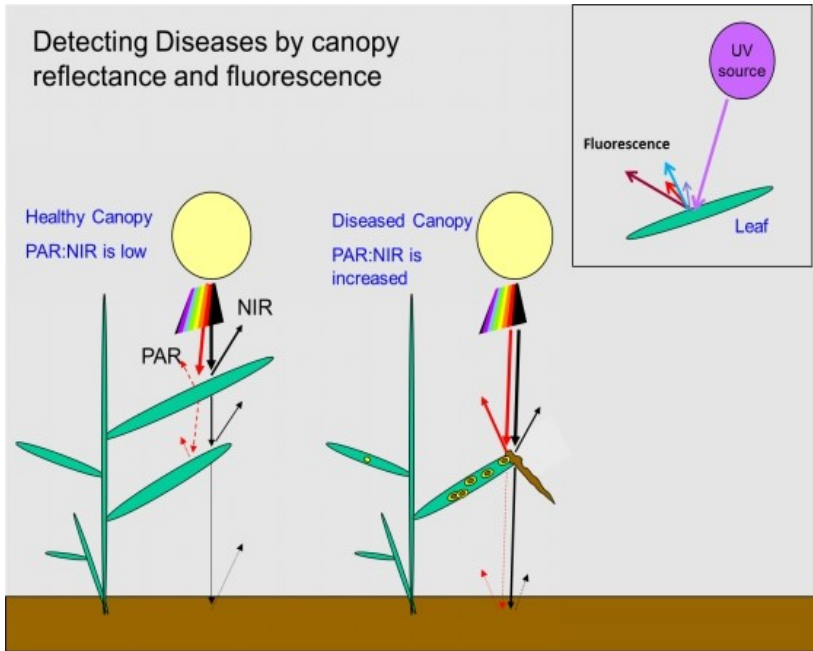


Figura 1. Representação diagramática dos efeitos da doença na qualidade da luz nas bandas PAR (Radiação Fotossinteticamente Active) e NIR ( Infra-Vermelho Próximo), refletidas ou fluorescentes de um dossel vegetal, que podem ser processadas usando índices e outras fórmulas para mapear traços. Além disso, a fluorescência ocorre a 440nm e 520nm (devido à fluorescência da parede celular) e 684-693nm e 740nm (devido à clorofila), mas algumas dessas bandas de onda podem ser absorvidas por pigmentos secundários presentes em diferentes espécies de plantas (Modificado de Jon S. West e Sarah A.M. Perryman, 2017).

A utilização de Aeronaves não-tripuladas (VANTs – Veículos Aéreos Não-Tripulados) ou UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) tem se mostrado uma ferramenta muito importante no sensoriamento remoto.

Segundo o relatório do DoD (Departamento de Defesa dos EUA) denominado *Unmanned Aerial Vehicle Roadmap 2002 - 2027*, que é um dos principais e mais completos documentos sobre o estado da arte da tecnologia, VANTs são: “*Veículos aéreos que não*

*carregam operador humano, utilizam forças aerodinâmicas para se elevar, podem voar autonomamente ou ser pilotados remotamente, podem ser descartáveis ou recuperáveis e podem transportar cargas bélicas ou não bélicas. Excluem-se desta definição, veículos balísticos e semi-balísticos como mísseis de cruzeiro, e projéteis” (5).*

O uso de imagens obtidas por VANTs apresenta vantagens não só pelo fato de as imagens obtidas pelos satélites não possuírem resolução tão alta quanto a necessária de observação das patologias, mas também pelo fato das imagens obtidas pelos VANTs serem mais acuradas e possíveis de serem obtidas a qualquer momento, inclusive de serem feitas mais de uma vez no mesmo dia, diferentemente das obtidas de satélites.

O uso de VANTS pode e deverá proporcionar o monitoramento e a detecção de pragas em áreas cada vez maiores. O uso dessa ferramenta deverá resultar em uma melhoria no processo de detecção e na redução tanto de horas de trabalho quanto de mão de obra necessária para levantamento em campo das informações, pois uma pessoa andando a 2km/h durante 8 horas por dia só consegue fazer amostragem em 1000 hectares. O uso de maquinários, muitas vezes, é impeditivo por causa dos “carreadores” serem pequenos e devido ao risco de danos às espécies.

O processamento de imagens feito a posteriori permite a extração de dados em maior quantidade do que aqueles obtidos por amostragem terrestre, normalmente restrita a um percentual pequeno da área total sob análise.

Com o geo-referenciamento das imagens aéreas e, conseqüentemente, do geo-referenciamento planta a planta, será possível a realização de levantamentos de campo que possibilitem estabelecer correlações entre os dados obtidos pelas imagens e a realidade em campo, de modo a criar uma base de informações mais precisa.

A geração expedita e de baixo custo de mapas temáticos permitirá a utilização de práticas culturais preconizadas pela agricultura de precisão, possibilitando não somente ganhos econômicos adicionais como também impactos menores ao meio ambiente.

Objetivou-se fazer uma comparação entre métodos diretos (contagem de plantas doentes e quantificação da percentagem de

tecido lesionado por patógenos) e métodos indiretos (análise da refletância) em diferentes comprimentos de onda (análise multiespectral) fazendo uso de Veículos Aéreos Não-Tripulados e do processamento de imagens para a confecção de uma base de dados que permitirá a geração de assinaturas espectrais para a detecção de patologias em plantações de eucalipto.

Os experimentos foram conduzidos em laboratório e em campo. Cada patologia foi detectada em uma localidade diferente do estado de São Paulo. Em cada plantio foi selecionada uma área, e dentro desta área foram divididas parcelas de 10 ruas contendo 50 plantas cada rua, sendo cada parcela constituída de 500 plantas. Para murcha de *Ceratocystis* e seca de ponteiros foram coletados dados de incidência e para ferrugem dados de severidade segundo uma escala diagramática (24).

Para a realização da avaliação de reflectância em laboratório foram coletadas 30 folhas de plantas sadias e 30 folhas de plantas doentes, no caso da murcha de *Ceratocystis* e da Seca de ponteiros. Para ferrugem, como possui 4 níveis de severidade, planta sadia, e níveis 1, 2 e 3, foram coletadas 30 folhas de cada nível. A coleta foi realizada em várias plantas sendo que foi realizada uma mistura destas para a realização do experimento. As folhas após destacadas da planta foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em uma caixa de isopor com gelo para evitar a perda de água. Ao retorno, as folhas foram armazenadas em geladeira até o momento da leitura da reflectância.

As análises das folhas coletadas em campo foram realizadas em laboratório. Para a medição da reflectância foi montado um sistema que contava com um espectrômetro USB2000 da Ocean optics, uma fibra ótica (no visível), luz de led, fonte de alimentação para o led, uma lente para não espalhar a luz, um anteparo e uma mesa. A distância focal utilizada foi de 12 cm.

Para cada folha foi realizada uma medição, sendo realizadas 30 medições de folhas de plantas sadias e 30 medições de folhas de plantas com sintomas de Seca de ponteiros e Murcha de *Ceratocystis*. Para ferrugem, como possui 4 níveis de severidade, planta sadia, e níveis I, II e III, foram realizadas 30 medições para cada nível. Este espectrômetro forneceu dados de 450 nm até 720 nm aproximadamente.

Os voos foram realizados com o VANT eBee produzido pela Sensefly Ltd. O eBee é uma aeronave não-tripulada, elétrica e de pequeno porte. Possui um sistema embarcado (o conjunto de hardware e software integrado à aeronave), que é responsável por controlar todas as funções executadas a bordo. Essas funções incluem navegação, controle (ou pilotagem), controle de sensores, controle de atuadores e gerenciamento de situações críticas.

Em cada área foi escolhida uma região onde a doença se mostrava mais pronunciada, sendo então delimitada uma área para a realização da missão.

Em cada sobrevoo foram adquiridas imagens com câmeras Canon em RGB e com filtro de infravermelho (NIR), posteriormente foram feitos mosaicos de cada área sobrevoada com o auxílio do programa Postflight Terra 3D.

Para a aquisição dos dados de reflectância das imagens foram utilizadas imagens em RGB. As medidas foram efetuadas com o programa ColourWorker – *image-based colour measurement* (17). Foram coletadas 30 medições de plantas sadias e 30 medições de plantas com sintomas das doenças estudadas. Nesse caso, para ferrugem só pode ser coletado dados de plantas sadias e de plantas doentes, sem separar em níveis de severidade.

Na modelagem estatística das assinaturas espectrais obtidas pelo espectrômetro e pelas imagens digitais das doenças consideradas, foram utilizadas técnicas de Análise Multivariada (11, 14). Inicialmente, procedeu-se a redução da dimensionalidade dos dados utilizando-se a metodologia de Componentes Principais, considerando-se, em todas as situações, somente os dois primeiros componentes. Em seguida, foi utilizada a técnica Função Discriminante Linear Canônica (11, 14), que tem como base a classificação de  $k$  grupos por meio de funções lineares no espaço multidimensional utilizando-se de métricas como distância euclidianas e distância de Mahalanobis – que leva em consideração a matriz de variância e covariância das observações. Esta técnica foi aplicada posterior à técnica de componentes principais. Assim, foi possível obter a validação cruzada – probabilidade de má classificação, que informa sobre o percentual de acerto e de erro do modelo obtido via componentes principais.

Ambas as técnicas foram realizadas utilizando o programa estatístico SAS (*Statistical Analysis System*) (22).

As avaliações terrestres tinham como propósito identificar e localizar as plantas afetadas pelas doenças e posteriormente com a imagem aérea do mesmo local fazer uma avaliação manual, comparando se visualmente era possível identificar se a planta que foi constatada como doente na avaliação terrestre também era visivelmente doente pela imagem.

Tanto para Murcha de *Ceratocystis* como para seca de ponteiros pode-se constatar que apenas visualmente não é possível ter 100% de acurácia, pois a imagem aérea só detecta as plantas com sintomas em estágio avançado de desenvolvimento, enquanto que a avaliação a campo detectou várias plantas com sintomas iniciais ou com sintomas na parte de baixo da copa da árvore que com a imagem aérea não foi possível identificar visualmente.

Para a área afetada por ferrugem essa avaliação manual apenas visualmente mostrou-se ineficaz, pois como os sintomas da doença são pequenas pontuações nas folhas, não foi possível observar a doença por meio da imagem aérea.

Essas avaliações terrestres comprovaram a necessidade e a importância de se ter as assinaturas espectrais de cada doença. Com o auxílio dessas assinaturas mesmo as plantas com sintomas em fase inicial de desenvolvimento podem ser detectadas.

Os dados obtidos em laboratório com o espectrômetro mostraram que é possível a separação em sadio e doente para as três doenças avaliadas e com um erro baixo. Para a ferrugem, foi possível classificar em quatro níveis, entretanto, que alguns dados que deveriam ser classificados como nível 1 acabaram sendo classificados como sadio ou como nível 2. E que alguns dados do nível 2 foram erroneamente classificados como nível 1 ou nível 3. A explicação dá-se ao fato de que a avaliação segundo uma escala diagramática é muito subjetiva, tendo em vista que o avaliador usa como padrão uma imagem e tenta quantificar em notas as folhas que está vendo de acordo com a escala.

O modelo utilizado para classificar os dados das imagens conseguiu separar as plantas sadias das doentes. Porém, para ferrugem não foi possível através das imagens aéreas classificar as plantas doentes em níveis de severidade, pois os sintomas da

ferrugem são pequenas pontuações nas folhas o que dificulta essa classificação visualmente pela imagem.

As análises de laboratório com o uso de espectrômetro colaboraram com os dados de reflectância obtidos pelas imagens aéreas, mostrando que no caso das doenças estudadas o comportamento espectral mostrou-se semelhante em ambos os casos.

O uso de componentes principais na análise dos dados é uma ferramenta muito utilizada em vários trabalhos envolvendo análise de reflectância e permitiu uma redução considerável da dimensionalidade dos dados. Sankaran et al. (19) também utilizou as técnicas de componentes principais seguida de análise de discriminantes para classificar plantas de abacate atacadas por *Raffaelea lauricola* resultando numa acurácia de 94% na classificação de folhas assintomáticas de plantas infectadas. Zhang et al. (25) também utilizou a função discriminante linear para detectar oídio em trigo por meio de medidas de reflectância.

A aplicação da técnica função discriminante linear, gerou auto vetores, os quais auxiliam o modelo para a obtenção das assinaturas espectrais, bem como fornecem dados da acurácia do modelo utilizado.

Assinaturas espectrais foram geradas para cada doença estudada, porém com essas assinaturas ainda só é possível identificar e classificar as doenças se houver um conhecimento prévio de qual doença é e, a coleta dos dados deve ser efetuada com os mesmos equipamentos ou com equipamentos que apresentem as mesmas faixas espectrais utilizadas. Mas já está em andamento um estudo, no qual a partir da função discriminante linear serão obtidas assinaturas espectrais que farão parte de um banco de dados e com essas assinaturas será possível identificar se é alguma dessas doenças e no caso da ferrugem em qual nível de severidade se encontra.

## REFERÊNCIAS

1. ABRAF - Associação Brasileira Florestal dos Produtores de Florestas Plantadas. Disponível em: <[http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13\\_BR.pdf](http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13_BR.pdf)>. Acesso em 03/05/2013.
2. Alfenas AC, Zauza EAV, Mafia RG, Assis TF de. Clonagem e doenças do eucalipto. Viçosa: Editora UFV, 2004. 442p.
3. Bauermann GC. Uso de imagens de sensores remotos na estimativa de características dendrométricas de povoamentos de eucalipto (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, 2008. 78p.
4. Camargo FRA, Takahashi SS, Furtado EL, Valle CF, Bonine CAV. Ocorrência e evolução da ferrugem do eucalipto em duas regiões do Estado de São Paulo. Fitopatologia Brasileira 22: 254, 1997.
5. DOD - Secretary Of Defense. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Roadmap. Washington, 2003. 195p.
6. Ferreira FAE, Milani D. Diagnose visual e controle de doenças abióticas e bióticas do eucalipto no Brasil. International Paper, Mogi-Guaçu, 2002.
7. Ferreira FA, Maffia LA, Ferreira EA. Detecção rápida de *Ceratocystis fimbriata* em lenho infetado de eucalipto, mangueira e outros hospedeiros lenhosos. Fitopatologia Brasileira, Brasília 30: 543-545, 2005.
8. Ferreira FA, Maffia LA, Barreto RW, Demuner NL, Pigatto S. Sintomatologia da murcha de *Ceratocystis fimbriata* em eucalipto. Revista Árvore, Viçosa, MG 30: 155-162, 2006.
9. Figueiredo MB. Doenças fúngicas emergentes em grandes culturas. O Biológico. São Paulo 63(01/02): 29-32, Jan-Dez, 2001.
10. Joffily J. Ferrugem do eucalipto. Bragantia, Campinas 4(8): 475-487, 1944.
11. Johnson R, Wichern D. Applied Multivariate Statistical Analysis. 6th Edition. Upper Side River, NJ. Pearson Prentice Hall, 2007.
12. Malavolta E, Trani PE, Athayde MF, Braga NR, Nogueira SS, Moraes SA. Nota sobre deficiência e toxidez de boro em espécies cultivadas do gênero *Eucalyptus*. Revista da Agricultura 53(4): 243-246, 1978.
13. Moraes SA. de. Quantificação de doenças de plantas. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_1/doencas/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/doencas/index.htm)>. Acesso em: 03/05/2011.
14. MORRISON, D.F. Multivariate Statistical Methods. 4th edition. New York, McGraw-Hill Book Company 2004.



15. Naue CR, Marques MW, Lima NB, Galvincto JD. Sensoriamento remoto como ferramenta aos estudos de doenças de plantas agrícolas: uma revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física* (03): 190-195. 2010.
16. Novo EM de M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo. Edgard Blucher. 1989. 308p.
17. Osorio D, Anderson JC. Measuring skin colour and spectral reflectance using an ordinary digital camera. 2007. Disponível em: <<http://www.chrometrics.com/>>
18. Rezende G. Eucalipto. Bracelpa – Associação Brasileira de celulose e papel. Disponível em:<< <http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/136>>> Acesso em dezembro de 2014.
19. Sankaran S, Ehsani R. Evaluation of visible-near infrared reflectance spectra of avocado leaves as a non-destructive tool for detection of laurel wilt. *Plant disease* 96(11): 1683- 1689, 2012.
20. Santos AF, Auer CG, Grigoletti Júnior A. Doenças do eucalipto no sul do Brasil: identificação e controle. Embrapa: Circular Técnica. Colombo, junho, 2001.
21. Santos Junior RF, Santos JM, Rudorff BFT, Marchiorato IA. Detecção de *Heterodera glycines* em plantios de soja mediante espectrorradiometria no visível e infravermelho próximo. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília 27: 355-360, 2002.
22. SAS. Sas software. Version 9.1. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc., 1999.
23. Silveira RLVA, Krugner TL, Silveira RI, Gonçalves AN. Efeito do boro na suscetibilidade de *Eucalyptus citriodora* a *Botryosphaeria ribis* e *Lasiodiplodia theobromae*. *Fitopatologia Brasileira* 21(4) 482-485, 1996.
24. Zamprogno KC, Furtado EL, Marino CL, Bonine CA, Dias DC. Utilização de análise de segregantes agrupados na identificação de marcadores ligados a genes que controlam a resistência à ferrugem (*Puccinia psidii* Winter) em *Eucalyptus* sp. *Summa Phytopathologica*, Botucatu 34(3) 253-255, 2008.
25. Zhang JC, Pu R, Wang J, Huang W, Yuan L, Luo J. Detecting powdery mildew of winter wheat using leaf level hyperspectral measurements. *Computers and Electronics in Agriculture*, 85: 13-23. 2012.

## CAPÍTULO 10

### MELHORAMENTO GENÉTICO VISANDO QUALIDADE DO GRÃO DE SOJA

Rafael Delmond Bueno  
Luiz Cláudio Costa Silva  
Thiago de Freitas Ferreira  
Arthur Bernardeli  
Newton Denis Piovesan  
Maximiller Dal-Bianco

#### 1. BREVE HISTÓRICO DO MELHORAMENTO GENÉTICO NO BRASIL

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é a mais importante leguminosa cultivada no mundo, sendo a principal *commodity* agrícola do Brasil. A expansão da cultura esta atrelada a diversos fatores, com destaque para a atuação dos melhoristas clássicos, somada ao advento da Biotecnologia e da Engenharia Genética, o que proporcionou significativas transformações no aumentando da produtividade, resistência a herbicidas, pragas e doenças, tornando a cultura rentável em diversos países. Atualmente, estima-se que a soja seja cultivada em 6% do total das terras aráveis do mundo, sendo que nos últimos anos a área cultivada com esta leguminosa vem aumentando devido a grande demanda no mercado nacional e internacional (HARTMAN et al., 2011).

O primeiro grande desafio dos melhoristas na criação de genótipos adaptados às condições brasileiras foi o desenvolvimento de cultivares com período juvenil longo, o que proporcionou o cultivo rentável da cultura nas condições edafoclimáticas brasileiras, pois até então, os genótipos introduzidos no Brasil eram provenientes dos Estados Unidos da América, China e Japão, tendo estes genótipos características de cultivo em condições de dias longos, o que não permitia uma produção economicamente viável no país.

Posteriormente, a introdução de genótipos com grande variedade de características agronômicas facilitou o desenvolvimento de plantas com maior capacidade produtiva para às condições brasileiras, com destaque para a diversificação do banco de germoplasma, os quais apresentavam diferentes características: altura das plantas, número de vagens por ramificação, número de grãos por ramificação, número de grãos por vagem e tamanho e peso dos grãos. De forma semelhante, as diferentes características ecológicas do material introduzido permitiram aos melhoristas desenvolver genótipos com potencial para cultivo em diferentes ecossistemas, o que possibilitou a migração do cultivo da soja para diferentes regiões brasileiras, permitindo assim, o desenvolvimento de variedades adaptadas à diferentes condições edafoclimáticas, pois até então a cultura restringia-se ao Estado do Rio Grande do Sul.

Um dos principais fatores responsáveis para a disseminação do cultivo da soja no Brasil foi a consolidação dos programas de melhoramento genético, sendo fundamental a integração das técnicas do Melhoramento Convencional, tais como; cruzamento, seleção e Genética Quantitativa, com as modernas tecnologias derivadas da Biologia Molecular e das aplicações da Informática ao melhoramento, com destaque para a aplicação de tecnologias como o uso de marcadores moleculares, os quais desempenharam papel importante na seleção de genótipos favoráveis.

A partir do final de 1968, houve uma série de iniciativas pelo desenvolvimento de programas intensivos de melhoramento genético visando a criação de novas e melhores cultivares, com destaque para a criação de equipes multidisciplinares para investigar diversos aspectos edafoclimáticos relacionados à cultura. Isto resultou na seleção e desenvolvimento de inúmeras cultivares a partir de hibridação, o que permitiu que a cultura ocupasse posição de destaque no agronegócio brasileiro com a expansão da lavoura para os estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás (ALLIPRANDINI et al.,1993). Posteriormente, a redução do custo da produção e do impacto ambiental proporcionado pela seleção de estirpes de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico ajudou a expandir ainda mais a cultura pelo país. De fato, dados do Instituto Brasileiro

de Geografia e Estatística (IBGE) indicam que a área cultivada por soja e conseqüentemente a produção tem aumentado nos últimos anos. Para o ano agrícola de 2017, estima-se um aumento de 1,4% da área cultivada, o que indica que a área total de cultivo da soja deve chegar a 33,7 milhões de hectares no país. Na produção, estima-se um crescimento de 15,4%, podendo atingir 110,2 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 14,7 milhões de toneladas em relação à safra anterior (CONAB, 2017).

Atualmente, o Brasil é considerado um país com forte sistema nacional de pesquisa agrícola e com um processo de melhoramento da soja contínuo e dinâmico, visando sempre o desenvolvimento de variedades mais produtivas, resistentes a estresses e melhor adaptadas às diferentes regiões e sistemas de cultivo, o que foi determinante para o aumento da média de rendimento da soja de 1.250 kg/ha, no início da década de 1970 para os atuais 3.000 kg/ha. No entanto, a busca por plantas de soja cada vez mais produtivas tem influenciado negativamente no teor de proteína e óleo do grão, sendo um grande desafio para os programas de melhoramento genético nos próximos anos reverter esta situação.

## 2. MELHORAMENTO GENÉTICO PARA MELHOR COMPOSIÇÃO DO ÓLEO

A fração óleo corresponde por cerca de 20% do grão de soja, sendo, juntamente com proteína, um de seus principais componentes. O óleo de soja ocupa o posto de segundo óleo vegetal mais consumido no mundo, correspondendo por quase um terço do mercado mundial (USDA, 2017). Em 2016 o Brasil produziu cerca de 7,88 milhões de toneladas de óleo de soja, das quais 83,45% foram consumidas internamente (ABIOVE, 2017a). Conhecido principalmente por sua utilização como óleo de cozinha, o óleo de soja é processado no Brasil em três produtos básicos: óleo refinado comercial, óleo refinado para fins não alimentícios e lecitina, superando a marca de 80% do mercado de óleos vegetais utilizados na indústria alimentícia (AGROLINK - <https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/comercializacao.aspx>). Atualmente, a demanda de óleo de soja para a produção de

biodiesel – um combustível biodegradável e renovável com baixo impacto ambiental – tem apresentado importância crescente no mercado brasileiro, sendo a principal matéria prima para sua produção (cerca de 76,57% em 2016; ABIOVE, 2017b). A produção nacional de biodiesel passou de 1,17 milhões de metros cúbicos em 2008 para 3,81 milhões de metros cúbicos em 2016 (crescimento de 226,5%). Esse aumento significativo está diretamente relacionado com a Lei nº 13.263 de 23 de março de 2016, que estabelece que todo o óleo diesel comercializado no Brasil deve apresentar 8% de biodiesel a partir de 23 de março de 2017, valor que deve alcançar 10% em 2019 (BRASIL, 2016).

O óleo de soja apresenta como característica marcante altos teores de ácidos graxos poli-insaturados (55-60% de ácido linoleico e 7-10% de ácido linolênico) e menores teores de ácidos graxos monoinsaturados (20-25% de ácido oleico) e saturados (10-13% de ácido palmítico e 3-4% de ácido esteárico). Esta composição rica em ácidos graxos poli-insaturados confere ao óleo de soja alta susceptibilidade à degradação oxidativa, o que pode levar à rancificação do óleo, fenômeno responsável por alterar seu sabor e odor, diminuindo sua aceitação e tempo de armazenamento. A peroxidação destes ácidos graxos é acelerada pela ação das lipoxigenases, enzimas que estão presentes no grão de soja na forma de três isoenzimas (LOX1, LOX2 e LOX3).

Para reduzir os teores de ácidos graxos poli-insaturados e aumentar o teor de ácido oleico, o óleo de soja é submetido ao processo de hidrogenação química. Entretanto, este processo conduz à formação de gorduras *trans*, moléculas cujo consumo está associado ao aumento de diabetes e doenças coronárias. Neste sentido, o melhoramento genético da soja para aumentar o teor de ácido oleico e reduzir os teores dos ácidos linoleico e linolênico é uma alternativa interessante para produzir óleo de soja com maior estabilidade oxidativa e qualidade nutricional.

O acúmulo de ácidos graxos poli-insaturados no grão de soja é considerado uma característica quantitativa, controlada por muitos genes, geralmente apresentando apenas efeito aditivo, sem a presença significativa de efeito de dominância. Apesar disso, herança simples tem sido constatada em cruzamentos envolvendo linhagens com teores modificados de ácidos graxos, devido ao

efeito de genes de grande efeito sobre a característica. A biossíntese destes ácidos graxos envolve as enzimas ácido graxo dessaturases (no inglês, *fatty acid desaturases* – FAD), que introduzem uma ligação dupla em posições específicas das cadeias carbônicas dos ácidos graxos. Os genes FAD2 codificam para as  $\omega$ -6 dessaturases, enzimas que convertem ácido oleico em linoleico. Destes, os genes GmFAD2-1A e GmFAD2-1B são expressos principalmente em sementes em desenvolvimento, controlando os níveis de ácido oleico e ácido linoleico no grão de soja (HEPPARD et al., 1996). De modo similar, os genes FAD3 codificam para as  $\omega$ -3 dessaturases, que convertem ácido linoleico em ácido linolênico. Os genes GmFAD3A, GmFAD3B e GmFAD3C são expressos em vários tecidos da planta de soja, inclusive em sementes em desenvolvimento, estando associados com o acúmulo de ácido linolênico no grão de soja (BILYEU et al., 2003). Dentre eles, o gene GmFAD3A apresenta maior efeito sobre a característica.

O estudo dos genes FAD2 e FAD3 em acessos de soja com alterações na composição do óleo tem possibilitado a caracterização de mutações associadas com aumento no teor de ácido oleico e redução dos teores dos ácidos linoleico e linolênico (BILYEU et al., 2005, PHAM et al., 2011, SILVA, 2017). As estratégias para a caracterização destas mutações geralmente envolvem sequenciamento de DNA, análises *in silico*, bioquímicas e genéticas em linhagens e populações segregantes para os teores de ácidos graxos insaturados e poli-insaturados. Após a identificação de uma linhagem com uma característica diferenciada (como maior teor de ácido oleico e/ou menor teor dos ácidos linoleico e linolênico), é realizado o sequenciamento dos genes envolvidos no controle da característica. A análise das sequências geradas pode levar à identificação de mutações promissoras para explicar a variação no fenótipo. Estas mutações são analisadas quanto a possível interferência nos processos de transcrição, tradução e regulação dos genes FAD2 e FAD3. Mutações em regiões de éxon e sítios de *splicing* podem causar alterações na cadeia peptídica das enzimas, como adição, remoção ou substituição de aminoácidos, alteração no quadro de leitura e formação de códon de parada prematuro. Estas alterações podem levar a mudanças na estrutura das enzimas e perda de suas funções.

Para confirmar a associação entre uma mutação identificada e a característica em estudo, uma das estratégias mais utilizadas é o estudo desta mutação em populações estruturadas, geralmente populações segregantes  $F_2$  ou de linhagens endogâmicas recombinantes (RILs - *Recombinant Inbred Lines*), geradas a partir do cruzamento entre um acesso com a composição do óleo diferenciada e outro acesso com composição normal. Após análise do perfil de ácidos graxos e genotipagem dos indivíduos da população, uma análise de regressão linear pode confirmar a existência de associação entre a mutação e a característica.

Outra possibilidade é análise da atividade da enzima codificada pelo gene mutante através de expressão heteróloga. Esta técnica consiste na expressão de um gene ou parte de um gene em um organismo hospedeiro, que geralmente não os possui. Para a análise da atividade das dessaturases, geralmente se utilizam leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae*, que não produzem ácidos graxos poli-insaturados em condições normais, por não possuírem as enzimas  $\omega$ -6 e  $\omega$ -3 dessaturases. Após a clonagem do gene contendo a mutação identificada em um vetor compatível, bem como de um gene contendo alelo do tipo selvagem (sem a mutação), os vetores são transformados em colônias de *S. cerevisiae*, as quais serão analisadas quanto ao seu perfil de ácidos graxos. Caso as colônias transformadas com o alelo selvagem sejam capazes de produzir ácidos graxos poli-insaturados, mas aquelas transformadas com o gene contendo a mutação não sejam, pode-se concluir que o alelo contendo a mutação produz uma enzima não funcional (GACHOTTE et al., 1995; SILVA, 2017).

O mapeamento de *locus* de características quantitativas (QTLs - *Quantitative Trait Loci*), estratégia que vem sendo utilizada há muito tempo por geneticistas e melhoristas, trabalha com o conceito de desequilíbrio de ligação entre um marcador e o QTL controlando a característica. Quanto maior a proximidade do marcador com o QTL, menor a probabilidade de segregação entre eles, ainda que esta exista. A identificação de mutações causais, direcionando para o aumento do teor de ácido oleico e redução do teor dos ácidos linoleico e linolênico permite o desenvolvimento de marcadores moleculares que não irão segregar com a característica, sendo de grande importância para programas de melhoramento

visando o desenvolvimento de variedades de soja com maior qualidade do óleo.

Mutações causais nos genes GmFAD2-1A, GmFAD2-1B, GmFAD3A, GmFA3B e GmFAD3C têm sido caracterizadas em vários trabalhos (BILYEU et al., 2005, PHAM et al., 2011, 2013, REINPRECHT et al., 2016, Silva, 2017). A combinação de mutações presentes nos genes GmFAD3A, GmFAD3B e GmFAD3C levou ao desenvolvimento da primeira linhagem de soja com cerca de 1% de ácido linolênico, o menor valor já encontrado para esta característica (ROSS et al., 2000). Por outro lado, a combinação de mutações nos genes GmFAD2-1A e GmFAD2-1B possibilitou o desenvolvimento de linhagem de soja com mais de 80% de ácido oleico, além de reduzir os teores dos ácidos linoleico e linolênico para valores abaixo de 5% (PHAM et al., 2010, 2011). Por fim, a combinação de mutações entre os genes GmFAD2-1A, GmFAD2-1B, GmFAD3A e GmFAD3C produziu soja com cerca de 85% de ácido oleico, 3% de ácido linoleico e 1,5% de ácido linolênico, gerando um óleo com composição comparável ao azeite de oliva, considerado o óleo vegetal mais saudável existente. Deste modo, o desenvolvimento de variedades de soja produzindo óleo com alto teor de ácido oleico e baixo teor de ácidos graxos poli-insaturados apresenta boas aplicações para a indústria, podendo ser utilizado como uma alternativa mais barata e igualmente funcional ao azeite de oliva (PHAM et al., 2012).

Dentro deste contexto, o programa de melhoramento da qualidade da soja (PMQS/BIOAGRO/UFV) tem como um de seus objetivos o desenvolvimento de variedades de soja com óleo de maior estabilidade e qualidade nutricional, como uma alternativa tanto para a indústria de biocombustíveis quanto para a alimentação humana. Visando o desenvolvimento de variedades de soja com óleo de maior qualidade, nós estabelecemos programas de retrocruzamentos assistidos por marcadores (RAM), utilizando mutações caracterizadas em estudos anteriores (BILYEU et al., 2005, PHAM et al., 2010, 2011, 2013) e uma mutação caracterizada no gene GmFAD3A da variedade CS303TNKCA, desenvolvida por nosso programa, e que apresenta cerca 3,5-4% de ácido linolênico e ausência das três lipoxigenases (SILVA, 2017). O método dos retrocruzamentos é utilizado para a transferência de um ou poucos



genes de um genitor doador para um genitor recorrente, que geralmente é um cultivar ou material elite de grande interesse, possibilitando o desenvolvimento de uma nova planta, semelhante ao genitor recorrente na maioria das características, mas portando o fenótipo melhorado para a característica alvo (MONTÁLVAN e DESTRO, 1999). Após a realização de cruzamentos entre os genitores doadores e recorrentes, as sementes  $F_1$  são colhidas, plantadas em vasos e identificadas individualmente. Amostras foliares são coletadas de cada planta após o desenvolvimento do primeiro trifólio, as quais são utilizadas para extração de DNA genômico a ser utilizado para as análises genéticas. As plantas que se mostrarem heterozigotas para os genes alvo são selecionadas para serem retrocruzadas com os genitores recorrentes, produzindo sementes  $RC_1F_1$ . A partir deste ponto, o procedimento se repete até a realização de pelo menos quatro gerações de retrocruzamentos, para se garantir uma boa recuperação do genoma do genitor recorrente. Por fim, as sementes geradas são plantadas para produção de uma população  $RC_nF_2$ , de onde serão selecionadas plantas homozigotas para o(s) gene(s) alvo. Estas plantas serão colhidas, produzindo linhagens que serão multiplicadas e avaliadas para seu desempenho agrônomo, visando ao desenvolvimento de novas variedades de soja, com maior qualidade e estabilidade do óleo. O desenvolvimento de soja com óleo de maior estabilidade e qualidade é de grande importância para atender a um mercado que demanda cada vez mais alimentos nutritivos e saudáveis, assim como atender a demanda por matéria prima de maior estabilidade para a produção de biodiesel.

### 3. MELHORAMENTO GENÉTICO DA SOJA PARA O AUMENTO DO TEOR DE PROTEÍNA

O melhoramento da soja no Brasil tem sido um processo contínuo e dinâmico empenhado a resolver problemas genéticos reais ou potenciais objetivando o desenvolvimento de variedades mais produtivas, resistentes a pragas e doenças, de melhor qualidade nutricional, mais estáveis e melhores adaptadas às

diferentes regiões e sistemas de cultivo. Diversos programas de melhoramento genético foram essenciais para atender a esta demanda, contudo, nos últimos anos têm sido frequentes os questionamentos sobre a redução do teor de proteína nas novas cultivares de soja. Isso é reflexo do passado, pois os principais objetivos dos programas de melhoramento de soja priorizaram produtividade e teor de óleo, o que reduziu a variabilidade e estreitou a base genética para teor de proteína nas atuais populações melhoradas, agravado pelo fato de existir uma correlação negativa elevada entre teor de óleo e proteína. Nos dias atuais existe uma crescente procura por tipos especiais de soja que agreguem em suas sementes uma composição mais adequada a determinados usos. Se para o produtor de soja o valor de uma variedade ou cultivar é dado pela produção e produtividade final, para a indústria de esmagamento e de beneficiamento este valor é determinado principalmente pelas concentrações de óleo e proteína nos grãos.

O farelo proteico resultante da extração do óleo é o principal produto de uma unidade de esmagamento de soja e o teor de proteína é a característica principal para determinação de sua qualidade e valor. O aumento nessas concentrações agrega valor ao grão e garante uma maior competitividade da soja no mercado mundial, pois empresas exportadoras de farelo de soja tem reduzido o preço pago pelos grãos oriundos das variedades que possuem baixos teores de proteína. No caso do farelo, que é responsável pelo maior valor de exportações no segmento, o que influencia fortemente os preços é a classificação nos padrões de qualidade, onde: "normal" deve conter um mínimo de 46% de proteína, "LowPro" deve conter um mínimo de 43% sofrendo um deságio no preço e "HyPro" com no mínimo 48%, ganhando ágio em relação ao preço da classificação "normal". Para atingir o índice classificado como Normal e HyPro, a soja deve conter acima de 41,5 e 43% de proteína nas sementes, respectivamente, com base na matéria seca (MORAES et al, 2006).

Um dos caminhos para se reverter esse quadro é o desenvolvimento de cultivares mais eficientes na síntese de proteína sem reduzir o potencial de produtividade das mesmas. Portanto, torna-se necessário que sejam desenvolvidas cultivares

com essas características, pois a obtenção do farelo "HyPro" interessa também pelo valor que agrega. O declínio dos valores de proteína no farelo tem sido muito rápido nos últimos anos e a substituição de cultivares deve ser suficientemente veloz para conter e, se possível, reverter esta tendência. Até a década de 90, o Brasil produzia farelo de soja com 46 % de proteínas e hoje a média está em 37 %. Neste mesmo período, a média de rendimento nacional da soja subiu de 1.250 kg/ha, no início da década de 1970 para os atuais 3.000 kg/ha.

Programas de incentivo ainda não são amplamente implementados no Brasil, mas a queda na concentração de proteína, principalmente associado ao melhoramento visando o aumento da produtividade, já está começando a cobrar o preço dos produtores. Se a concentração de proteína no farelo não atingem os valores contratuais, a carga pode ser devolvida ou sofrer deságio. Em algum momento, iremos visualizar no Brasil o que acontece nos EUA: prêmios em torno de US\$ 1,20 a 4,00 por saca, pagos ao produtor americano que busca maior qualidade dos grãos (EMBRAPA SOJA, 2015).

É de interesse dos programas de melhoramento genético da soja, que as novas variedades a serem lançadas possuam uma máxima produtividade com um adequado balanço dos teores de óleo e proteína de acordo com as exigências do mercado. Para que este objetivo seja alcançado é necessário um profundo conhecimento da magnitude da variância genética das características agronômicas e de qualidade a serem melhoradas, principalmente produtividade, teor de óleo e proteína, bem como a de seus componentes, como estimativas de herdabilidades e de correlações. Este conhecimento possibilita a avaliação da potencialidade da população para o melhoramento e facilitam as decisões de escolha do método de seleção mais eficiente a ser empregado. Disso depende, a escolha acertada dos genitores e do método de melhoramento mais eficiente (VERNETTI, 1983).

Concentração de proteína pode ter correlação genética negativa com produtividade e concentração de óleo (KWON e TORRIE, 1964), e este fato pode dificultar a obtenção de cultivares com porcentagem de proteína satisfatória. Além disso, o controle genético de produtividade e concentração de proteína apresenta

baixa herdabilidade, envolvem muitos *loci* de características quantitativas (QTL's - *Quantitative Trait Locus*) e tem interação significativa com o ambiente. Por esse motivo, torna-se indispensável um melhor entendimento sobre o controle genético destas características, para o desenvolvimento de procedimentos mais eficientes de melhoramento. Com o propósito de atender a esses objetivos, a utilização de metodologias clássicas de melhoramento e da Genética Quantitativa, tais como a teoria do índice de seleção e da seleção combinada, pode ser associada com as novas ferramentas da Genética Molecular, como o mapeamento de QTL's, a seleção assistida por marcadores (SAM), além da análise estatística adequada e softwares robustos para análise dos dados.

O mapeamento de QTL's possibilita mensurar o número de *loci* quantitativos envolvidos na herança complexa, bem como suas localizações cromossômicas, modo de ação gênica, além de possibilitar a decomposição da interação genótipos por ambientes ao nível de cada QTL. A SAM baseia-se no princípio de que se um gene, ou um bloco de genes, encontra-se ligado a um marcador genético de fácil identificação, então, esse marcador pode ser usado para selecionar a característica de interesse em um programa de melhoramento. Uma vez detectados os marcadores ligados a uma determinada característica de interesse, é possível selecionar os indivíduos com base no fenótipo do marcador, sem que haja a necessidade de avaliar o fenótipo da característica. Para que a SAM seja eficiente, é necessário inicialmente que se disponha de QTL's que no conjunto expliquem grande parte da variação fenotípica da característica. Para atingir tal objetivo deve-se priorizar a saturação do genoma pelos marcadores e considerar ainda o tamanho e o tipo da população utilizada, o marcador empregado, o efeito do ambiente, os genótipos parentais, além da metodologia para detecção dos QTL's.

Em soja, vários estudos têm mapeados *loci* de características quantitativas (QTLs) determinantes na concentração de proteína (DIERS, KEIM et al., 1992; SEBOLT, SHOEMAKER et al., 2000; TAJJUDIN, WATANABE et al., 2003; NICHOLS, GLOVER et al., 2006). Ao todo, mais de 140 QTLs relacionados com a concentração de proteína em soja foram relatados e estão disponíveis no banco de dados Soybase (<http://www.soybase.org/>). Estes QTLs estendem

a quase todos os 20 cromossomos do genoma da soja. No entanto, a maioria foi mapeada no cromossomo 20 (Grupo de Ligação- GL I) a partir de várias fontes, incluindo soja selvagem (PANDURANGAN e PAJAK et al., 2012). Além disso, o particular interesse desses QTLs associados à concentração de proteína no GL I se deve ao grande efeito aditivo, além da detecção consistente em diferentes populações de mapeamento cultivadas em vários ambientes (DIERS e KEIM et al., 1992; SEBOLT e SHOEMAKER et al., 2000; CSANADI e VOLLMANN et al., 2001; NICHOLS e GLOVER et al., 2006; QI e HOU et al., 2014).

Zhang et al. (2015) demonstraram em seu trabalho uma abordagem prática da seleção assistida por marcadores com objetivo do aumento de proteína em soja ao realizar um estudo de associação em duas populações oriundas de quatro diferentes genitores, que possuíam concentração de proteína entre 35,35-44,43%. Em uma primeira etapa, obtiveram linhagens endogâmicas recombinantes (RILs- Recombinant Inbred Lines) pelo método de descendente de única semente (SSD – Single Seed Descendant), de onde extraíram uma linhagem com elevada concentração de proteína de cada população. Tais linhagens tinham diferentes QTLs de efeito expressivo para o caráter, isto é, eram divergentes quanto às distribuições alélicas que regem a alta concentração de proteína, o que justificaria uma nova hibridação. Em uma segunda etapa, utilizaram-nas como genitores e, ao final, foram observadas progênies transgressivas, as quais apresentaram valores fenotípicos para conteúdo total de proteína acima dos limites de seus quatro genitores iniciais, em uma faixa de 8,22-9,32%. Estudos com germoplasma convencional, incluindo retrocruzamento assistido por marcadores moleculares para aumento da concentração de proteína e outros similares ao de Zhang et al. (2015), são administrados no PMQS. Em nossas pesquisas, já se observa populações  $F_2$  resultantes de combinações entre progenitores contrastantes para concentração de proteína, com progênies de valor fenotípico para concentração de proteína superior a 49 %.

O aumento na concentração de proteína para esta espécie se tornou um grande desafio do melhoramento nos últimos anos. Portanto, a SAM em sincronia com a coleta de dados fenotípicos oriundos de bons experimentos são precursores estratégicos para se

obter êxito em um programa com objetivo de elevar o percentual proteico do grão de soja. Não menos importante, a produtividade satisfatória e mérito agrônômico em campo de uma cultivar com alta concentração de proteína é indispensável para a viabilidade da atividade que possui um horizonte de negócio sólido, por existirem mercados de demanda crescente, segmentados e específicos que requerem soja de elevado teor proteico.

O recente avanço nas tecnologias de sequenciamento em larga escala permitiu a identificação de um grande número de *SNPs* (*Single Nucleotide Polimorphism*) espalhadas por todos os cromossomos da soja. Os melhoristas visualizaram a utilidade destas *SNPs* e passaram a utilizá-las como marcadores moleculares. A principal razão foi o grande número de marcas espalhados por todo o genoma causando saturação das regiões alvos e possibilitando um ajuste fino dos mapas genéticos de ligação. Além disto, o desenvolvimento de Estudos de Associação Genômica Ampla (GWAS - Genome-Wide Association Studies) possibilitou em diferentes organismos identificar novas marcas associadas à características quantitativas em estudos mais poderosos e rápidos do que anteriormente, sendo uma importante ferramenta em qualquer programa de cruzamentos moderno. No entanto, apesar da melhoria ao longo dos anos, as tecnologias disponíveis ainda não resolveram todo o problema, e heranças quantitativas complexas como o teor de proteína ainda precisam de estudos para desvendar o mecanismo da herança e acelerar os programas de melhoramento futuros.

#### 4. CONCLUSÕES

O programa de melhoramento da qualidade da soja (PMQS) foi criado em 1986 e desde então exerce atividades na geração de conhecimento, recursos humanos e liberação de variedades dentro do melhoramento genético da soja brasileira. O PMQS/BIOAGRO/UFV vem desenvolvendo variedades de soja com óleo de maior estabilidade e qualidade nutricional, como uma alternativa tanto para a indústria de biocombustíveis quanto para a alimentação humana. Para isto, nós estabelecemos programas de

retrocruzamentos assistidos por marcadores (RAM), utilizando mutações caracterizadas em estudos anteriores (BILYEU et al., 2005, PHAM et al., 2010, 2011, 2013) e uma mutação caracterizada no gene GmFAD3A da variedade CS303TNKCA, desenvolvida por nosso programa, e que apresenta cerca 3,5-4% de ácido linolênico e ausência das 3 três lipoxigenases (SILVA, 2017). O desenvolvimento de soja com óleo de maior estabilidade e qualidade é de grande importância para atender a um mercado que demanda cada vez mais alimentos nutritivos e saudáveis, assim como atender a demanda por matéria prima de maior estabilidade para a produção de biodiesel.

Em paralelo a melhoria do percentual de proteína, o PMQS-BIOAGRO-UFV vem desenvolvendo variedades de soja produtivas e com a alta concentração de proteína no grão (acima de 44%). Com essa porcentagem será possível produzir um concentrado proteico com aproximadamente 70%. Para isso, o PMQS possui um rico germoplasma, com ampla variedade genética e tem integrado o melhoramento genético clássico com a genética molecular, seleção assistida por marcadores moleculares e dados de estudos de associação genômica ampla. O Brasil já está consolidado como um país forte na sojicultura, e isto permitiu aumentar no decorrer dos anos a produtividade média nacional. No entanto, em nosso programa de melhoramento estamos tentando corrigir um erro que nunca foi levado em consideração: a seleção de variedades produtivas integrado com o alto teor proteico para evitar problemas na cadeia de produção da soja no futuro.

## 5. REFERÊNCIAS

- ABIOVEa – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS. Brasil – Complexo Soja. Junho, 2017. Disponível em: <<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=>> Acesso em 01/08/2017.
- ABIOVEb - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS. Brasil – Biodiesel. Julho, 2017. Disponível em: <<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=>> Acesso em 04/08/2017.
- Alliprandini, LF, Toledo, JFF, Fonseca, JRNS, Kiihl, RAS, Almeida, LA. Ganho Genético em Soja no Estado do Paraná, via Melhoramento no período de 1985/86 a 1989/90. EMBRAPA 28: 487-490, 1993.
- Bilyeu KD, Palavalli L, Sleper DA, Beuselinck PR. Three microsomal omega-3 fatty-acid desaturase genes contribute to soybean linolenic acid levels. *Crop Science* 43(5): 1833-1838, 2003.
- Bilyeu KD, Palavalli L, Sleper DA, Beuselinck PR. Mutations in soybean microsomal omega-3 fatty acid desaturase genes reduce linolenic acid concentration in soybean seeds. *Crop Science* 45(5): 1830-1836, 2005.
- Brasil. Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016.
- CONAB (2017). 11º Levantamento da Safra 2016/17." [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_08\\_10\\_11\\_27\\_12\\_boletim\\_graos\\_agosto\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_08_10_11_27_12_boletim_graos_agosto_2017.pdf).
- Csanadi, G., J. Vollmann, et al. (2001). "Seed quality QTL identified in a molecular map of early maturing soybean." *Theor. Appl. Genet.* 103(6-7): 912-919.
- Diers, B. W., P. Keim, et al. (1992). "RFLP analysis of soybean seed protein and oil content." *Theor Appl Genet* 83(5): 608-612.
- Embrapa\_Soja. (2015). "Soja sofre redução no teor de proteína ao longo do tempo" 2016
- Gachotte D, Meens R, Benveniste P. An Arabidopsis mutant deficient in sterol biosynthesis: heterologous complementation by ERG 3 encoding a  $\Delta 7$ -sterol-C-5-desaturase from yeast. *The Plant Journal* 8(3): 407-416, 1995.
- Hartman, GL, West, ED, Herman, TK. Crops that feed the World 2. Soybean worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Security* 3: 5-17, 2011.
- Heppard EP, Kinney AJ, Stecca KL, MIAO GH. Developmental and growth temperature regulation of two different microsomal [omega]-6 desaturase genes in soybeans. *Plant Physiology* 110(1): 311-319, 1996.
- Kwon, SH; Torrie, JH, Heritability and interrelationships among traits of two soybean populations. *Crop Science*, v. 4, p.196-198, 1964.



- Moraes, RM de et al. Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, n.5, p.725-729. Brasília-DF, maio de 2006.
- Montalván R, Destro D. Método dos retrocruzamentos. In: Destro D, Montalván R. Melhoramento genético de plantas. Universidade Estadual de Londrina. 749p. Londrina-PR, 1999.
- Nichols, D. M., K. D. Glover, et al. (2006). "Fine mapping of a seed protein QTL on soybean linkage group I and its correlated effects on agronomic traits." *Crop Science* 46: 834-839.
- Pham AT, Lee JD, Shannon JG, Bilyeu KD. Mutant alleles of FAD2-1A and FAD2-1B combine to produce soybeans with the high oleic acid seed oil trait. *BMC plant biology* 10(1), 195, 2010.
- Pham AT, Lee JD, Shannon JG, Bilyeu KD. A novel FAD2-1 A allele in a soybean plant introduction offers an alternate means to produce soybean seed oil with 85% oleic acid content. *Theoretical and Applied Genetics* 123(5): 793-802, 2011.
- Pham AT, Shannon JG, Bilyeu KD. Combinations of mutant FAD2 and FAD3 genes to produce high oleic acid and low linolenic acid soybean oil. *Theoretical and applied genetics* 125(3), 503-515, 2012.
- Pham AT, Bilyeu KD, Chen P, Boerma HR, Li Z. Characterization of the fan1 locus in soybean line A5 and development of molecular assays for high-throughput genotyping of FAD3 genes. *Molecular breeding* 33(4): 895-907, 2013.
- Reinprecht Y, Pauls KP. Microsomal Omega-3 Fatty Acid Desaturase Genes in Low Linolenic Acid Soybean Line RG10 and Validation of Major Linolenic Acid QTL. *Frontiers in genetics* 7, 2016.
- Qi, Z., M. Hou, et al. (2014). "Identification of quantitative trait loci (QTLs) for seed protein concentration in soybean and analysis for additive effects and epistatic effects of QTLs under multiple environments." *Plant Breeding* 133(4): 499-507.
- Ross AJ, Fehr WR, Welke GA, Cianzio SR. Agronomic and seed traits of 1%-linolenate soybean genotypes. *Crop science* 40(2), 383-386, 2000.
- Sebolt, A. M., R. C. Shoemaker, et al. (2000). "Analysis of a quantitative trait locus allele from wild soybean that increases seed protein." *Crop Science*: 1438-1444
- Silva LCC. Caracterização molecular de alelos associados à qualidade do grão de soja. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa. 117p. Viçosa-MG, 2017.
- Tajjudin, T., S. Watanabe, et al. (2003). "Analysis of quantitative trait loci for protein and lipid contents in soybean seeds using recombinant inbred lines." *Breeding Science* 55: 133-140.

Usda – US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Table 47. World vegetable oils supply and distribution. Disponível em: <<https://www.ers.usda.gov/data-products/oil-crops-yearbook.aspx>> Acesso em 01/08/2017.

Verneti, F.J. Origem da espécie, introdução e disseminação no Brasil. In: Verneti, F.J. (Ed.) Soja: genética e melhoramento. Campinas.

Zhang, YH et al. Marker-assisted breeding for transgressive seed protein content in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Theoretical And Applied Genetics*, v. 128, n. 6, p.1061-1072, 10 mar. 2015.





Patrocínio Premium



# CREA-ES

Conselho Regional de Engenharia e  
Agronomia do Espírito Santo

Patrocínio Prata



## NAANDANJAIN

A **JAIN IRRIGATION** COMPANY

Apoio



Realização



Universidade Federal  
do Espírito Santo

