

## Coleta, conservação, melhoramento e recomendação de uso de recursos genéticos visando às mudanças do clima

Patricia Menezes Santos<sup>1</sup>; Alessandra Pereira Fávero<sup>1</sup>; José Ricardo Macedo Pezzopane<sup>1</sup>; Bianca Baccili Zanotto Vigna<sup>1</sup>; Juliana Erika de Carvalho Teixeira Yassitepe<sup>2,3</sup>.

1 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Pecuária Sudeste, 2 Unidade Mista de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (UMiP GenClima), 3 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Informática Agropecuária

Em uma escala global, as mudanças do clima são caracterizadas pelo aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, pelo aumento da temperatura e maior ocorrência de eventos extremos de chuva, com consequências sobre a disponibilidade de água no solo. Esses fatores e suas interações afetam o crescimento e desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade das culturas agrícolas e da pecuária.

Atualmente, a alimentação da população mundial se baseia em um reduzido número de espécies cultivadas, como arroz, milho, batata e trigo. Tal dependência de tão poucos cultivos e, dentro de cada um deles, a base genética das cultivares lançadas no mercado ser estreita são características que tornam todo o sistema agroalimentar vulnerável. Caso haja algum estresse biótico ou abiótico, pode ocorrer a queda de produção em proporções significativas. Isso já aconteceu algumas vezes na história, como a grande fome de 1846 a 1849 na Irlanda, onde aproximadamente 25% da população morreu de fome pelo surgimento de uma doença da batata provocada por um fungo chamado *Phytophthora infestans*, que praticamente dizimou as lavouras daquele país. Para fatores de estresses abióticos, como pode ser observado em estudos com mudanças climáticas, não é diferente. As consequências podem ser drásticas, caso não se tenha novos materiais genéticos adaptados a essas condições. A diversificação de cultivos protege todo o sistema produtivo e o consumidor, enriquece a qualidade da dieta humana e reconhece a cultura alimentar associada às tradições dos países e povos.

Para que se tenha êxito no lançamento de novas cultivares no mercado, estudos com foco em avaliação de recursos genéticos para a adaptação de sistemas de produção agropecuária às mudanças climáticas precisam levar em consideração as seguintes linhas de pesquisa: coleta, introdução e conservação de germoplasma; domesticação de espécies; caracterização e avaliação de genótipos, biotecnologia, melhoramento genético e desenvolvimento de novas cultivares; e recomendações de uso e de práticas de manejo dos novos cultivares. Além disso, é preciso garantir que os produtores tenham acesso ao novo material e às recomendações técnicas para o cultivo adequado.

A ampliação da base genética para as características de interesse nas coleções de germoplasma é o primeiro passo para garantir o sucesso na seleção de genótipos desejados. Existem diferentes formas para que se amplie essa base genética: coleta de germoplasma em áreas onde as plantas já estão adaptadas às condições de estresse climático, sejam elas espécies silvestres parentes da espécie cultivada alvo do programa de melhoramento genético ou variedades cultivadas por produtores rurais locais, e introdução de material genético vindo de outras coleções, nacionais ou internacionais, já caracterizado ou não. Por isso, a manutenção de genótipos em bancos de germoplasma institucionais é fundamental para garantir que materiais genéticos de valor real ou potencial possam estar devidamente conservados para seu uso imediato ou futuro. A coleta e introdução de materiais adaptados a estresses abióticos e sua eficiente conservação e documentação é fundamental para disponibilizar aos programas de melhoramento, alelos exóticos àqueles já encontrados nas coleções dos melhoristas.

Isso também busca assegurar que esses materiais não sejam extintos por situações como surgimento de novas cidades ou plantios nos locais das populações vegetais nativas.

Plantas adaptadas a locais encharcados como o Pantanal podem ter desenvolvido estruturas como aerênquimas que permitem trocas gasosas mais eficientes. Plantas de ciclo curto encontradas em locais com estação de chuvas muito curta podem ter mecanismos de crescimento e frutificação muito rápidos e eficientes para concluir rapidamente seu ciclo vegetativo. Locais com baixo índice pluviométrico podem abrigar plantas adaptadas com sistema radicular profundo para alcançar grande área de solo e, conseqüentemente, maior chance de captação de água, ou com folhas pequenas e espinhos para redução da transpiração. Tais características são compostas por um conjunto de alelos interessantes que devem fazer parte da coleção do melhorista. Sendo esse material levado para a coleção, este pode ser testado em diferentes condições ambientais, cruzado com materiais mais produtivos e promissores e as melhores progênies podem ser selecionadas como mais adaptadas às condições climáticas nas quais foram testadas.

Já a domesticação de novas espécies pode contribuir para diversificar a dieta das pessoas. Espécies ainda consideradas silvestres muitas vezes têm características interessantes na dieta humana, como alto teor de aminoácidos ou antioxidantes. Porém, o cultivo da forma como a planta é conhecida hoje não garante escala comercial, seja pela produtividade ou mesmo pelo extenso tempo vegetativo até a colheita. Os trabalhos de domesticação de espécies podem contribuir para a ampliação de cultivos e seu uso no consumo humano.

Pesquisas associadas ao melhoramento preventivo, com a avaliação de genótipos contra um determinado estresse antes que ele chegue ao país, são fundamentais para resguardar a produção brasileira de grandes alterações climáticas. Há estudos de melhoramento preventivo com resultados de muito sucesso no Brasil, como os associados às pragas quarentenárias. Um dos principais exemplos de melhoramento preventivo foi o desenvolvimento de cultivares de café resistentes à ferrugem pelo pesquisador Dr. Alcides Carvalho e equipe do Instituto Agrônomo. Quando a ferrugem chegou ao Brasil em 1970, a equipe já tinha material resistente a ela, pois as pesquisas foram iniciadas em 1953. Fazem-se necessários programas de melhoramento preventivo para estresses abióticos como os que serão observados em casos extremos e associados às mudanças climáticas.

A avaliação e identificação de novos genótipos mais adaptados às mudanças do clima dependem de estudos em várias escalas e podem envolver apenas uma variável do clima ou várias delas e suas interações. Os estudos em câmaras fechadas de crescimento (fitotron) permitem o controle mais preciso de temperatura,  $\text{CO}_2$ , luminosidade, fotoperíodo e disponibilidade de água, mas as condições são bastante distintas do ambiente natural. Em casas-de-vegetação ou no campo, há possibilidade de controle parcial do ambiente com uso de sistemas de irrigação, câmara de topo aberto, FACEs (Free-Air  $\text{CO}_2$  Enrichment) ou T-FACEs (Temperature-Free-Air  $\text{CO}_2$  Enrichment), que permitem combinar o efeito da disponibilidade de água, a temperatura e o enriquecimento de  $\text{CO}_2$ . Os equipamentos com injeção de  $\text{CO}_2$  em ambiente aberto têm custo de manutenção bastante elevado, o que muitas vezes inviabiliza seu uso. Outra opção é a realização de experimentos em locais com clima semelhante ao projetado pelos cenários de mudanças climáticas para a área de interesse.

Uma das dificuldades das pesquisas em ambiente modificado é a definição dos cenários climáticos utilizados na experimentação. Geralmente os tratamentos de mudanças climáticas são baseados em projeções globais e variações para cima ou para baixo em relação ao valor atual. Existe a necessidade de aprimorar os cenários climáticos regionais e definir cenários com relação aos eventos extremos.

Para contornar as dificuldades experimentais referentes aos estudos de cenários de mudanças climáticas, grupos de pesquisa têm estudado, a partir de simulações por meio de modelos matemáticos, o efeito de cenários e de alternativas de adaptação. Nesse sentido, parcerias internacionais têm sido realizadas com universidades e centro de pesquisa que desenvolvem plataformas de simulação, como DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) e APSIM (Agricultural Production Systems Simulator), dentre outras. O uso dessas plataformas necessita de dados primários de crescimento e produção das culturas agrícolas e pastagens para a sua parametrização, o que nem sempre está disponível. A partir da parametrização dos modelos, os cenários são analisados quanto à vulnerabilidade dos materiais genéticos e também dos sistemas produtivos.

Outro grande gargalo para a identificação de recursos genéticos vegetais adaptados às mudanças climáticas e sua aplicação em programas de melhoramento vegetal é a fenotipagem em larga escala, principalmente em curto espaço de tempo e com baixa demanda de mão de obra. O desenvolvimento desse tipo de metodologia de fenotipagem demanda investimento alto em tecnologias e treinamento de pessoal qualificado para tal. Essas metodologias são baseadas em sensores e câmeras de alta resolução para detecção de diferentes tipos de imagem em diferentes tecidos vegetais e escalas, desenvolvimento de plataformas de coletas de dados e de metodologias de processamento e análise desses dados, incluindo o desenvolvimento de algoritmos, modelos e softwares. As metodologias podem ser aplicadas em diferentes escalas, desde tecido-específicas ou sensoriamento remoto e geotecnologias com o uso de veículos voadores não tripulados (drones) e satélites. Cada tipo de característica morfofisiológica e tecido/morfologia das culturas/espécies de interesse demanda uma metodologia específica, caracterizando grande potencial de desenvolvimento metodológico. Além disso, há ainda uma confusão conceitual na literatura em relação à caracterização do que seria resistência, tolerância, adaptação, resiliência e sobrevivência aos fatores de estresse abióticos, principalmente, o que dificulta o estabelecimento de metodologias adequadas.

Ferramentas biotecnológicas também podem ser aplicadas para a identificação de regiões genômicas relacionadas à tolerância às mudanças climáticas (seca, encharcamento, aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, dentre outros estresses) e o desenvolvimento de plantas adaptadas a essas condições. Genes e regiões regulatórias do genoma que conferem maior tolerância têm sido buscadas usando abordagens como análise de transcriptoma e seleção genômica sob condições controladas de estresse, tanto em cultivares de interesse quanto em recursos genéticos selecionados com base na sua adaptação natural à característica desejada. Sistemas de edição gênica como transformação genética e, mais recentemente, CRISPR (da sigla do inglês Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) têm sido utilizados para incorporar genes específicos que atuam em vias metabólicas que conferem maior capacidade de tolerar e/ou resistir a esses estresses em plantas, como a via do ácido abscísico no caso da tolerância à seca. Tais abordagens são aplicadas diretamente em germoplasma elite ou cultivares já desenvolvidas que não apresentam a característica desejada.

Após a obtenção de um material promissor para as condições desejadas, é preciso avaliar a nova cultivar em condições próximas àquelas de uso final para definir as recomendações e práticas de manejo adequadas. O ideal é que esses estudos sejam realizados em áreas grandes, onde as diversas interações bióticas e abióticas que podem influenciar no desempenho do material tenham chances de se estabelecer. Sabe-se que as interações entre plantas, animais e microrganismos são muito importantes e muitas vezes fundamentais para a adaptação de determinados cultivos em algumas regiões. Muitos microrganismos já foram identificados como promotores de crescimento vegetal, como bactérias fixadoras de nitrogênio, solubilizadoras de fosfato, produtoras de ácido indol-acético, muitos já encontrados em escala comercial. Há microrganismos que acidificam o solo e outros que produzem compostos que matam outros microrganismos patogênicos. Pesquisas sobre interação de plantas e microrganismos para avaliação do crescimento vegetal sob condições de estresse abiótico também são de fundamental importância, pois podem reduzir o tempo de obtenção de novas cultivares adaptadas de forma substancial.

No Brasil, há vários grupos de pesquisa trabalhando na adaptação da agropecuária às mudanças do clima (Exemplos: figura 1 e 2). A maior parte dos trabalhos foca na geração de conhecimento, havendo necessidade de ampliar o desenvolvimento de tecnologias e de criar mecanismos para impulsionar a sua adoção nas regiões mais vulneráveis.

**Figura 1:** Campo de demonstração com forrageiras da Embrapa.



*Crédito: Juliana Sussai.*

**Figura 2:** Campo de demonstração com forrageiras da Embrapa.



*Crédito: Juliana Sussai.*

Esta coletânea representa uma pequena amostra da pesquisa com foco em recursos genéticos voltada para a adaptação dos sistemas agropecuários brasileiros às mudanças do clima. Dos trabalhos enviados, 16 apresentaram relação direta com o tópico "recursos genéticos" (páginas 32 a 63); outros 16 trabalhos apresentaram relação indireta com o tema e foram inseridos nos capítulos 2 (páginas 78, 90 e 100), 3 (páginas 112, 114, 116, 118, 120, 126 e 130) e 4 (páginas 144, 146, 148, 152, 156 e 158).

Os trabalhos reunidos no Capítulo 1 englobam as seguintes classes de culturas: lavouras temporárias (melão, feijão, arroz, feijão-caupi, soja, milho e cana-de-açúcar) e permanentes (uva e café), horticultura (cebola e batata), pecuária (pastagens naturais e plantadas) e produção florestal (eucalipto). Além disso, foi apresentado um trabalho com avaliação de bovinos. Nos demais capítulos, os trabalhos relacionados a recursos genéticos foram voltados principalmente para o estudo de espécies naturais (pastagens naturais dos biomas Caatinga e Pantanal, frutas naturais do Cerrado e da Caatinga, araucária, butiá etc.) e tiveram como principal foco o zoneamento, o desenvolvimento de sistemas de produção biodiversos, a diversificação da dieta das pessoas e a domesticação de espécies naturais.

Dentre os trabalhos diretamente relacionados ao tópico “recursos genéticos”, a maior parte está voltada para as regiões do Brasil Central e do Semiárido e envolve soluções para adaptação da agropecuária nos biomas Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Amazônia. A seca é o principal fator climático abordado, mas também há trabalhos considerando variações na temperatura, na concentração de CO<sub>2</sub>, na irradiância, em eventos extremos de cheia e seca, em estresse salino e nas interações entre mais de um desses fatores.

Os trabalhos apresentam diferentes escalas de experimentação, desde o nível de planta ou animal até o nível de ecossistema ou paisagem. Os ensaios em nível de planta ou animal focam principalmente em respostas genéticas, bioquímicas, metabólicas ou fisiológicas das plantas/animais aos fatores do clima e são, em sua maioria, realizados em ambientes controlados (câmaras tipo fitotron ou casas-de-vegetação) ou em parcelas pequenas. Abordagens biotecnológicas têm sido aplicadas para identificação de genes e desenvolvimento de cultivares adaptadas às mudanças climáticas. As interações bióticas entre as plantas/animais e microrganismos também são investigadas. No caso das plantas, foram apresentados trabalhos com foco nas relações com microrganismos patogênicos. Já no caso dos animais, foi apresentado trabalho com foco nas relações com os microrganismos do rúmen, o que afeta a eficiência alimentar e a capacidade de adaptação dos animais ao ambiente.

Os ensaios em nível de comunidade de plantas são voltados para avaliações ecofisiológicas, de produção ou de ocorrência de doenças e são normalmente realizados em parcelas pequenas. Câmaras de topo aberto, FACEs, T-FACEs, sistemas de irrigação e outros mecanismos são utilizados para provocar mudanças no microclima das parcelas. A produção, a eficiência de uso de recursos e a ocorrência de doenças são os principais aspectos avaliados.

Os estudos em escalas maiores contemplam o sistema de produção, a região ou o ecossistema. Normalmente, são realizados em parcelas grandes, em alguns casos permanentes, e focam principalmente na produção, qualidade dos produtos e eficiência de uso de recursos. Os estudos em escalas maiores permitem a validação das tecnologias para posterior transferência ao setor produtivo.

Os principais resultados apresentados na coletânea estão relacionados ao avanço do conhecimento, ao desenvolvimento de ativos tecnológicos e pré-tecnológicos e à recomendação de práticas ou processos agropecuários. Os conhecimentos gerados são relacionados aos mecanismos de resposta de plantas/animais aos fatores do clima e às suas interações com microrganismos. Os ativos pré-tecnológicos correspondem a genes e marcadores moleculares relacionados às respostas ao estresse, que podem auxiliar na seleção e no desenvolvimento de novas cultivares. Os ativos tecnológicos correspondem ao desenvolvimento de novas cultivares, via melhoramento genético, seleção e/ou modificação genética. As práticas ou os processos agropecuários estão relacionados, principalmente, à recomendação de: material genético para condições específicas, combinações de plantas para cultivo consorciado ou em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e agroflorestais (SAFs), práticas de manejo das plantas, práticas de manejo da irrigação e práticas de controle preventivo ou curativo de doenças.

A amostra de trabalhos reunidos na coletânea indica que não há homogeneidade entre as abordagens metodológicas, o que era esperado tendo em vista a grande variedade de espécies e condições ambientais. Por outro lado, a definição de alguns conceitos e indicadores contribuiria para o avanço mais rápido em termos de adaptação da agropecuária brasileira às mudanças do clima.

No Brasil, há grupos de pesquisa investigando estratégias de adaptação da agropecuária às mudanças do clima por meio de recursos genéticos, porém ainda é preciso avançar mais para aumentar a resiliência dos sistemas de produção e garantir a sustentabilidade da

agropecuária nacional no futuro. Apesar das competências existentes e da capacidade de pesquisa instalada no país, o volume de resultados ainda é pequeno diante da dimensão da agropecuária nacional. As ações de diferentes instituições não são bem orquestradas, o que muitas vezes dificulta o desenvolvimento de solução pronta para adoção pelo setor produtivo. Além disso, a possibilidade de validação de resultados em escala de sistema de produção para cenários de longo prazo é limitada.

As seguintes ações podem contribuir para aumentar a capacidade de adaptação do país às mudanças climáticas:

- Incentivo à inovação: fortalecer as instituições públicas de ciência e tecnologia e estabelecer mecanismos que facilitem a interação entre instituições públicas e privadas;
- Coleta, introdução e conservação de germoplasma: apoiar as ações de instituições públicas responsáveis pela coleta, introdução e conservação de germoplasma do país;
- Domesticação de novas espécies: identificar espécies selvagens com potencial para reduzir a vulnerabilidade do país às mudanças climáticas e apoiar ações de domesticação;
- Melhoramento genético preventivo: identificar, por meio de estudos de cenários, as culturas prioritárias para ações de melhoramento preventivo; incentivar o desenvolvimento de métodos de fenotipagem em larga escala para identificação de acesso promissores do ponto de vista de adaptação às mudanças do clima; incentivar o estabelecimento de redes de pesquisa com foco no desenvolvimento de novos cultivares por meio de técnicas de melhoramento genético tradicional e de genética molecular;
- Recomendação de uso: incentivar o estabelecimento de redes de pesquisa e desenvolvimento associadas às redes de melhoramento genético preventivo que avaliem os materiais em larga escala e determinem suas recomendações de uso para cada região; e
- Transferência de tecnologia: facilitar e incentivar o estabelecimento de parcerias público-privadas para multiplicação e comercialização de sementes de cultivares adaptadas, principalmente nas regiões mais vulneráveis; promover o estabelecimento de redes de assistência técnica e extensão rural que promovam o uso adequado das novas tecnologias por parte dos produtores, principalmente nas regiões mais vulneráveis.

#### **Dados dos autores:**

Patricia Menezes Santos  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Pecuária Sudeste  
Email: patricia.santos@embrapa.br

Alessandra Pereira Fávero  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Pecuária Sudeste  
Email: alessandra.favero@embrapa.br

José Ricardo Macedo Pezzopane  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Pecuária Sudeste  
Email: jose.pezzopane@embrapa.br

Bianca Baccili Zanotto Vigna  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Pecuária Sudeste  
Email: bianca.vigna@embrapa.br

Juliana Erika de Carvalho Teixeira Yassitepe  
Unidade Mista de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (UMiP GenClima) /  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Informática Agropecuária  
Email: juliana.yassitepe@embrapa.br