

## CAPÍTULO 26

### MELHORAMENTO GENÉTICO NO CONTEXTO DA PRODUÇÃO AGROECOLÓGICA

**Daniel Soares Ferreira**

Doutor em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa- UFV

**Ana Caroline Figueiredo**

Doutoranda em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa- UFV

**João Marcos Soares Ferreira**

Doutorando em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa- UFV

**Serli de Oliveira Cabral**

Doutoranda, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

**Dalila da Costa Gonçalves**

Doutoranda, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

**Vanessa Sessa Dian**

Doutoranda, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

**Morgana Scaramussa Gonçalves**

Doutor em Agronomia, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

**Wilian Rodrigues Ribeiro**

Doutor em Agronomia, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

**Wallisson da Silva Freitas**

Professor do Instituto Federal, do Espírito Santo campus Ibatiba - IFES

---

### RESUMO

A agricultura moderna enfrenta desafios significativos em relação à biodiversidade, solos, água e atmosfera, especialmente diante das crescentes tendências de crescimento populacional, consumo de carne, energia e desperdício alimentar. Nesse contexto, o melhoramento genético direcionado a cultivos ecológicos emerge como uma estratégia vital, promovendo variedades adaptadas, resistentes e eficientes, essa abordagem contribui essencialmente para a sustentabilidade ambiental, integrando melhoramento de plantas, práticas sustentáveis e alto rendimento. O texto aborda a importância do melhoramento genético para enfrentar desafios alimentares decorrentes das mudanças climáticas e do aumento populacional. Destaca-se a necessidade de reavaliar estratégias de

melhoramento para promover diversidade genética e resiliência nos sistemas agrícolas. Neste contexto o melhoramento genético participativo busca aumentar a eficiência no uso de recursos, desenvolvendo plantas adaptadas a condições locais com potencial aumento da agrobiodiversidade. Ademais, variedades geneticamente diversas são mais eficazes em adaptar a condições climáticas variáveis e de resistir a pressões bióticas, fortalecendo a estabilidade dos sistemas agroecológicos. Ao contextualizar o papel do melhoramento genético no desenvolvimento rural sustentável, com ênfase no melhoramento participativo para agricultores familiares, buscamos uma abordagem integrada que promova a resiliência e a autonomia nas comunidades agrícolas. O melhoramento genético no contexto da produção agroecológica busca desenvolver variedades de plantas que se alinhem aos princípios da agroecologia, promovendo a sustentabilidade, a resiliência ambiental e a produção de alimentos saudáveis. A integração harmoniosa dessas práticas no manejo agroecológico é essencial para criar sistemas agrícolas que são tanto produtivos quanto ambientalmente responsáveis.

**Palavras chaves:** Biodiversidade agrícola; culturas locais; melhoramento de plantas; melhoramento participativo.

## **INTRODUÇÃO**

A imprevisibilidade do clima e o aumento populacional impactam os sistemas agrícolas globais. Garantir alimento para sustentar uma população em constante crescimento diante das mudanças climáticas é o principal desafio que enfrentamos como espécie. Dentro desse contexto desafiador, a aplicação de técnicas de melhoramento genético fundamenta-se como uma abordagem estratégica e crucial para potencializar a resiliência das culturas agrícolas frente às variabilidades climáticas (BORÉM, *et al.*, 2021).

O melhoramento genético não apenas otimizar características desejáveis das plantas, como resistência a estresses abióticos e maior produtividade, mas também adaptá-las de maneira mais eficaz às condições climáticas imprevisíveis, mitigando assim os riscos associados à insegurança alimentar (INYANG *et al.*, 2021; BRITO *et al.*, 2021). Vale ressaltar que a segurança alimentar transcende o aspecto produtivo, englobando elementos cruciais como acesso, disponibilidade, qualidade nutricional e utilização apropriada dos alimentos e dos recursos naturais disponíveis. Destaca-se ainda a necessidade de satisfazer as demandas do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias

necessidades, forjando assim um compromisso essencial com a responsabilidade ecológica e social.

Para enfrentar a complexidade das alterações climáticas e atender à crescente demanda alimentar, garantindo simultaneamente a segurança alimentar e a saúde humana, é necessário reavaliar as estratégias de melhoramento de plantas. Essa reavaliação deve orientar-se no sentido de promover a diversidade genética em vez de comprometê-la, reconhecendo a importância de cultivares adaptadas às novas condições climáticas e capazes de fornecer alimentos nutritivos e sustentáveis.

Este enfoque busca construir resiliência nos sistemas agrícolas, contribuindo assim para abordar os desafios interligados da mudança climática e segurança alimentar. Neste sentido, o melhoramento genético quando aplicado de maneira responsável, considerando as dimensões éticas, ambientais e de saúde humana torna-se um aliado para a agricultura (PHAM; MENDEL, 2019; BORÉM, *et al.*, 2021). Ressaltamos que ao envolver a manipulação genética de plantas, animais e microrganismos para aprimorar suas características desejáveis (MACHADO *et al.*, 2022; FAO, 2018) deve-se manter uma abordagem ética visando a agrobiodiversidade do ambiente.

Ao considerarmos a agricultura de base ecológica, surgem diversas correntes, como a agricultura orgânica, agroecologia, permacultura, entre outras (CHABLE *et al.*, 2020; BRZOWSKI; MAZOUREK, 2023). Estas correntes, de forma explícita ou implícita, partilham uma característica comum: a oposição à agricultura convencional/tradicional, predominante desde a Revolução Verde no século passado. Este conjunto heterogêneo de práticas agrícolas alternativas busca desafiar e remodelar os paradigmas vigentes, adotando abordagens mais sustentáveis e alinhadas aos princípios ecológicos.

Dentro desse cenário, investigaremos o papel do melhoramento genético como um aliado nos sistemas ecológicos de produção. Por meio desta revisão, almejamos destacar o potencial aumento da agrobiodiversidade obtido por meio da estruturação e execução de um programa participativo de melhoramento de plantas.

## **Integrando Estratégias de Melhoramento Genético na Produção Ecológica**

As conquistas no âmbito do melhoramento genético e da biotecnologia demonstram aplicabilidade também no contexto ambiental e nos diversos sistemas de produção agrícola. Ao contextualizar os avanços do

melhoramento genético ao longo dos anos, é essencial reconhecer o sucesso alcançado, especialmente nas culturas fundamentais como trigo, soja, arroz e milho entre outras *commodities*, no entanto os atuais sistemas alimentares enfrentam desafios devido à dependência intensiva de algumas culturas básicas, resultando em práticas ecologicamente insustentáveis e vulneráveis às mudanças climáticas (INYANG *et al.*, 2021). Já em 1950, Frankel alertava sobre os perigos associados à busca desenfreada pela uniformidade no melhoramento de plantas, destacando as ameaças iminentes à obtenção de maiores produções e à perda da diversidade biológica (FRANKEL, 1950). Não podemos negligenciar a preocupação crescente em torno da perda de biodiversidade, um tema crucial para aprimorar a sustentabilidade na agricultura.

Ao integrar o melhoramento genético na produção ecológica, busque-se a harmonização entre a maximização da produtividade e a minimização do impacto ambiental. Isso inclui a promoção da biodiversidade no campo, a redução do uso de insumos químicos e a preservação dos recursos naturais (CECCARELLI; GRANDO, 2022). A variedade de culturas resultantes desse processo pode contribuir para a resiliência do ecossistema agrícola, adaptando-se de maneira eficiente a condições variáveis.

Essa aplicação oferece a perspectiva de se utilizar menos agrotóxicos mantendo os ganhos produtivos, de modo que ao integrar os aspectos ambientais, sociais e econômicos estaremos promovendo a harmonia entre os sistemas agrícolas e os ecossistemas naturais (BARRIOS *et al.*, 2020; DORIN, 2021, ONG; LIAO, 2020) e a melhoria da qualidade de vida das comunidades rurais (BARRIOS *et al.*, 2020; DORIN, 2021, ONG; LIAO, 2020). Essa abordagem holística é possível e não apenas propõe soluções para os desafios agrícolas contemporâneos, mas também responde à crescente demanda por alimentos mais saudáveis e produzidos de forma sustentável.

A busca desenfreada por rendimento, ao longo do processo de domesticação, contribuiu com boa parte das perdas biológicas, uma das principais razões para os rendimentos mais baixos alcançados (PONISIO *et al.*, 2015). A redução da biodiversidade torna nossas culturas mais vulneráveis, pois sua uniformidade genética as impede de adaptar-se eficazmente às mudanças climáticas de curto e longo prazo, além disso, devido a utilização indiscriminada de agrotóxicos sintéticos, favorece o surgimento de variantes resistentes (CECCARELLI; GRANDO, 2022).

Restaurar essa diversidade agrícola é fundamental para promover sistemas alimentares mais resilientes e socialmente justos a longo prazo. De

acordo com Altieri (2012), a agroecologia oferece uma estrutura metodológica para uma compreensão mais aprofundada tanto da natureza dos agroecossistemas quanto dos princípios que os governam. Ao abordar tanto a diversidade da produção quanto a diversidade alimentar, a agroecologia se destaca como uma abordagem integrada que promove sistemas agrícolas mais resilientes, sustentáveis e capazes de atender às necessidades alimentares variadas das comunidades locais (KANSANGA *et al.*, 2021).

A agroecologia enquanto ciência estabelece uma conexão entre o conhecimento tradicional e técnico-científico, valorizando inovações tecnológicas para abordar desafios de produtividade, além disso, ela reconhece o papel central do produtor, catalisando uma reestruturação social nas comunidades agrícolas e sublinhando a importância do trabalho no campo (CHABLE *et al.*, 2020; GONÇALVES *et al.*, 2020; KANSANGA *et al.*, 2021).

Conforme destacado por Barrios *et al.* (2020), Dorin (2021) e Ong; Liao (2020) os princípios ecológicos que diferem os cultivos agroecológicos dos cultivos com alto grau de tecnologia ou também conhecidos como convencionais, envolvem o manejo e a conservação e o equilíbrio da biodiversidade dos sistemas agrícolas, a pluralidade de culturas, por meio da utilização de culturas intercalares, rotação de cultura e plantio mínimo, controle biológico de pragas e doenças, entre outras técnicas que visam promover o equilíbrio entre os conceitos sociais, culturais e ambientais do sistema agroecológico.

A perspectiva agroecológica no âmbito do melhoramento genético destaca a importância da participação ativa das comunidades locais, agricultores e pesquisadores, visando manter a integridade das plantas, sempre almejando a premissa de que essas plantas possam completar o seu ciclo independente da utilização de insumos externos (INYANG *et al.*, 2021). Embora as vantagens do cultivo agroecológico para o agroecossistema sejam evidentes, as técnicas de melhoramento genético voltadas para atender às premissas desse modelo de cultivo ainda são pouco exploradas e restritas. Isso ocorre devido à predominância de estudos direcionados para cultivos de alta tecnologia (VIELLA, 2008; CHABLE *et al.*, 2020).

Melo *et al.* (2022) ressalta a escassez de espécies melhoradas especificamente para o manejo agroecológico. Assim, a abordagem agroecológica muitas vezes se apoia em espécies desenvolvidas para cultivos convencionais ou nas conhecidas espécies crioulas. Estas últimas apresentam características que favorecem a redução de insumos químicos,

além de capacidade de adaptação e reprodução em ambientes dinâmicos, sem comprometer a qualidade dos produtos, especialmente relacionada ao vigor das plantas.

Viella (2008) destaca a necessidade de incorporar variedades locais e crioulas, que exibem considerável variabilidade genética, nos processos de melhoramento de plantas. Esse envolvimento requer a aplicação de técnicas como introdução de germoplasmas, indução de mutação e cruzamento para a obtenção de novas espécies, aprimorando assim a diversidade genética e favorecendo o desenvolvimento de cultivares adaptadas e resilientes (INYANG *et al.*, 2021).

De forma geral, na literatura é destacado que materiais como o Trigo Sarraceno (*Fagopyrum esculentum*) (ROMANOVSKAJA *et al.*, 2020), Feijão Carioca (*Phaseolus vulgaris*) (MELO *et al.*, 2022; SOUZA *et al.*, 2019), variedades de milho crioulo (*Zea mays*) (FRAGOSO *et al.*, 2020), variedades de tomate orgânico (*Solanum icopersicum*) (CHABLE *et al.*, 2020; PERSIANI *et al.*, 2022) e Variedade de Batata Doce Orgânica (*Ipomoea batatas*) (SYLLA *et al.*, 2020) perpetuam entre variedades que foram desenvolvidas ou selecionadas para atenderem aos cultivos agroecológicos.

Embora os estudos sobre melhoramento genético de plantas para cultivos agroecológicos estejam em estágio inicial, é possível adotar técnicas voltadas à seleção de variedades melhoradas com maior adaptabilidade a esse tipo de cultivo e que atendam aos princípios da sustentabilidade e ao mesmo tempo fortalecendo a base genética de sistemas agroecológicos.

## **Melhoramento genético e desenvolvimento rural sustentável**

O melhoramento genético representa uma técnica crucial no âmbito do desenvolvimento rural sustentável e na modernização da agricultura como um todo. Sua aplicação propicia a seleção de características desejáveis, viabilizando a obtenção de variedades com elevada resistência a estresses bióticos e abióticos, bem como maior produtividade e qualidade.

Essa prática de seleção de características desejáveis, empregada ao longo de milênios por agricultores e melhoristas, não só contribui para incrementos substanciais na produtividade, mas também para o fomento de práticas agrícolas mais sustentáveis (BRZOWSKI; MAZOUREK, 2023; KOLSETH *et al.*, 2015; INYANG *et al.*, 2021; BESPALHOK *et al.*, 2022). Para atingir a sustentabilidade nos ambientes agrícolas, é imperativo compreender que o sistema deve aderir a três pilares fundamentais: ser socialmente justo, em conformidade com os direitos, deveres e a soberania social;

ambientalmente correto, respeitando a agrobiodiversidade ambiental e promovendo a preservação dos recursos naturais; e economicamente justo, buscando atender consistentemente às premissas econômicas do sistema (BARRIOS *et al.*, 2020; DORIN, 2021; ONG; LIAO, 2020).

Ressalta-se que o conceito de desenvolvimento rural sustentável se destaca pela busca de soluções que equilibrem os pilares da sustentabilidade nas comunidades rurais, visando garantir a qualidade de vida dos habitantes locais. Ao mesmo tempo, também deverá promover a conservação dos recursos naturais e a preservação da biodiversidade integrando aspectos sociais, econômicos e ambientais para alcançar um desenvolvimento rural duradouro (RASOOLIMANESH *et al.*, 2019; SACHS *et al.*, 2019; KSHOSLA *et al.*, 2020).

O desenvolvimento rural sustentável, ao considerar os agricultores familiares, destaca a importância desses pequenos produtores na produção de alimentos, principalmente no aporte de legumes, hortaliças e frutas. Contudo, os programas convencionais de melhoramento genético frequentemente não atendem às suas demandas devido às suas características distintas. A agricultura familiar, conduzida por pequenos proprietários rurais e utilizando mão de obra do núcleo familiar, destaca-se pela prática de cultivo diversificado em diferentes sistemas de produção (FONSECA *et al.*, 2014). Caracterizada por alguns cultivos agroecológicos e/ou orgânicos em áreas de menor extensão territorial, essa prática enfrenta desafios, como a limitação na implementação de controles através de tecnologias e insumos externos, essenciais para variedades melhoradas.

Considerando esses aspectos, o melhoramento participativo emerge como uma estratégia para otimizar a produtividade de cultivares locais e/ou introduzidas, integrando-se à promoção da biodiversidade na agricultura familiar. Essa abordagem realizada diretamente na propriedade rural por meio de ferramentas participativas, envolve a seleção cuidadosa de cultivares para uso direto ou como genitores, proporcionando uma resposta adaptativa às necessidades específicas desses contextos agrícolas.

O melhoramento participativo é um processo dinâmico que permite a evolução contínua das variedades cultivadas. À medida que as condições ambientais e as pressões bióticas mudam, a comunidade envolvida no processo pode ajustar e melhorar as variedades de forma colaborativa. Além disso, o melhoramento participativo pode desempenhar um papel crucial ao preencher a lacuna representada pela escassa disponibilidade de variedades especificamente adaptadas aos cultivos orgânicos (INYANG *et al.*, 2021; CECCARELLI; GRANDO, 2022; BRZOWSKI; MAZOUREK, 2023).

Ao capacitar plenamente os agricultores familiares, envolvendo-os integralmente em todas as fases, desde a produção produção, seleção e troca de sementes, o melhoramento participativo alinha-se ao desenvolvimento rural sustentável. Não apenas acrescentando valor às cultivares locais e tradicionais, mas, promovendo a geração de emprego e renda, contribuindo ativamente para o empoderamento das comunidades de agricultores familiares e tradicionais (FONSECA *et al.*, 2014).

Embora o melhoramento genético possa trazer benefícios significativos para a produção agrícola, também pode ter impactos sobre a agrobiodiversidade e a sustentabilidade agrícola. Ressalta-se que o foco no melhoramento genético de algumas espécies ou variedades pode levar à redução da diversidade genética em nível global. Isso ocorre quando variedades tradicionais ou locais são substituídas por variedades melhoradas. Como anteriormente descrito a perda da diversidade genética pode diminuir a capacidade de adaptação das culturas agrícolas a mudanças ambientais, como pragas, doenças e variações climáticas. Além disso, a redução da diversidade genética pode resultar na perda de características únicas presentes nas variedades tradicionais, como sabores, cores e texturas distintas (FOYER *et al.*, 2016; GAJ *et al.*, 2016).

A ênfase no melhoramento genético de algumas variedades altamente produtivas pode levar a uma dependência excessiva dessas variedades. Isso pode aumentar a vulnerabilidade da agricultura a riscos, como o surgimento de novas pragas ou doenças que afetam especificamente as variedades amplamente cultivadas. Além disso, a dependência de poucas variedades pode limitar a resiliência dos sistemas agrícolas, pois a perda de uma variedade pode ter um impacto significativo na produção tanto atual quanto do futuro (FOYER *et al.*, 2016; GAJ *et al.*, 2016).

Como discutido, os modelos tradicionais de melhoramento genético na agricultura estão vinculados à perda de conhecimentos tradicionais, uma vez que a busca por variedades aprimoradas frequentemente leva ao abandono de práticas agrícolas e saberes locais relacionados a cultivares específicas. Esta diminuição de conhecimento pode comprometer a capacidade das comunidades agrícolas de enfrentar desafios específicos de seus ambientes locais, conforme destacado em estudos como os de Foyer *et al.* (2016), Gaj *et al.* (2016) e Ferbach *et al.* (2019). No entanto, essa lacuna poderia ser atenuada mediante a adoção de modelos de melhoramento genético voltados para sistemas agroecológicos, promovendo a aproximação entre empresas, centros de melhoramento genético e produtores. A implementação do melhoramento genético participativo pode ser considerada

como uma estratégia eficaz para preservar e integrar conhecimentos locais, capacitando as comunidades agrícolas a lidar de maneira mais resiliente com os desafios específicos de seus ambientes.

Em conclusão, o desenvolvimento rural sustentável desempenha um papel essencial na garantia da segurança alimentar, conservação de recursos naturais e preservação da biodiversidade. Além disso, este modelo contribui para a redução das desigualdades sociais e a promoção de uma economia mais justa e inclusiva, conforme evidenciado por estudos como os de Rasoolimanesh *et al.* (2019), Sachs *et al.* (2019) e Kshosla *et al.* (2020). Entretanto, a implementação bem-sucedida demanda políticas públicas e investimentos adequados para transformar o modelo de produção e promover comunidades rurais mais justas e sustentáveis, conforme enfatizado pelos mesmos autores.

### **Desenvolvimento de cultivares superiores e seu elo para a sustentabilidade ambiental**

A preservação ambiental e a segurança alimentar constituem desafios cruciais nos dias atuais, demandando soluções para a redução das emissões de gases de efeito estufa, o aumento da disponibilidade de água e a conservação da biodiversidade, assim como a garantia de acesso regular e sustentável a alimentos nutritivos e seguros para toda a população (KOLSETH *et al.*, 2015; RÓTOLO *et al.*, 2015; SACHS *et al.*, 2019; BRITO *et al.*, 2021). Nesse cenário, as variedades transgênicas emergem como potenciais contribuintes, embora exijam uma compreensão mais aprofundada sobre os reais impactos que essas culturas agrícolas podem ter na saúde humana e no meio ambiente (BRISTER; NEWHOUSE, 2020; SHAH; PATHAK, 2019; ARANI *et al.*, 2021; RÓTOLO *et al.*, 2015; KOLSETH *et al.*, 2015).

A edição genética constitui uma tecnologia empregada na agricultura com o propósito de desenvolver organismos geneticamente modificados (OGMs), plantas melhoradas com capacidade de expressar características desejáveis (GAJ *et al.*, 2016; FERNBACH *et al.*, 2019). Buscam-se como características de plantas mais resistentes e produtivas, sendo possível redução no uso de agrotóxicos (SACHS *et al.*, 2019). Adicionalmente, a adoção de variedades transgênicas tolerantes à seca possibilita a produção de culturas em regiões com escassez de água, oferecendo contribuições substanciais para a segurança alimentar (SHAH; PATHAK, 2019; ARANI *et al.*, 2021).

Os OGM's por possibilitarem maiores produtividades ou a produção de mais alimentos em áreas menores, auxiliam indiretamente na pressão de expansão das áreas cultivadas em áreas de florestas e outros habitats naturais. (FOYER *et al.*, 2016; GAJ *et al.*, 2016, FERNBACH *et al.*, 2019; PHAM; MENDEL, 2019). O desenvolvimento de variedades transgênicas tem suscitado debates e preocupações socioambientais ao longo dos anos (HAILE *et al.*, 2019; GAJ *et al.*, 2016).

A utilização de OGMs pode resultar em dependência e limitação da diversidade genética, o que levanta implicações socioeconômicas, incluindo desigualdades de acesso a tecnologias e benefícios, além de impactos negativos para agricultores de pequena escala que podem enfrentar dificuldades no mercado (FERNANDEZ *et al.*, 2021; LAPEGNA; PERELMUTER, 2020; SKILL *et al.*, 2022; FERNBACH *et al.*, 2019; PHAM; MENDEL, 2019). Desta forma, ressalta-se novamente que a utilização de práticas de melhoramento participativo poderia minimizar esse efeito para os pequenos agricultores.

Apesar das aparentes dicotomias e críticas da vertente agroecológica, a edição genética pode contribuir com a agricultura sustentável, sendo possível identificar áreas de convergência e oportunidades de sinergia entre essas abordagens. A criação de plantas mais resilientes e adaptáveis a condições climáticas extremas, por exemplo, apresenta potencial utilidade em regiões onde a agroecologia é aplicada, reduzindo a dependência de insumos químicos (BRISTER; NEWHOUSE, 2020; SHAH e PATHAK, 2019; ARANI *et al.*, 2021).

Segundo LOTZ *et al.* (2020), a engenharia genética e a agroecologia podem harmonizar-se de maneira complementar dentro do escopo da agroecologia e sustentabilidade. Por exemplo quando a engenharia genética fora utilizada para conferir resistência a pragas e doenças, tornando as culturas menos vulneráveis, ao otimizar as práticas do Manejo Integrado de Pragas (MIP), cria-se uma abordagem sinérgica, para promover a sustentabilidade agrícola, garantindo uma produção mais resiliente, eficiente e alinhada aos princípios da agroecologia. Entretanto, a aceitação e a desejabilidade dessas práticas serão variáveis, dependendo das normas e valores adotados pelos movimentos sociais e políticos.

Por isto, discussões acaloradas nos últimos anos têm se concentrado nas abordagens sinérgicas entre essas linhas de trabalho, em busca de harmonizar a necessidade de aumentar a produção de alimentos para atender à crescente demanda global, ao mesmo tempo em que permitam a resiliência dos sistemas agrícolas. Contudo, é imperativo realizar uma análise

crítica considerando cuidadosamente seus potenciais desafios e limitações (FERNANDEZ *et al.*, 2021; LAPEGNA e PERELMUTER, 2020; SKILL *et al.*, 2022; FOYER *et al.*, 2016; GAJ *et al.*, 2016; FERBACH *et al.*, 2019).

Tanto a edição genética e o desenvolvimento de variedades transgênicas quanto a agroecologia apresentam oportunidades e desafios para a agricultura do futuro. É importante que essas abordagens sejam avaliadas de forma crítica e cuidadosa, considerando seus possíveis impactos na saúde humana, no meio ambiente e na sociedade como um todo. A utilização dessas tecnologias deve ser orientada por princípios de sustentabilidade, diversidade e justiça social, visando promover sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O melhoramento genético emerge como ferramentas promissoras para alavancar a sustentabilidade nos cultivos agrícolas contemporâneos. A inserção de características desejáveis mediante engenharia genética proporciona expressivas vantagens, tais como resistência a agentes patogênicos, adaptação a condições ambientais adversas e otimização da eficiência na utilização de recursos hídricos e nutricionais. Essas modificações engendram uma redução concomitante na demanda por agrotóxicos e fertilizantes, mitigando, assim, os impactos ambientais associados a esses insumos. Além disso, a criação de variedades transgênicas que ostentam resistência a doenças propicia uma diminuição na dependência de defensivos químicos, fomentando, por conseguinte, a preservação da biodiversidade e a vitalidade do solo. Em contextos caracterizados pela escassez hídrica, a implementação de cultivares transgênicas tolerantes à seca figura como uma estratégia viável para galvanizar a produção alimentar em cenários ambientais adversos, conferindo robustez à segurança alimentar. Nesse ínterim, impera a necessidade de uma diligente condução de estudos, garantindo uma avaliação metódica dos potenciais riscos à saúde humana e ao ecossistema, a fim de assegurar uma aplicação ética e responsável dessa tecnologia, em busca de um equilíbrio salutar entre incremento de produtividade e sustentabilidade.

O melhoramento participativo emerge como uma estratégia vital para enfrentar os desafios contemporâneos da agricultura, notadamente as alterações climáticas. Ao adotar uma abordagem dinâmica da agrobiodiversidade e cultivar populações evolutivas, essa prática promove a

seleção de variedades mais produtivas e adaptadas. Este método não apenas assegura a estabilidade do rendimento agrícola, mesmo em condições climáticas adversas, mas também reduz a dependência de agroquímicos, mitigando assim as emissões e promovendo a produção de alimentos mais saudáveis. A colaboração entre agricultores, pesquisadores e comunidades locais no processo de melhoramento participativo não apenas fortalece a resiliência das culturas, mas também contribui para a construção de sistemas agrícolas sustentáveis e ecologicamente conscientes.

## REFERÊNCIAS

ARANI, A.B. *et al.* Investigating the status of transgenic crops in Iran in terms of cultivation, consumption, laws and rights in comparison with the world. **Scientific Reports**, v.11, n. 9204. 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88713-7>

BARRIOS, E. *et al.* The 10 Elements of Agroecology: enabling transitions towards sustainable agriculture and food systems through visual narratives. **Ecosystems and People**. V. 16, n. 1. 2020.

BESPALHOK, J. C.; GUERRA, E. P.; OLIVEIRA, R. **Noções de Genética Quantitativa**. In: BESPALHOK, J. C.; GUERRA, E. P.; OLIVEIRA, R. *Melhoramento de Plantas*. 2007. Disponível em: [www.bespa.agrarias.ufpr.br/conteudo](http://www.bespa.agrarias.ufpr.br/conteudo)

BORÉM, A. *et al.*, **Melhoramento de plantas**. 8 ed. Editora oficina de textos. 2021.

BRISTER, E.; NEWHOUSE, A. E. Not the Same old chestnut: Rewilding forest with biotechnology. **Environmental Ethics**. V. 42, n.2. p. 149-167. 2020. <https://static1.squarespace.com/static/59ceebaed7bdce30eda23a5f/t/62e5c33fbec3777260708b68/1659224896829/Brister+Newhouse+2020+Env+Ethics+chestnut+biotech+rewilding>.

BRITO, L.F. *et al.* Review: Genetic selection of high-yielding dairy cattle toward sustainable farming systems in a rapidly changing world. **Animal**. V.15, n.1. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100292>

BRZOZOWSKI, L.; MAZOUREK M. A Sustainable Agricultural Future Relies on the Transition to Organic Agroecological Pest Management. **Sustainability**. V.10, n.6. 2023. <https://doi.org/10.3390/su10062023>

CHABLE, V. *et al.* Embedding Cultivated Diversity in Society for Agro-Ecological Transition. **Sustainability**. V. 12, n.3. 2020. <https://doi.org/10.3390/su12030784>

CECCARELLI, S.; GRANDO, S. Return to agrobiodiversity: Participatory plant breeding. **Diversity**, v. 14, n. 2, p. 126, 2022. <https://doi.org/10.3390/d14020126>

DORIN, B. Theory, Practice and Challenges of Agroecology in India. **International Journal of Agricultural Sustainability**. v. 20, n.2. 2022. <https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1920760>

FAO. (2018). The State of Food Security and Nutrition in the World 2018: Building climate resilience for food security and nutrition. <http://www.fao.org/3/I9553EN/i9553en>

FERNANDEZ, A.S. Relationship between Maize Seed Productivity in Mexico between 1983 and 2018 with the Adoption of Genetically Modified Maize and the Resilience of Local Races. **Agriculture**. v.11, n.8. 2021. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080737>

FERNBACH, P.M. *et al.* Extreme opponents of genetically modified foods know the least but think they know the most. **Nature Human behaviour**, v.3, p. 251–256, 2019. <https://www.nature.com/articles/s41562-018-0520-3>

FRANKEL, Otto Herzberg *et al.* The development and maintenance of superior genetic stocks. **Heredity**, v. 4, p. 89-102, 1950. <https://doi.org/10.1038/hdy.1950.6>

FONSECA, M. A. J. Recursos genéticos e melhoramento de hortaliças para e com a agricultura familiar. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 508-508, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620140000400023>

FOYER C.H. *et al.* Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production. **Nature Plants**, v. 2, n.16112. 2016. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.112>

FRAGOSO, E. J. N. *et al.* Agroecology and family farming: A perspective of sustainability in the Brazilian Semiarid region. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**. v.7, n.12. 2020. <https://journal-repository.theshillonga.com/index.php/ijaers/article/view/2882>

GAJ, T. *et al.* Genome-Editing Technologies: Principles and Applications. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**. v. 1, n.8. 2016. <https://cshperspectives.cshlp.org/content/8/12/a023754.short>

GONÇALVES, D. C. *et al.* A (re) evolução do Homo Sapiens: degradação, agroecologia e sustentabilidade. in: JUNIOR, M. R. P. **Cultura, sociedade e sustentabilidade: um diálogo necessário**, Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2020. 54p. <https://doi.org/10.46420/9786588319055cap1>

HAILE, A. *et al.* Community-based breeding programmes are a viable solution for Ethiopian small ruminant genetic improvement but require public and private investments. **Journal of Animal Breeding and Genetics**. v. 136, n.5. p. 319-328. 2019. <https://doi.org/10.1111/jbg.12401>

INYANG, P. *et al.* Environmental impact and genetic expressions of new drought tolerant maize genotypes in derived savannah agro-ecology. **NOTULAE SCIENTIA BIOLOGICAE**. v. 13, n.1. 2021. <https://doi.org/10.15835/nsb13110691>

KANSANGA, M.M. *et al.*, Agroecology and household production diversity and dietary diversity: Evidence from a five-year agroecological intervention in rural Malawi. **Social Science & Medicine**. v. 288, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2020.113550>

KOLSETH A.K. *et al.* Influence of genetically modified organisms on agroecosystem processes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. V. 124, n.27, p. 96-106. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.08.021>

LAPEGNA, P; PERELMUTER, T. Genetically modified crops and seed/food sovereignty in Argentina: scales and states in the contemporary food regime. **The Journal of Peasant Studies**. V.47, n.4, 2020. <https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1732933>

LOTZ, L.A.P. *et al.* Genetic engineering at the heart of agroecology. **Outlook on Agriculture**. V49, n.1, p. 21–28. 2020. <https://doi.org/10.1177/0030727020907619>

MELO, L.C. *et al.* BRS FC310: Carioca common bean cultivar with semi-early cycle, upright growth habit, and resistance to major diseases. **Functional Plant Breeding Journal**. V.4, n.1. 2022. <http://159.89.122.252/fpbj/index.php/fpbj/article/view/137>

ONG, T.W.Y., LIAO, W. Agroecological Transitions: A Mathematical Perspective on a Transdisciplinary Problem. **Frontiers in Sustainable Food Systems**. v.4, n.1, 2020. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00091>

PERSIANI, A. *et al.* Soil hydraulic arrangement and agro-ecological practices in organic rotations: effects on crop performance, soil properties and carbon balance. **Agroecology and Sustainable Food Systems**. v.46, n.8. 2022. <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2106009>

PHAM, N., MANDEL, N. What Influences Consumer Evaluation of Genetically Modified Foods?. **Journal of Public Policy & Marketing**. v.38, n.2. 2019. <https://doi.org/10.1177/0743915618818168>

PONISIO, L. C. *et al.* Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. Proceedings of the Royal Society B: **Biological Sciences**, v. 282, n. 1799, p. 20141396, 2015. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396>

ROMANOVSKAJA, D. *et al.* Influence of Morphostructural Elements for Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Productivity in Different Agricultural Systems. **Plants**. V.11, n.18. 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11182382>

RÓTOLO, G.C. *et al.* Time to re-think the GMO revolution in agriculture. **Ecological Informatics**. v. 26, n.1, p.35-49. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2014.05.002>

SACHS, J.D. *et al.* Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals. **Nature Sustainability**. V.2, p. 805-814. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0352-9>

SHAH, K.; PATHAK, L. Transgenic energy plants for phytoremediation of toxic metals and metalloids. In: **Transgenic plant technology for remediation of toxic metals and metalloids**. Academic Press, 2019. p. 319-340. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814389-6.00015-8>

SKILL, K. *et al.*, Cultivating Agroecological Networks during the Pandemic in Argentina: A Sociomaterial Analysis. **Land**. v.11, n.10. 2022. <https://doi.org/10.3390/land11101782>

SOUZA, L.F. *et al.* Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds for agroecological cultivation. **CABI**. V.14, n.1, p.33-40. 2019.

SYLLA, P.M.D.D. *et al.* Agronomic Performances and Nutritional Assessment of Three Sweet Potato Varieties (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) Introduced in an Agroecological Zone of Groundnut Basin in Senegal. **Journal of Experimental Agriculture International**. V. 12, n.7, p.1-12. 2020.

VIELLA, M.S. **Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres de cenoura em sistemas de cultivo agroecológico**. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília. 2008.