



INSTITUTO CALLEN
DE EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

**INVISTA NA SUA
FORMAÇÃO CIENTÍFICA**

Formação científica e desenvolvimento acadêmico

APOSTILA DIDÁTICA

Melhoramento de Espécies Autógamas

Princípios e métodos de seleção em plantas autopolinizadas

Série: Genética e Melhoramento de Plantas

Francisco Carlos da Silva
Instituto Callen de Educação Científica

1ª edição

Ji-Paraná – RO

APOSTILA DIDÁTICA

Melhoramento de Espécies Autógamas
Princípios e métodos de seleção em plantas autopolinizadas

Francisco Carlos da Silva
Instituto Callen de Educação Científica

Ji-Paraná – RO
2026

© 2026 – Francisco Carlos da Silva

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida ou transmitida por qualquer meio ou processo sem autorização do autor.

Autor

Francisco Carlos da Silva

Diagramação

Instituto Callen de Educação Científica

Instituição

Instituto Callen de Educação Científica

ISBN: 978-65-02-00070-0

Ji-Paraná – RO

Brasil

2026

Sumário

Apresentação.....	4
1 Fundamentos genéticos das espécies autógamas.....	7
2 Implicações da autofecundação na homozigose.....	9
3 Linha pura como unidade de seleção.....	10
4 Fontes de variabilidade genética.....	11
5 Métodos clássicos de melhoramento de autógamas.....	11
6 Mutação induzida como fonte de variabilidade.....	20
7 Multilines e durabilidade de resistência.....	20
8 Herdabilidade, efeito aditivo e escolha do método.....	20
9 Ensaio comparativos e múltiplos ambientes.....	21
10 Síntese final.....	21
11 Exercícios objetivos comentados.....	22
12 Atividade de fixação – avaliação formative.....	22
13 Referências básicas.....	23

Apresentação

O melhoramento genético de espécies autógamas ocupa posição estratégica na agricultura moderna, especialmente em culturas de grande importância econômica e alimentar, como trigo, arroz, feijão, cevada e soja. Nessas espécies, a predominância da autofecundação conduz ao aumento progressivo da homozigose ao longo das gerações, favorecendo a formação de linhagens geneticamente estáveis e altamente uniformes.

Essa característica biológica estabelece fundamentos específicos para o trabalho do melhorista vegetal. Em programas de melhoramento de plantas autógamas, o processo envolve a geração de variabilidade genética, a recombinação entre genitores superiores e a posterior seleção e fixação de genótipos de alto desempenho agrônômico. Assim, embora a autogamia reduza a variabilidade genética dentro das linhagens, ela se torna um importante mecanismo para estabilizar combinações genéticas desejáveis, permitindo o desenvolvimento de cultivares produtivas, adaptadas e geneticamente uniformes.

A presente apostila foi elaborada a partir do conteúdo desenvolvido na aula e no plano didático sobre métodos de melhoramento de espécies autógamas, posteriormente ampliados com explicações conceituais complementares e atividades de consolidação do aprendizado. O material tem como finalidade oferecer um recurso didático organizado, claro e cientificamente fundamentado, destinado a apoiar o estudo e a compreensão dos principais métodos utilizados no melhoramento genético de plantas autógamas no contexto da formação em Ciências Agrárias.

Objetivos de aprendizagem

- ✓ Caracterizar a base genética das espécies autógamas e sua estrutura populacional.
- ✓ Analisar os efeitos da autofecundação sobre a homozigose e a fixação gênica.
- ✓ Comparar criticamente os métodos seleção massal, linhas puras, Pedigree, Bulk, SSD e retrocruzamento.
- ✓ Relacionar herdabilidade, variância genética aditiva e eficiência de seleção.
- ✓ • Aplicar os conceitos na escolha de estratégias de melhoramento para caracteres qualitativos e quantitativos.

Visão geral dos métodos

Método	Lógica central	Melhor uso	Ponto de atenção
Seleção massal	Mistura sementes de plantas superiores	Ajustes fenotípicos em populações adaptadas	Baixo controle genealógico
Linhas puras	Seleciona plantas e conduz progênes separadas	Obtenção de cultivares uniformes	Exige ensaios comparativos
Pedigree	Seleção entre e dentro de famílias com genealogia	Caracteres de alta herdabilidade	Maior custo operacional
Bulk	Avanço em massa com seleção tardia	Adaptação geral e caracteres complexos	Menor controle das famílias
SSD	Uma semente por planta por geração	Avanço rápido até quase homozigose	Seleção intensa é tardia
Retrocruzamento	Recupera cultivar elite com gene específico	Resistência monogênica e introgressão	Risco de arraste gênico

1. Fundamentos genéticos das espécies autógamas

Espécies autógamas são aquelas em que a fecundação ocorre predominantemente entre gametas do mesmo indivíduo.

Características das flores de plantas autógamas

Cleistogamia (autopolinização antes da abertura da flor) que favorecem a autogamia



Fonte: rubens-plantasdobrasil.blogspot.com/2015.



Fonte: rubens-plantasdobrasil.blogspot.com/2015.



Fonte: EMBRAPA/2025.

Culturas autógamas (com alta taxa de autogamia > 90%)

Arroz (*Oryza sativa*)



Fonte: EMBRAPA (2020)

Soja (*Glycine max*)



Fonte: EMBRAPA (2020)

Feijão (*Phaseolus vulgaris*)



Fonte: EMBRAPA (2020)

Tomate (*Solanum lycopersicum*)



Fonte: Alltech/ campoenegocios.com

Fonte: EMBRAPA (2020)

Culturas autógamas (com maior taxa de fecundação cruzada)

Algodão (*Gossypium hirsutum*)



Fonte: EMBRAPA (2020)

Gergelim (*Sesamum indicum*)



Fonte: EMBRAPA (2020)

Trigo (*Triticum aestivum*)



Fonte: plantnet.org

Efeitos da autofecundação

Geração	Proporção Genotípica (AA : Aa : aa)	% de Homozigotos (AA + aa)
1	25% AA : 50% Aa : 25% aa	50%
2	37,5% AA : 25% Aa : 37,5% aa	75%
3	43,75% AA : 12,5% Aa : 43,75% aa	87,5%
4	46,875% AA : 6,25% Aa : 46,875% aa	93,75%
5	48,4375% AA : 3,125% Aa : 48,4375% aa	96,875%
6	49,2188% AA : 1,563% Aa : 49,2188% aa	98,4375%
7	49,6094% AA : 0,7813% Aa : 49,6094% aa	99,21875%
...	...	...
n (∞)	50% AA : 0% Aa : 50% aa	100%

Base genética em Griffiths (2016); Ramalho (2008).

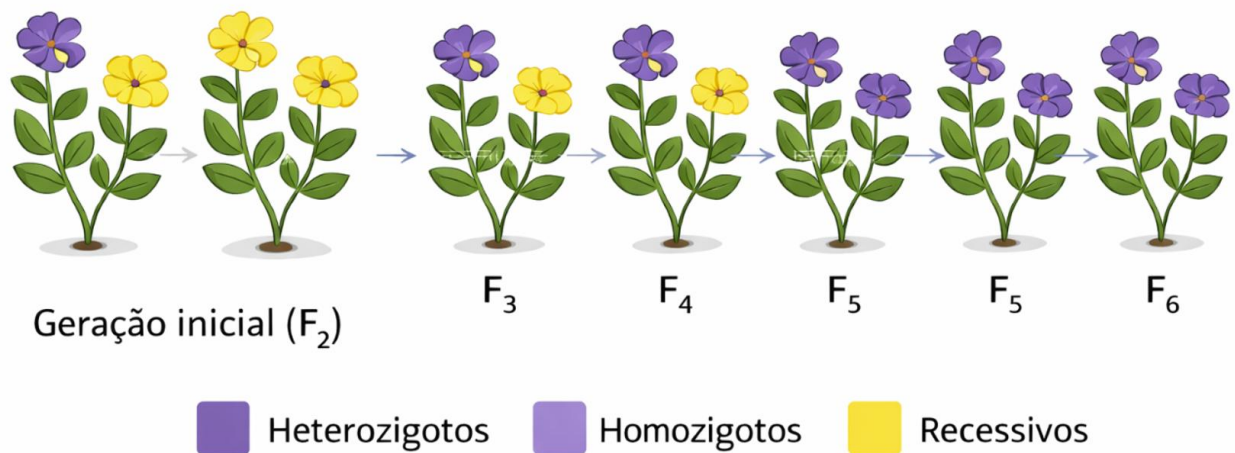
Essa característica, comum em culturas como arroz, trigo, feijão, cevada e em grande parte da soja, provoca aumento gradual da homozigose e redução da heterozigose a cada geração.

Do ponto de vista do melhoramento, a consequência mais importante é a formação de linhas puras: conjuntos de plantas descendentes de um mesmo indivíduo autógamo,

altamente homozigotas e genotipicamente estáveis. Por isso, em autógamias, a unidade de trabalho do melhorista deixa de ser a população ampla e passa a ser a linhagem.

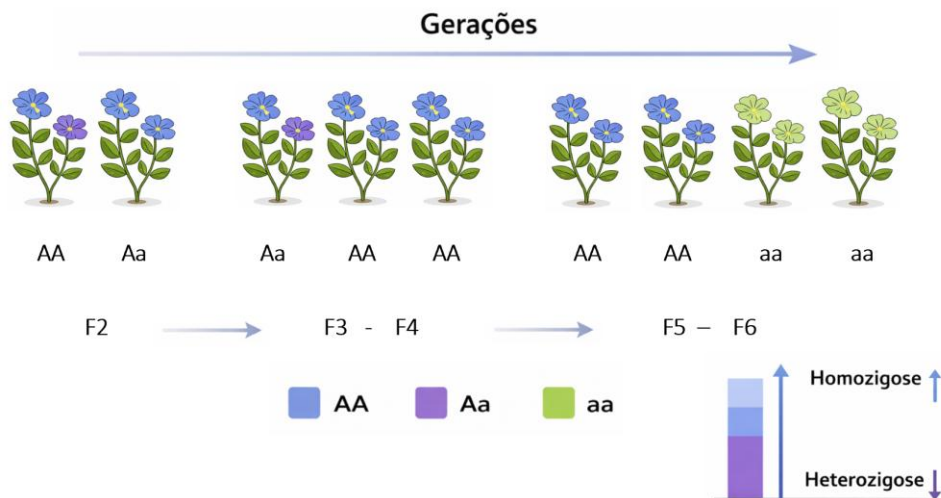
2. Implicações da autofecundação na homozigose

- A heterozigose é reduzida aproximadamente à metade a cada geração de autofecundação.
- A homozigose aumenta progressivamente, favorecendo a fixação de alelos.
- A variabilidade dentro de cada linhagem diminui, mas ainda pode existir variabilidade entre linhagens.
- A exposição de alelos recessivos facilita a identificação de combinações genéticas superiores ou indesejáveis.



Fonte: Elaboração própria, com base em Bueno et al. (2006), Ramalho (2008) e Borém (2009).

Assim, a autogamia não altera diretamente a frequência alélica em sentido simples, mas reorganiza rapidamente a frequência genotípica da população. Essa dinâmica explica por que métodos de seleção em autógamias exploram a fixação gênica como vantagem operacional.

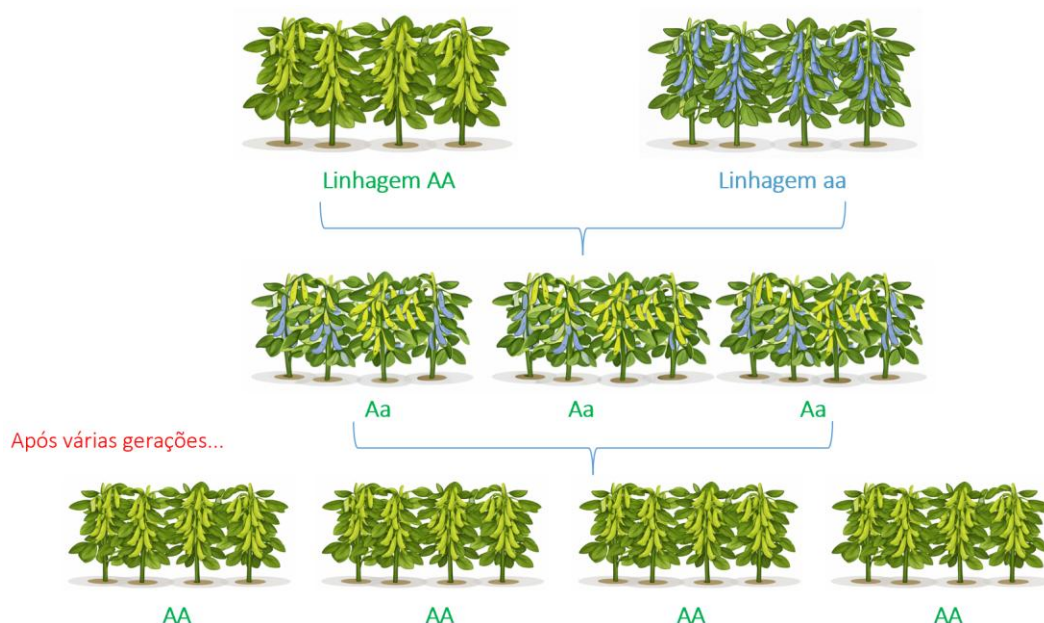


Fonte: Elaboração própria, com base em Bueno et al. (2006), Ramalho (2008) e Borém (2009).

3. Linha pura como unidade de seleção

A teoria das linhas puras mostrou que, dentro de uma linhagem altamente homozigota, a variação observada passa a ser principalmente ambiental. Em consequência, selecionar indivíduos isolados dentro de uma linha pura tende a produzir pouco ou nenhum ganho genético real. O ganho ocorre, sobretudo, na comparação entre diferentes linhagens.

Essa compreensão foi decisiva para os programas de melhoramento de autógamias: o papel do melhorista não é apenas permitir que a homozigose se estabeleça naturalmente, mas gerar variabilidade inicial e selecionar, entre as várias linhagens obtidas, aquelas que exibem melhor desempenho agrônômico, adaptação e estabilidade.



Fonte: Elaboração própria (2026).

4. Fontes de variabilidade genética

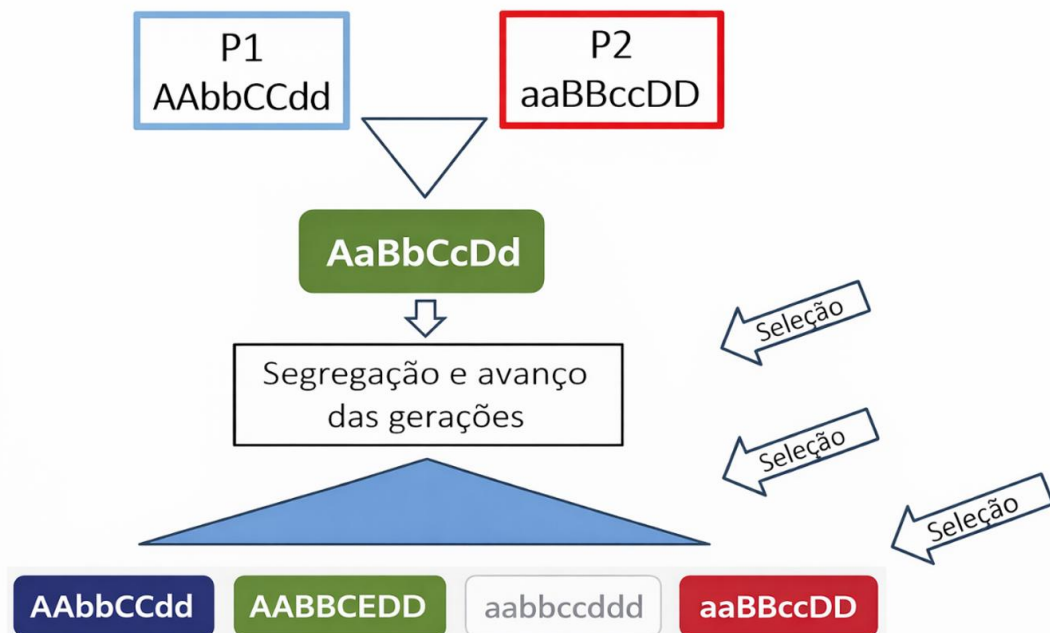
- Cruzamentos planejados entre linhagens parentais contrastantes.
- Introdução de germoplasma exótico ou materiais locais variáveis.
- Mutações induzidas por agentes físicos ou químicos.
- Transferência de genes específicos por retrocruzamento.
- Integração com marcadores moleculares e ferramentas genômicas.

5. Métodos clássicos de melhoramento de autógamias

5.1 Seleção massal

Na seleção massal, plantas superiores são escolhidas visualmente dentro de uma população variável e suas sementes são misturadas para compor a geração seguinte. Em autógamias, esse método é mais útil para ajuste fenotípico gradual em populações já adaptadas do que para criar novas linhagens altamente diferenciadas.

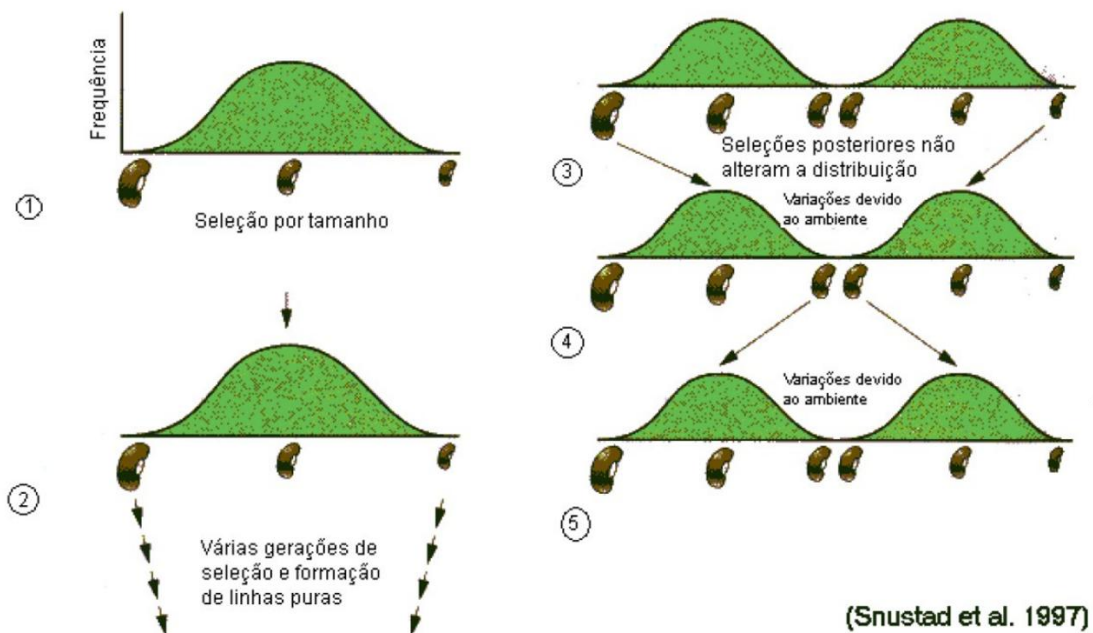
Seu uso é mais defensável em caracteres de alta herdabilidade e fácil observação, como tipo de grão, ciclo, cor ou porte. A principal limitação reside na ausência de controle fino do pedigree e na dificuldade de isolar rapidamente genótipos uniformes.



Fonte: Elaboração própria com base em Ramalho (2008) e Borém (2009).

5.2 Seleção de linhas puras

Quando o objetivo é obter cultivares uniformes e estáveis, selecionam-se plantas individuais superiores e mantêm-se as sementes de cada planta separadas. Na geração seguinte, cada planta origina uma progênie ou linha, que passa por sucessivas gerações de autofecundação e avaliação comparativa. Esse método foi fundamental para o desenvolvimento de muitas cultivares modernas de trigo, feijão e outras autógamas, pois combina fixação gênica progressiva com ensaios experimentais que permitem identificar linhagens agronomicamente superiores.

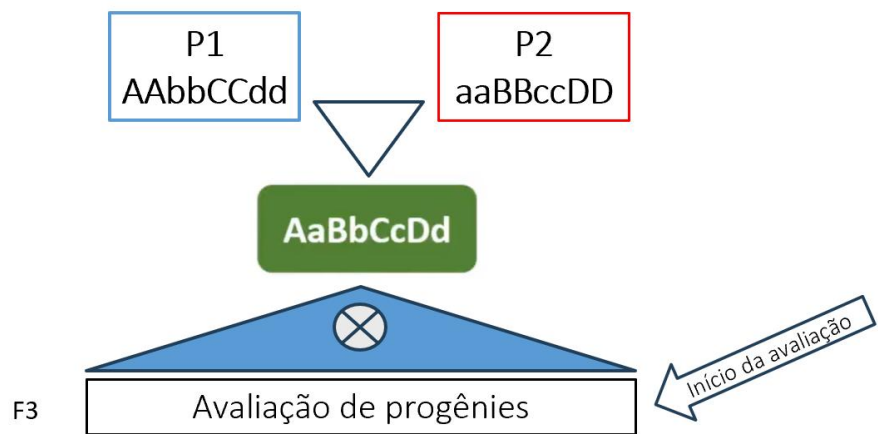


Teoria das Linhas Puras Johansen

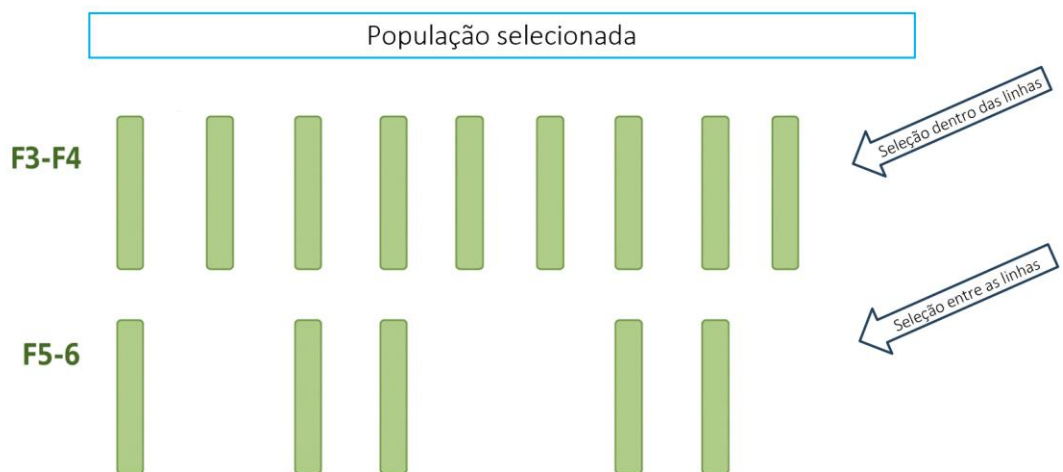
5.3 Método genealógico (Pedigree)

No método genealógico, a seleção é realizada entre e dentro de famílias desde as gerações segregantes iniciais, geralmente a partir de F₂. Cada planta selecionada origina uma família, cuja genealogia é acompanhada nas gerações seguintes (F₃, F₄, F₅ e posteriores).

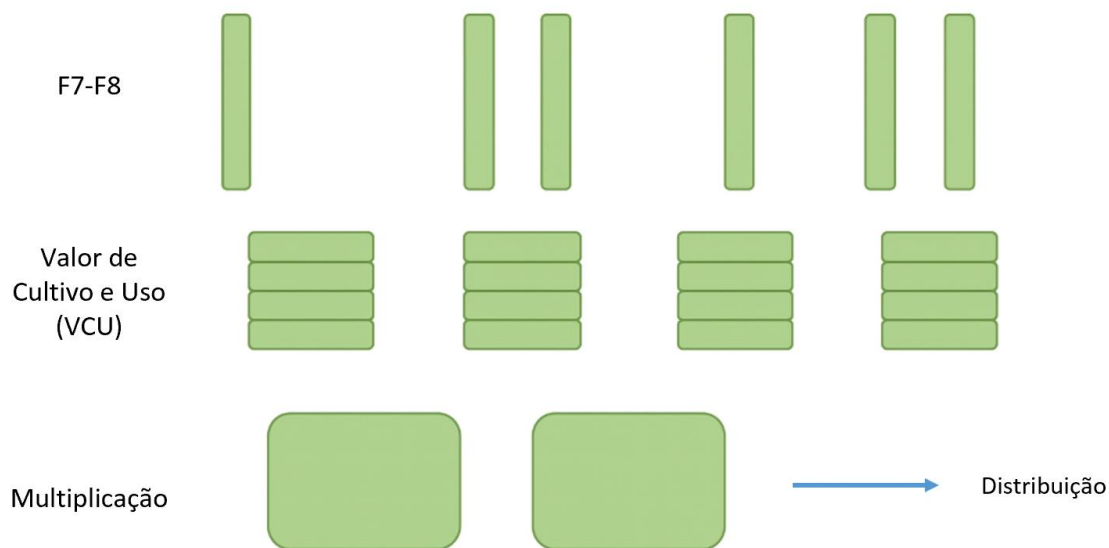
- Vantagens: seleção precoce, rastreamento da origem genética e boa eficiência para caracteres de alta herdabilidade.
- Limitações: elevada demanda de mão de obra, registros detalhados e maior custo operacional.
- Indicação: caracteres qualitativos ou de expressão confiável nas fases iniciais.



Fonte: Elaboração própria, com base em Bueno et al. (2006), Ramalho (2008) e Borém (2009).



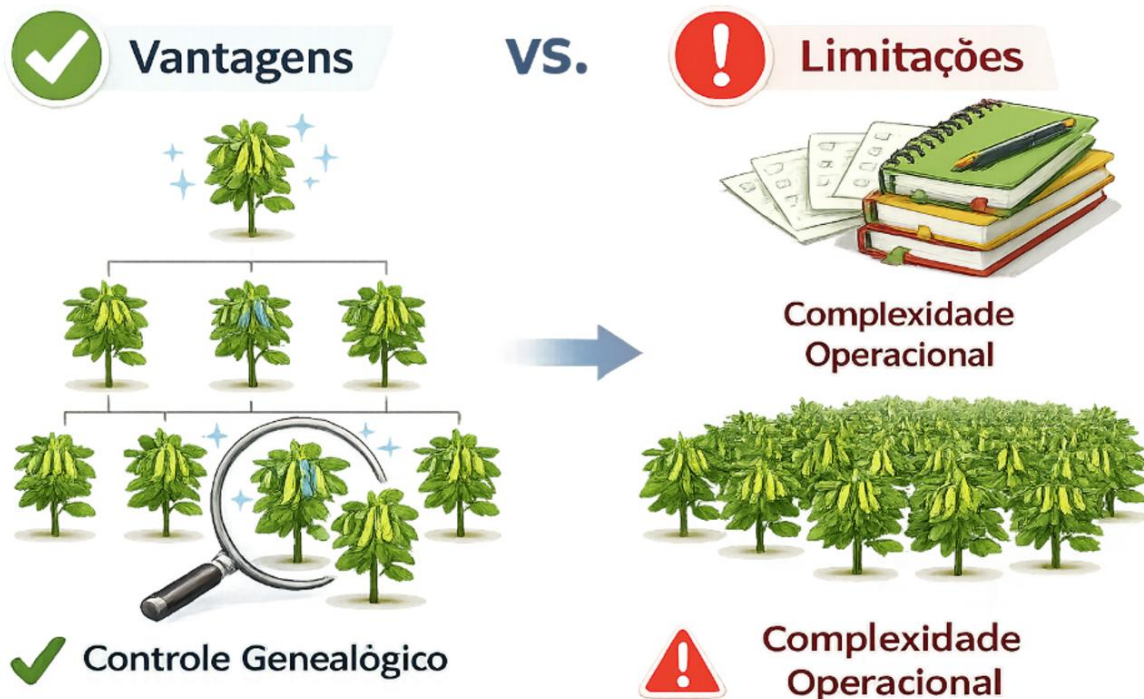
Fonte: Elaboração própria, com base em Bueno et al. (2006), Ramalho (2008) e Borém (2009).



Fonte: Elaboração própria, com base em Bueno et al. (2006), Ramalho (2008) e Borém (2009).

Variância Genética ao Longo das Gerações

Geração	Aditiva		Dominância	
	Entre	Dentro	Entre	Dentro
$F_2:3$	1	$1/2$	$1/4$	$1/2$
$F_3:4$	$3/2$	$1/4$	$3/16$	$1/4$
$F_4:5$	$7/4$	$1/8$	$7/64$	$1/8$
$F_5:6$	$15/8$	$1/16$	$15/256$	$1/16$
$F_6:7$	$31/16$	$1/32$	$31/1024$	$1/32$
F_{∞}	2	0	0	0

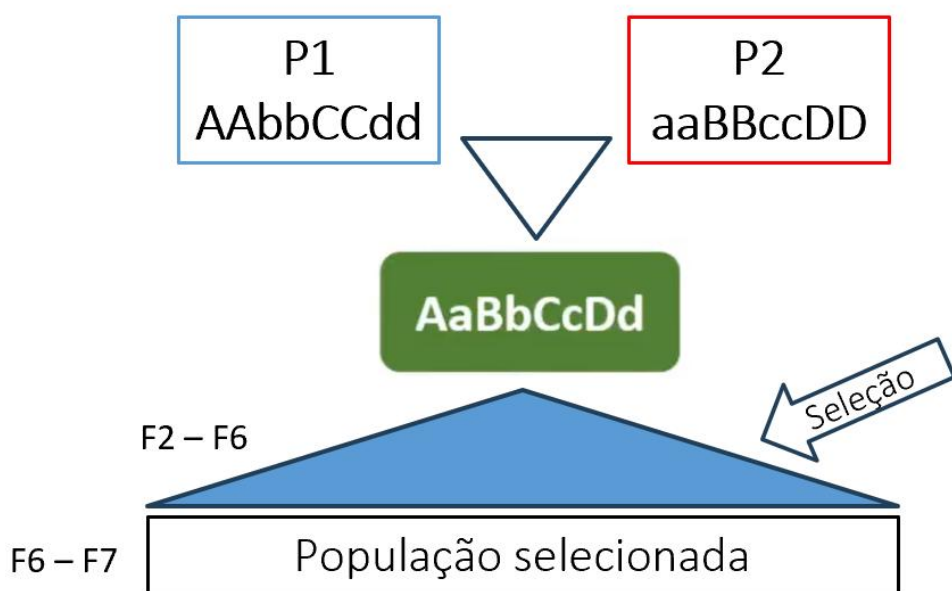


Fonte: Elaboração própria, com base em Bueno et al. (2006), Ramalho (2008) e Borém (2009).

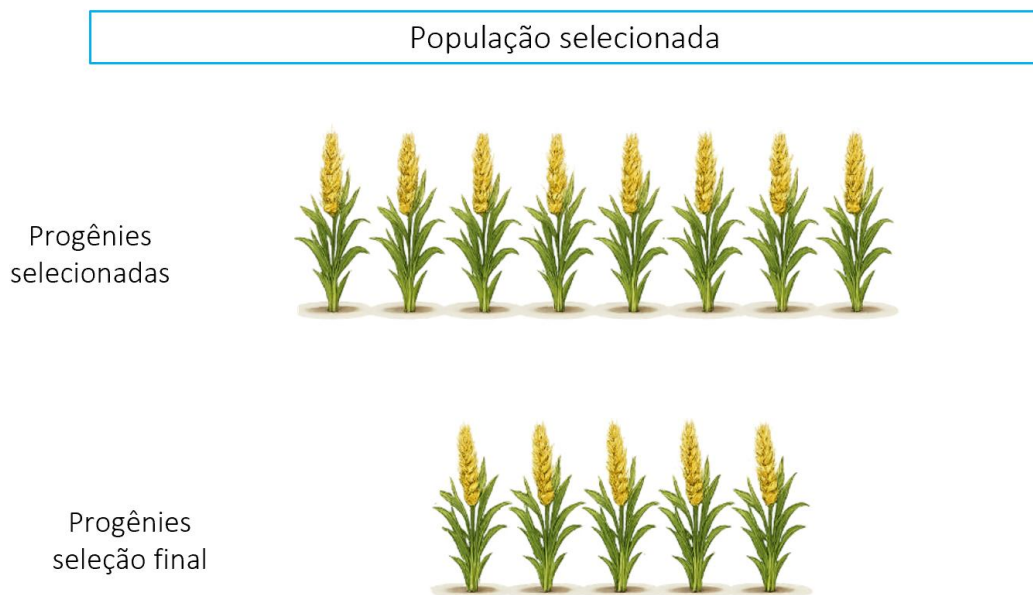
5.4 Método Bulk

O método Bulk conduz a população segregante em massa nas primeiras gerações, com intervenção limitada do melhorista. A seleção natural atua sobre adaptação e vigor relativo, e somente em gerações mais avançadas, quando a homozigose é maior, realiza-se a seleção individual para obtenção de linhagens.

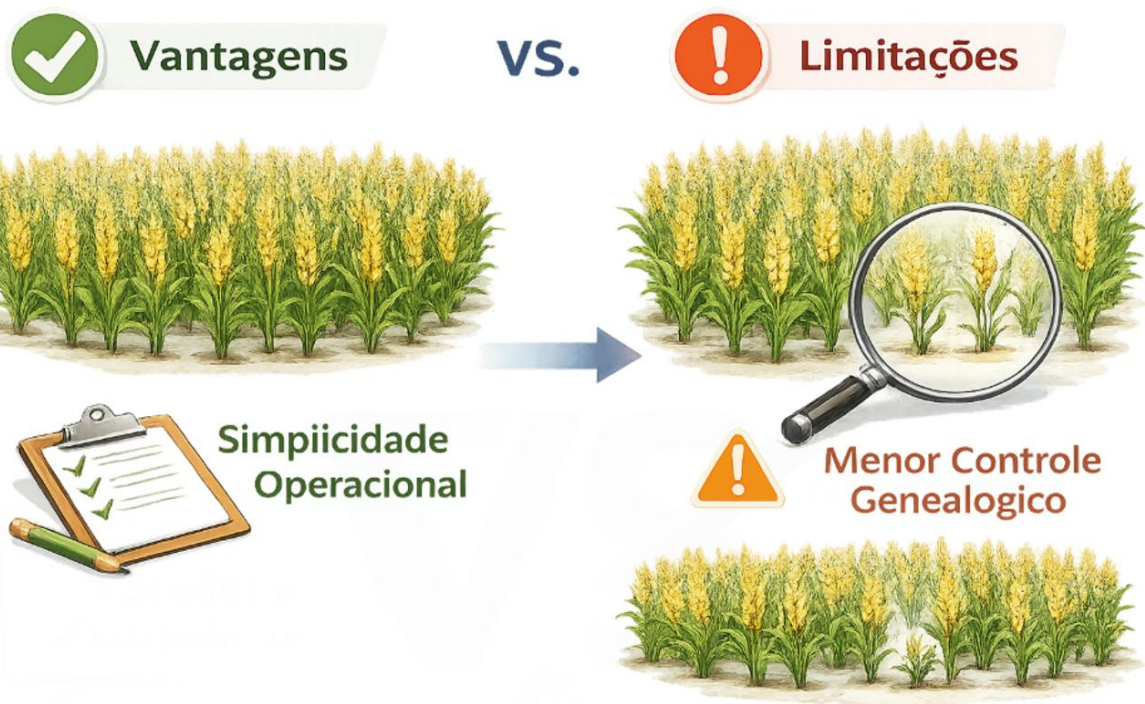
- Vantagens: simplicidade operacional, menor custo nas fases iniciais e aproveitamento da seleção natural.
- Limitações: menor controle sobre a contribuição de cada genótipo e risco de perda de combinações superiores.
- Indicação: caracteres quantitativos e adaptação geral ao ambiente.



Fonte: Elaboração própria, com base em Ramalho (2008) e Borém (2009).



Fonte: Elaboração própria, com base em Bueno et al. (2006), Ramalho (2008) e Borém (2009).

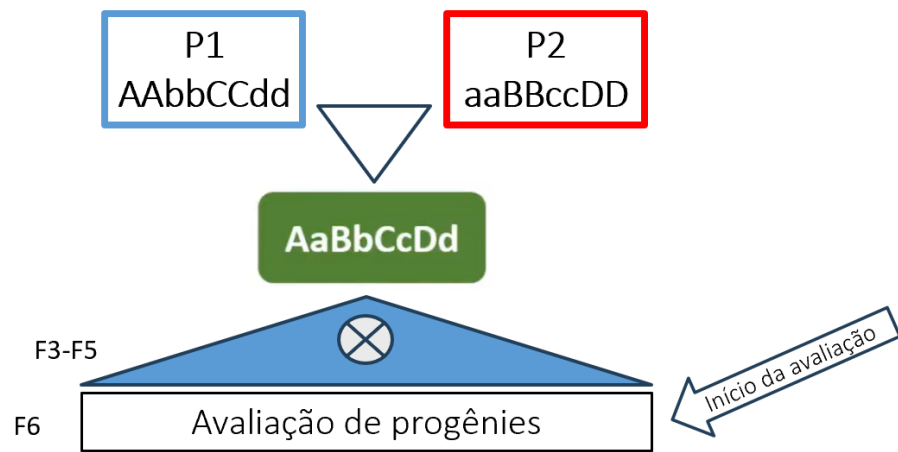


Fonte: Elaboração própria, com base em Bueno et al. (2006), Ramalho (2008) e Borém (2009).

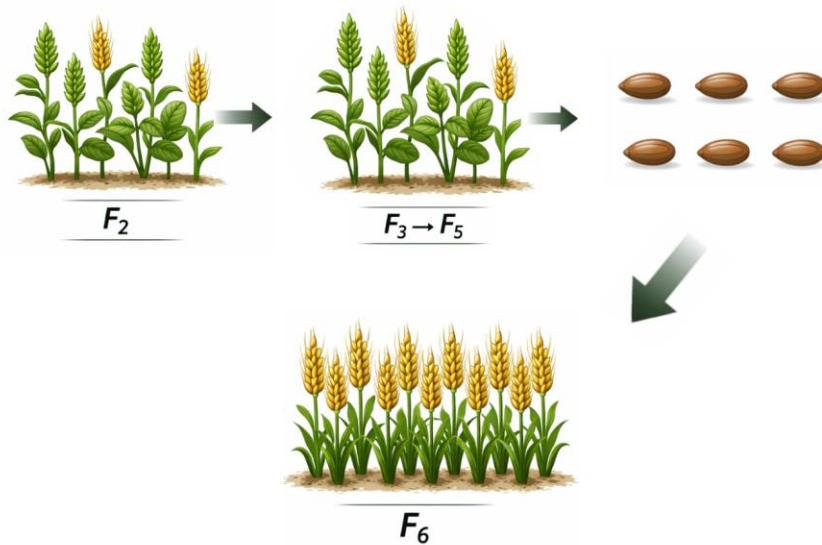
5.5 Single Seed Descent (SSD)

No SSD, coleta-se uma única semente por planta a cada geração segregante. O objetivo é avançar rapidamente as gerações de autofecundação, preservando ampla parte da variabilidade do cruzamento inicial e postergando a seleção fenotípica intensa para fases em que as linhas já estão quase fixadas.

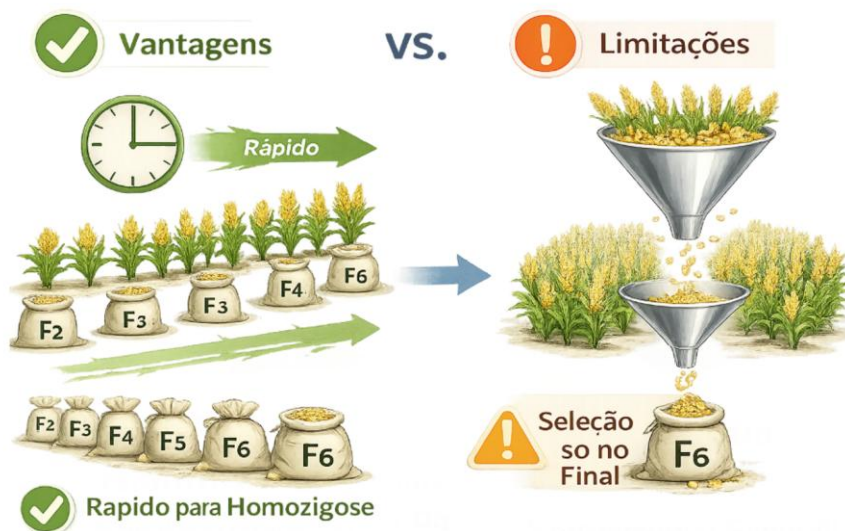
- Vantagens: acelera a homozigose, reduz viés de seleção precoce e pode ser conduzido em casa de vegetação ou safrinha.
- Limitações: mantém muitos genótipos inferiores até fases avançadas e exige estrutura para avanço rápido.
- Indicação: programas com restrição de tempo e seleção posterior para caracteres complexos.



Fonte: Elaboração própria, com base em Bueno et al. (2006), Ramalho (2008) e Borém (2009).



Fonte: Elaboração própria, com base em Bueno et al. (2006), Ramalho (2008) e Borém (2009).

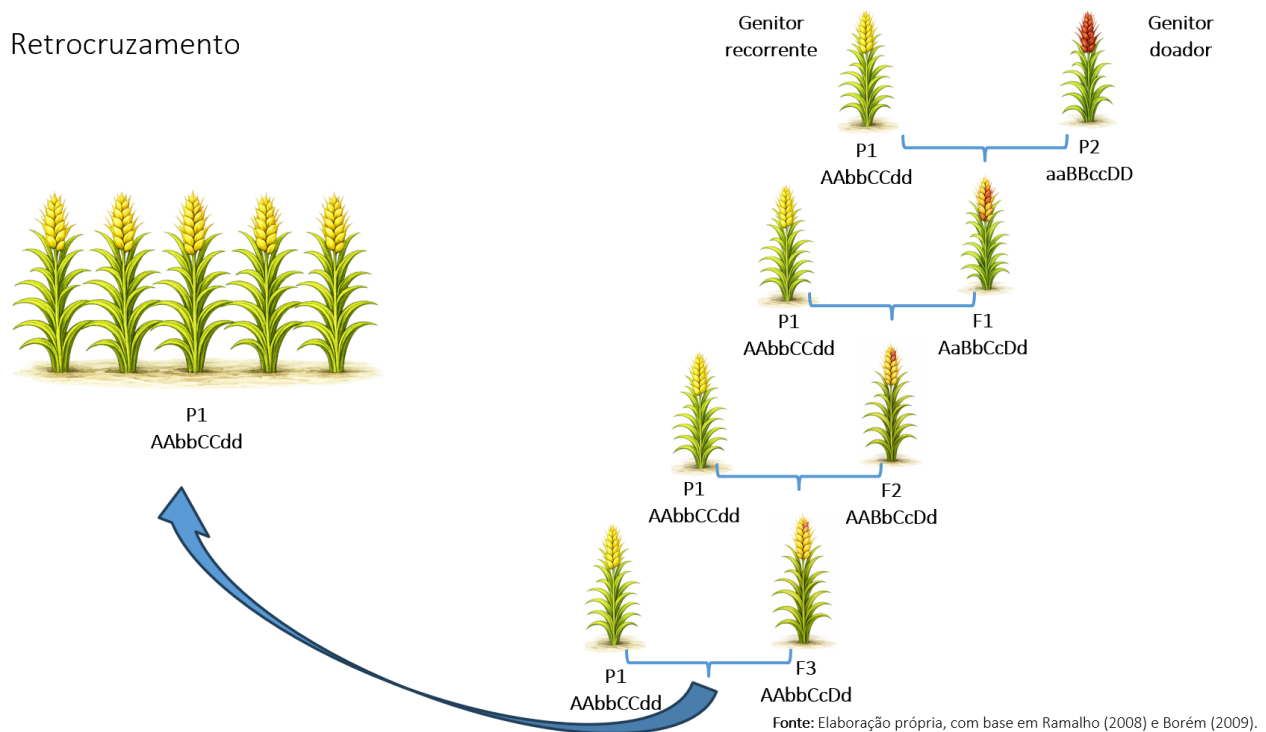


Fonte: Elaboração própria, com base em Bueno et al. (2006), Ramalho (2008) e Borém (2009).

5.6 Retrocruzamento

O retrocruzamento é utilizado quando se deseja introduzir um ou poucos caracteres específicos em uma cultivar elite. Cruza-se o genitor recorrente (cultivar adaptada) com um doador do gene de interesse e, nas gerações seguintes, realiza-se novo cruzamento com o recorrente, selecionando-se sempre os indivíduos portadores do caráter-alvo.

- Vantagens: introgressão precisa de genes, manutenção do desempenho agrônômico do recorrente e alta utilidade para resistência monogênica.
- Limitações: várias gerações de cruzamento, necessidade de seleção rigorosa e risco de arraste gênico (linkage drag).
- Indicação: resistência a doenças, qualidade específica e outros caracteres controlados por poucos genes.



Genitor
recorrente



Genitor
doador

Geração	Geração (n)	% Recorrente	% Doador	Incremento R
F ₁		50 (1/2)	50 (1/2)	—
RC ₁	2	75 (3/4)	25 (1/4)	25%
RC ₂	3	87,5 (7/8)	12,5 (1/8)	12,5%
RC ₃	4	93,75 (15/16)	6,25 (1/16)	6,25%
RC ₄	5	96,88 (31/32)	3,12 (1/32)	3,12%
F _∞	n	$1 - (1/2)^n$	$(1/2)^n$	$(1/2)^n$



Vantagens

VS.



Limitações

BC₁ → BC₂ → BC₃



Genitor Recorrente
(Cultivar Fiice)



Genitor Recorrente
(Cultivar Elite)



Precisão Genética



Linkage Drag



Limitações para
Caracteres Complexos

Fonte: Elaboração própria, com base em Bueno et al. (2006), Ramalho (2008) e Borém (2009).

6. Mutação induzida como fonte de variabilidade

A mutagênese induzida amplia a variabilidade por meio de alterações aleatórias no DNA. Embora a maioria das mutações seja neutra ou deletéria, variantes úteis podem ser rapidamente fixadas em autógamias por autofecundação. Esse método já gerou cultivares em arroz, trigo e cevada, sobretudo para porte, ciclo, resistência e composição do produto.

Seu maior desafio operacional é a triagem de grandes populações para identificar fenótipos raros vantajosos, o que exige observação cuidadosa e posterior validação em ensaios controlados.

7. Multilines e durabilidade de resistência

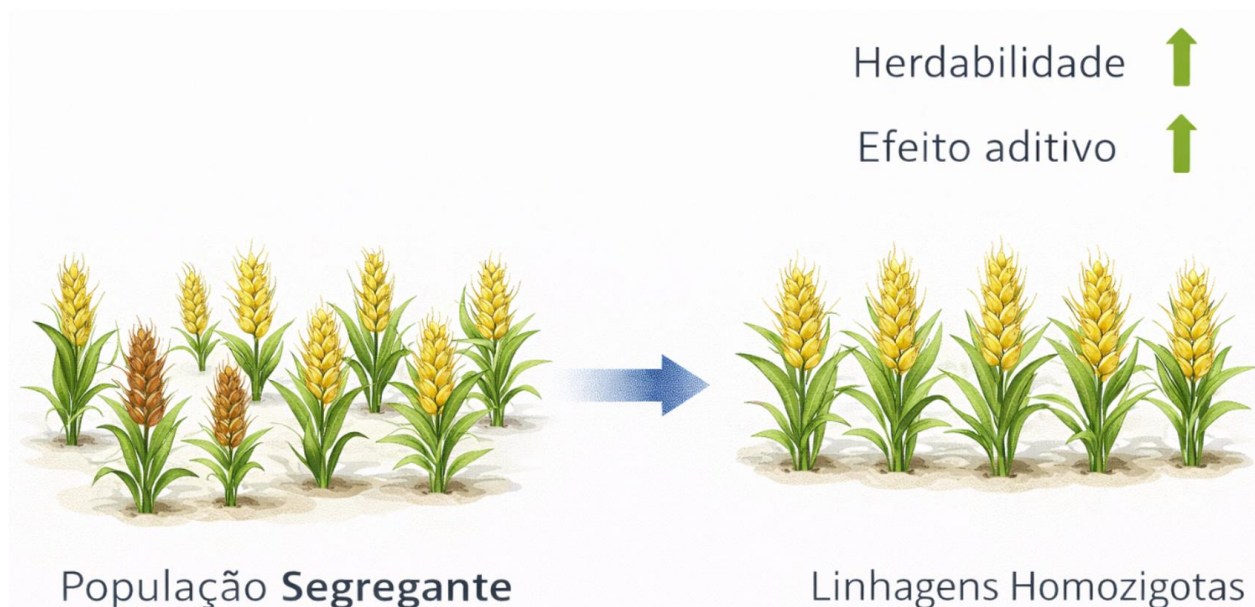
Cultivares multilines resultam da mistura de linhas quase isogênicas, semelhantes para características agronômicas, mas diferentes quanto a genes específicos de resistência. Essa estratégia reduz a vulnerabilidade a epidemias, pois dificulta que uma única raça de patógeno domine toda a lavoura.

A construção de multilines frequentemente envolve retrocruzamentos paralelos para introduzir diferentes genes de resistência em um mesmo fundo genético adaptado.

8. Herdabilidade, efeito aditivo e escolha do método

A escolha do método depende do tipo de caráter e da herdabilidade. Caracteres de alta herdabilidade, como cor da semente ou resistência monogênica, podem ser selecionados precocemente com boa eficiência, favorecendo o método Pedigree ou, em alguns casos, a seleção massal. Já caracteres quantitativos complexos, como produtividade ou tolerância a estresses, respondem melhor quando a seleção ocorre em gerações mais avançadas, como em Bulk e SSD.

Em autógamias, a homozigose progressiva aumenta a expressão estável de efeitos genéticos aditivos nas linhagens. Por isso, a variância aditiva é base central da resposta à seleção e da predição de ganho genético no desenvolvimento de cultivares.



Fonte: Elaboração própria, com base em Bueno et al. (2006), Ramalho (2008) e Borém (2009).

9. Ensaios comparativos e múltiplos ambientes

Independentemente do método utilizado, linhagens promissoras devem ser avaliadas em ensaios comparativos, com delineamentos experimentais adequados, repetição e análise estatística. A superioridade de uma linhagem não pode ser definida apenas por observação inicial; é necessário confirmar estabilidade, adaptabilidade, sanidade e qualidade do produto final ao longo de anos e locais distintos.

Essa etapa final é indispensável para o lançamento de cultivares autógamas, que precisam apresentar desempenho consistente e previsível em condições agrícolas reais.

10. Síntese final

Os métodos de melhoramento de espécies autógamas compõem um conjunto articulado de estratégias que exploram a autofecundação como vantagem genética e operacional. A lógica comum é criar variabilidade, conduzir a homozigose e selecionar, entre linhagens quase fixadas, aquelas que combinam desempenho agrônômico superior, adaptação e estabilidade. Não existe método universalmente superior; a melhor escolha depende do caráter em seleção, da herdabilidade, do tempo disponível e da estrutura do programa de melhoramento.

11. Exercícios objetivos comentados

1. Em culturas como arroz e feijão, a rápida elevação da homozigose decorre principalmente da predominância da autofecundação.

Comentário: a autogamia reduz a heterozigose a cada geração e conduz à formação de linhas puras.

2. O método Pedigree é mais indicado quando o caráter possui alta herdabilidade e exige acompanhamento detalhado da genealogia.

Comentário: nesses casos, o fenótipo reflete melhor o genótipo e a seleção precoce tende a ser eficiente.

3. No método Bulk, a competição entre plantas e o ambiente podem favorecer genótipos mais adaptados antes da seleção individual tardia.

Comentário: essa é a principal justificativa biológica para o uso do método em adaptação geral e caracteres complexos.

4. O SSD é empregado para acelerar a obtenção de linhagens quase puras preservando a variabilidade inicial do cruzamento.

Comentário: a seleção forte é postergada para quando as linhas estão geneticamente mais estáveis.

5. Em retrocruzamentos, o objetivo principal é transferir um caráter específico para uma cultivar elite, mantendo seu fundo genético.

Comentário: por isso o genitor recorrente é utilizado repetidamente ao longo do processo.

12. Atividade de fixação – avaliação formativa

Situação aplicada: um programa de melhoramento de soja, espécie autógama, visa introduzir resistência monogênica a uma doença foliar, aumentar a produtividade e desenvolver nova cultivar adaptada a estresse hídrico. Com base nos fundamentos desta apostila, responda:

- a) Explique como a autofecundação influencia a dinâmica de homozigose nas gerações segregantes.
- b) Compare Pedigree, Bulk e SSD quanto à eficiência para caracteres de alta e baixa herdabilidade.
- c) Indique o método mais adequado para introdução de resistência monogênica e justifique geneticamente.
- d) Analise por que caracteres quantitativos respondem melhor quando a seleção ocorre em gerações mais avançadas.
- e) Explique a importância da variância genética aditiva na resposta à seleção em espécies autógamas.
- f) Justifique por que não existe um método universalmente superior para todas as situações.

13. Referências básicas

ALLARD, R. W. Princípios do melhoramento genético das plantas. Rio de Janeiro: Edgard Blücher/USAID, 1971.

BORÉM, A. Melhoramento de plantas. 5. ed. Viçosa: UFV, 2009.

BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. Melhoramento genético de plantas: princípios e procedimentos. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006.

GRIFFITHS, A. J. F. et al. Introdução à genética. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

RAMALHO, M. A. P. Genética na agropecuária. 4. ed. Lavras: UFLA, 2008.