



Universidade Federal de Lavras  
Departamento de Biologia  
Programa em Genética e Melhoramento de Plantas



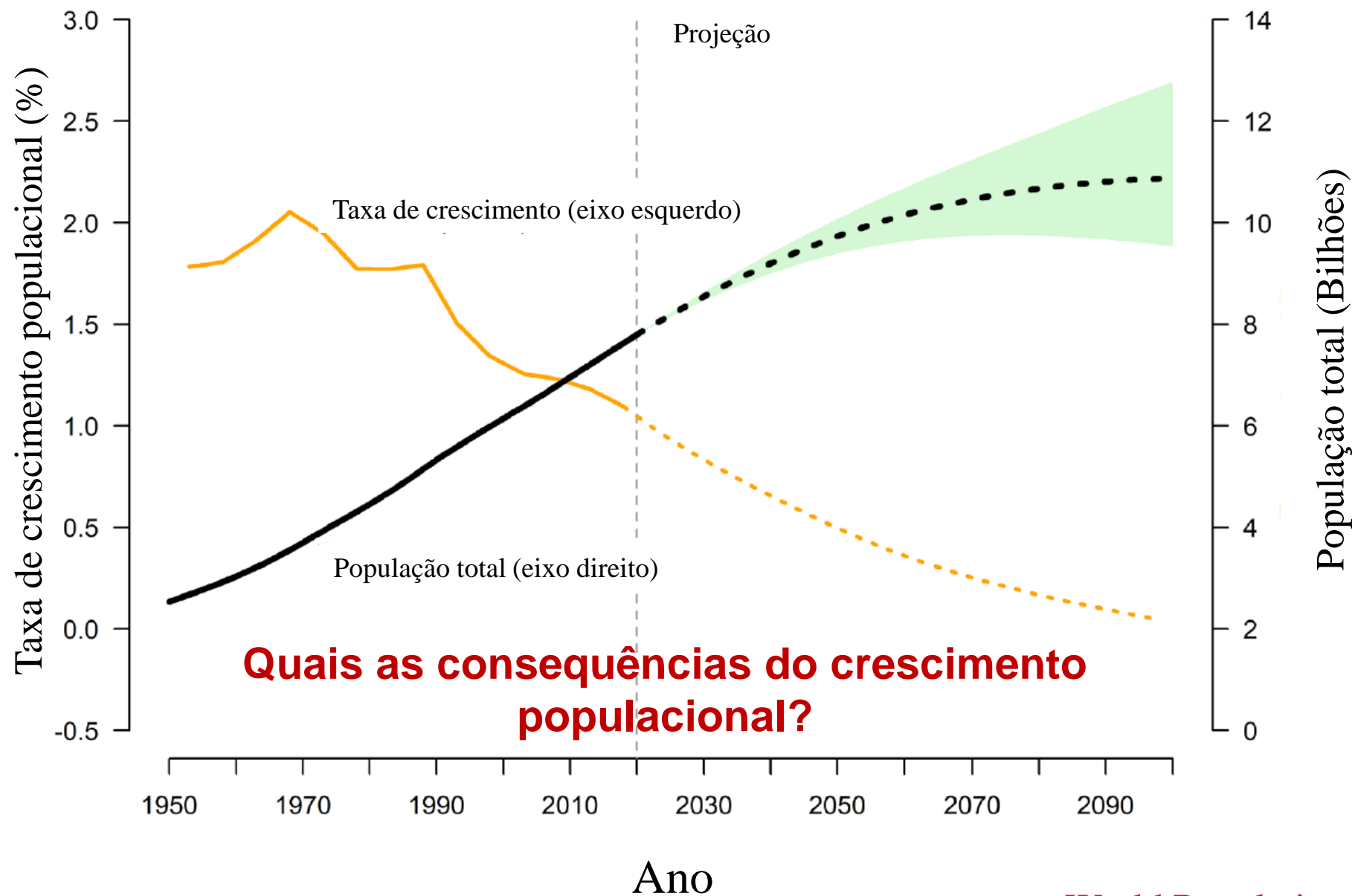
# PGM522: Análise de Experimentos em Genética e Melhoramento de Plantas

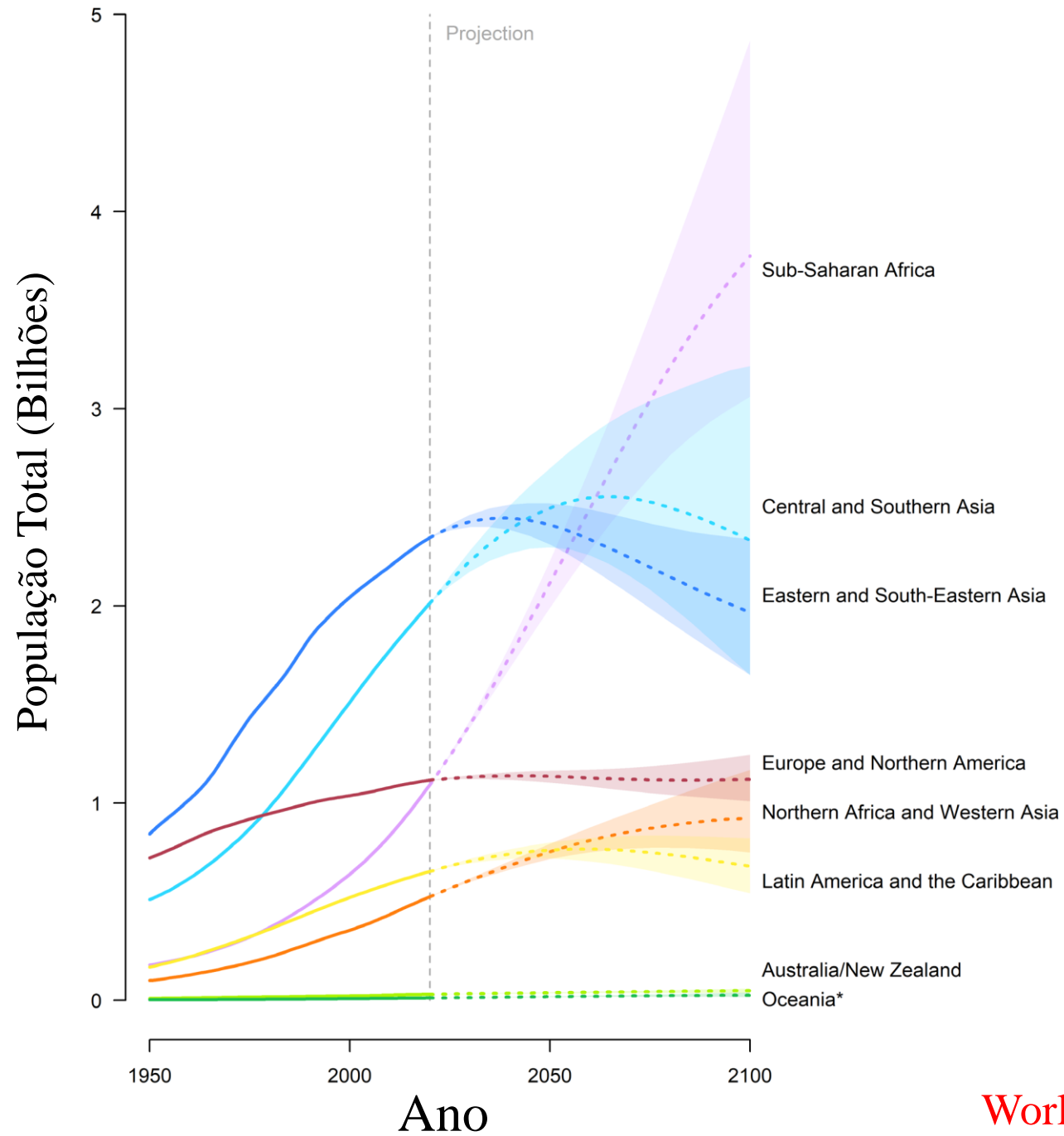
## Aula 01: Introdução ao Melhoramento de Plantas

Vinícius Quintão Carneiro  
[vinicius.carneiro@ufla.br](mailto:vinicius.carneiro@ufla.br)



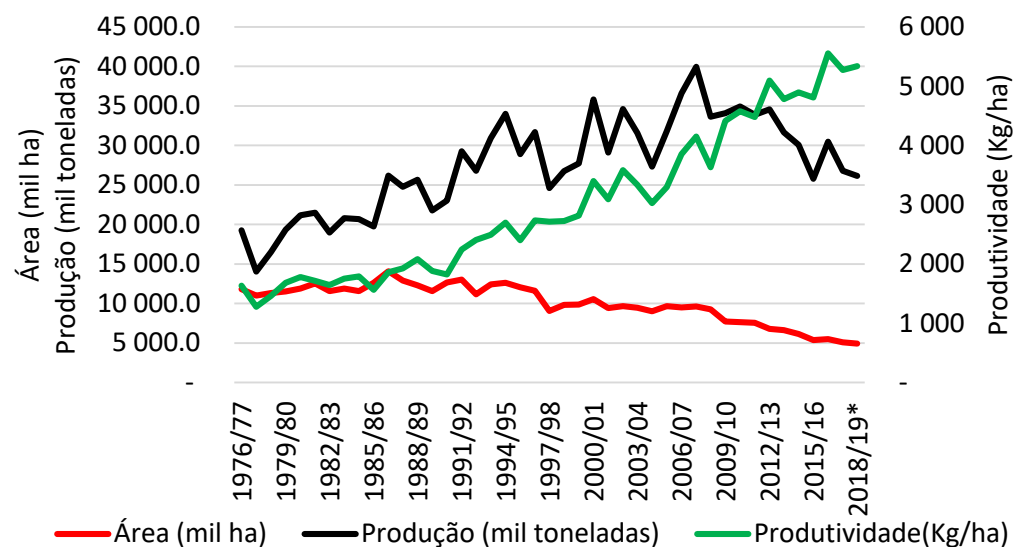
# POPULAÇÃO MUNDIAL



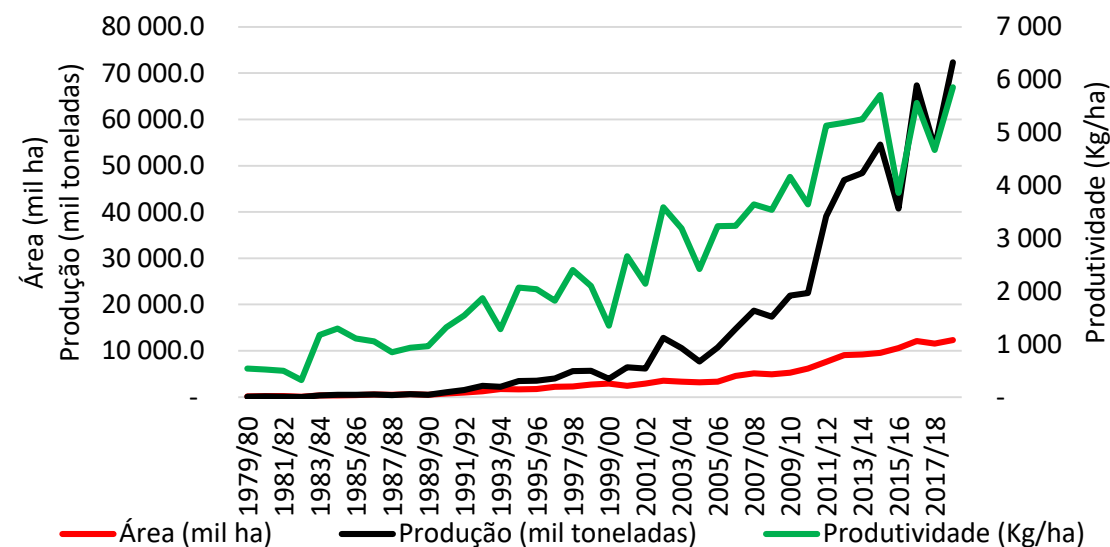


# Séries Históricas - Milho

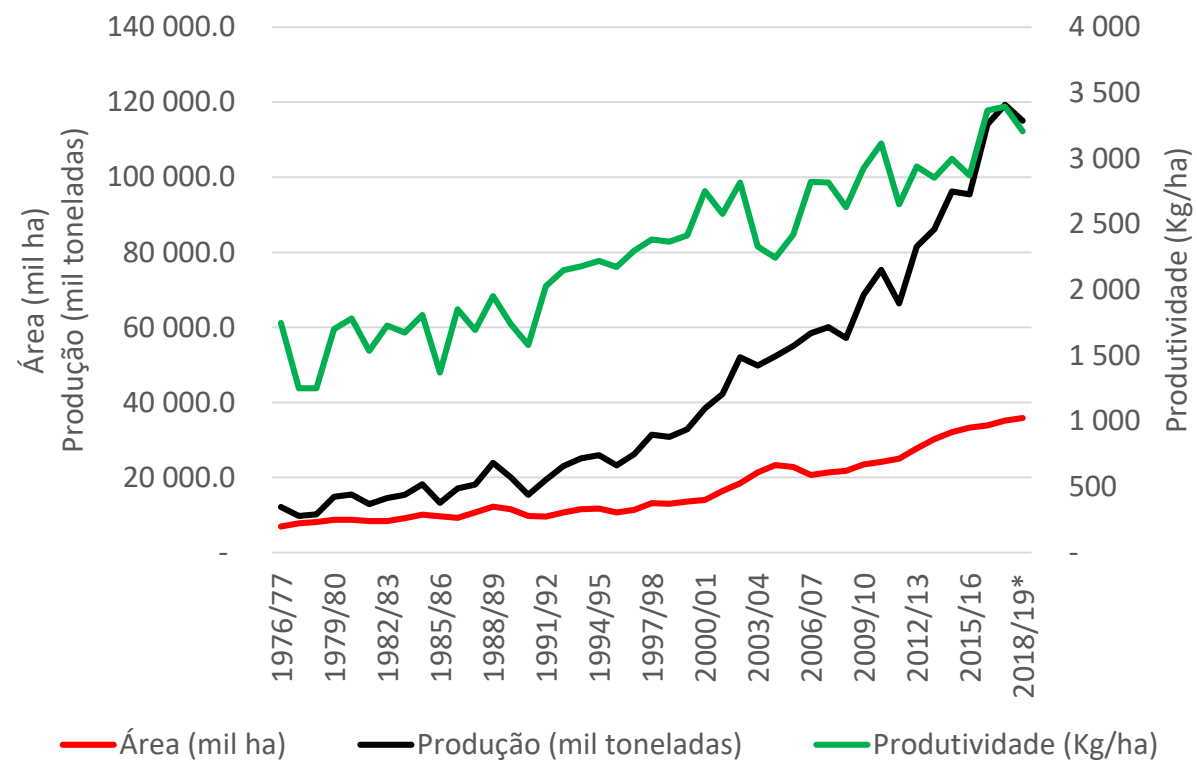
## Milho 1ª Safra



## Milho 2ª Safra

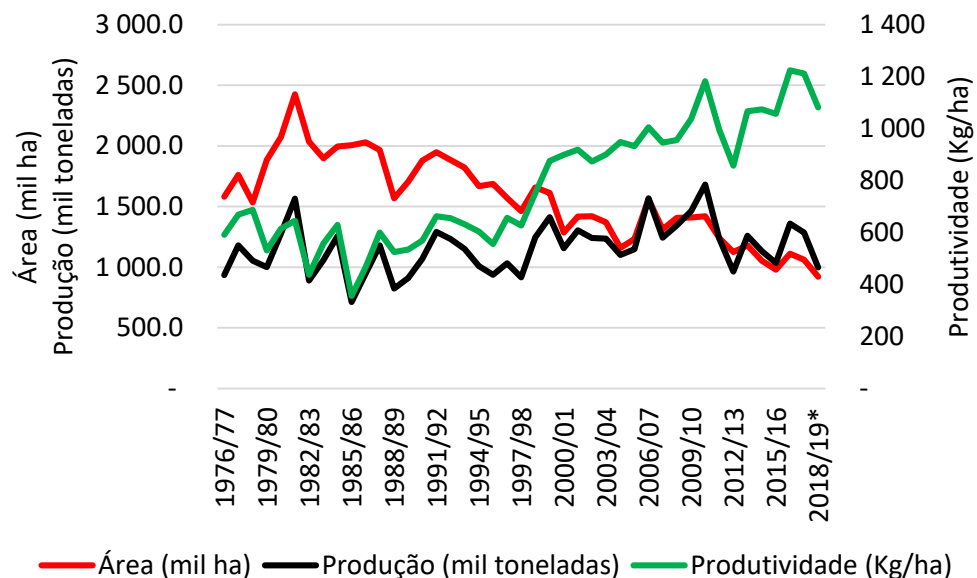


# Série Histórica - Soja

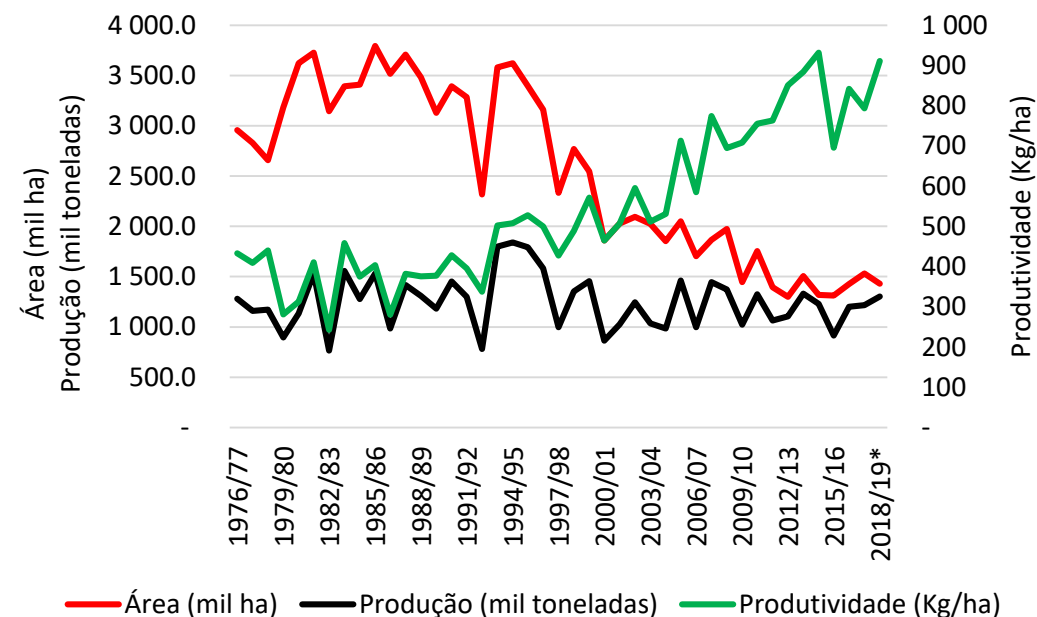


# Série Histórica - Feijão

## Feijão 1ª Safra (Águas)

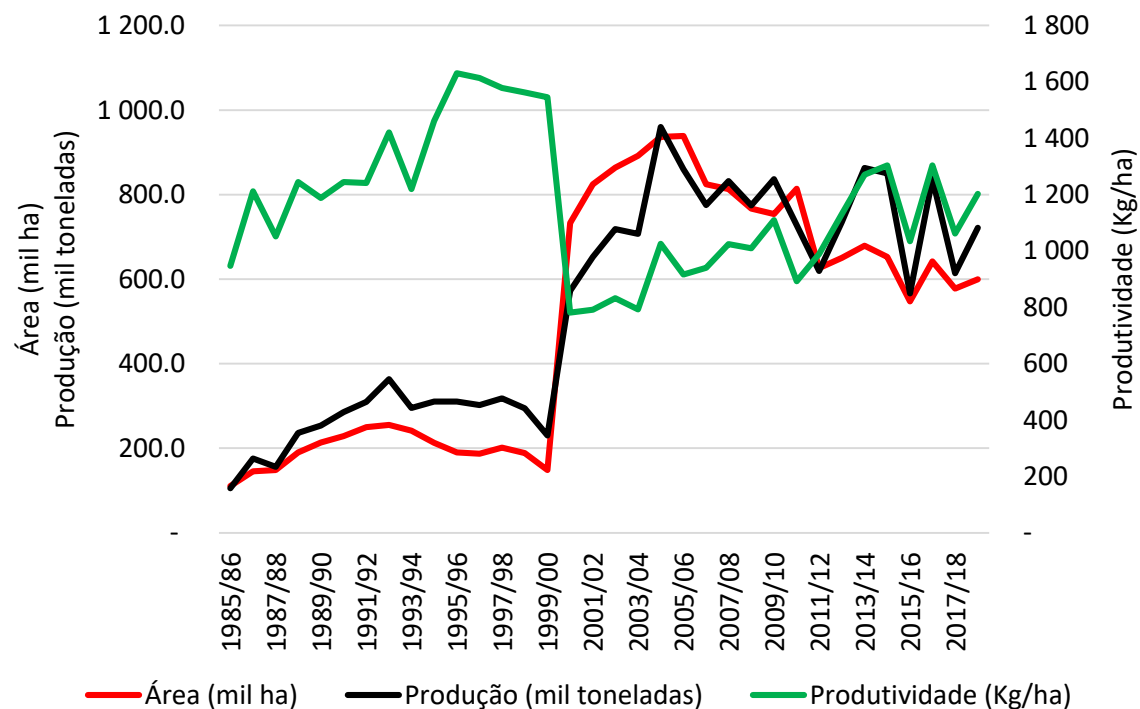


## Feijão 2ª Safra (Seca)



# Série Histórica - Feijão

## Feijão 3ª Safra (outono-inverno)



# Melhoramento de Plantas

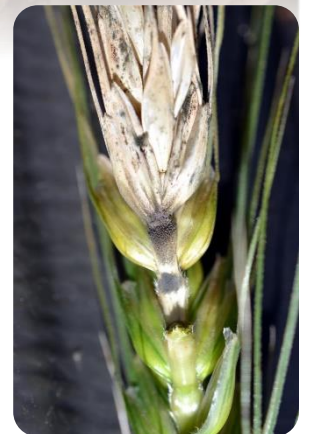
Alteração da frequência alélica das plantas para benefício do homem (Bernardo, 2002).

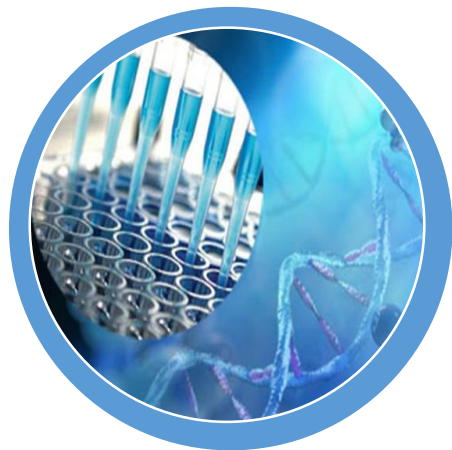




# Melhoramento de Plantas

- Objetivo: Desenvolver cultivares superiores às disponíveis no mercado, quanto a:
  - Produtividade
  - Qualidade comercial
  - Qualidade tecnológica
  - Resistência aos principais patógenos
  - Tolerância a estresses abióticos





**Fe**notipagem



# Estratégias de Melhoramento



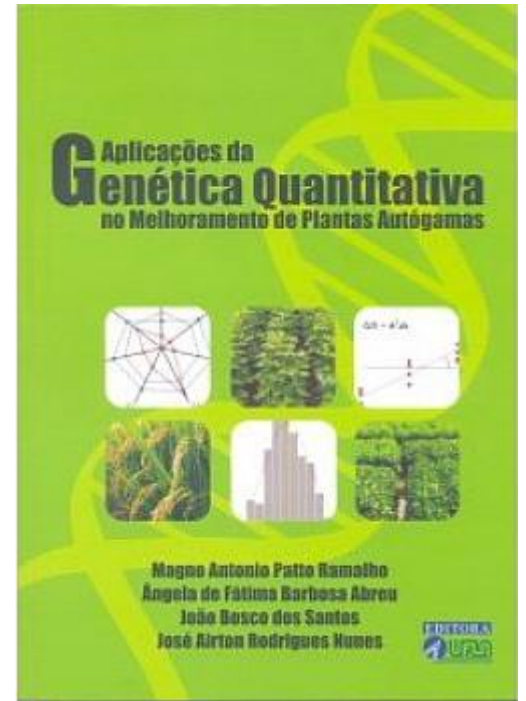
- Introdução de Plantas



- Seleção de Linhas puras




- Hibridação
  - Métodos de condução de populações segregantes
  - Seleção Recorrente




Capítulos 8 e 9

# Fases de um programa de Melhoramento do Feijoeiro

**PRE - MELHORAMENTO**  
(Banco de germoplasma)

- 
- Caracterização dos recursos genéticos
  - Conservação dos recursos genéticos
  - Exploração da variabilidade disponível

**MELHORAMENTO**  
(Hibridação)

- 
- Inicial – Obtenção de populações segregantes
  - Intermediária – Condução das populações segregantes
  - Final – Avaliação e recomendação de cultivares



**MELHORAMENTO  
(Hibridação)**

**Inicial**



**Obtenção da  
população  
segregante**

**Seleção de genitores**

**Realização dos cruzamentos**

**Intermediária**



**Condução das  
populações  
Segregantes**  
**(Avanços de gerações/  
obtenção das linhagens)**

**Relação entre caracteres  
correlação  
análise de trilha**

**Seleção  
direta  
indireta  
simultânea**

**Final**



**Avaliação e  
recomendação  
De cultivares**

**Interação genótipos x ambientes**

**Estratificação ambiental**

**Adaptabilidade e estabilidade**

# Seleção de Genitores

## Qual o objetivo?

- Obter uma população segregante com média favorável associada a variabilidade desejada para o caráter sob seleção
- Informações dos genitores:
  - Média
  - Coeficiente de parentesco
  - Origem
  - Divergência genética
- Informações do comportamento da descendência:
  - Dialelos
  - Estimativa  $m+a$  e  $d$
  - Estimativa da probabilidade de obter linhagens que superem uma testemunha na  $F_{\infty}$  (Jinck's e Pooni, 1976)

# Obtenção da População Segregante


Que tipo de Cruzamentos Utilizar? (Carneiro, 2002)

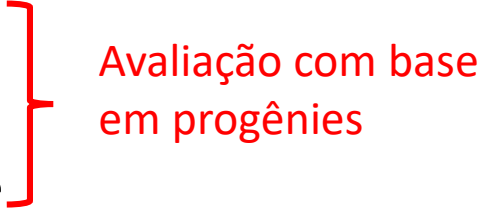
Biparentais X Duplos X Multiplos

Número de progênies entre as 50 mais produtivas nos diferentes tipos de híbridos.  
Dados de gerações  $F_{2:4}$ ,  $F_{2:5}$  e  $F_{4:6}$  oriundas dos diferentes tipos de híbridos.

Populações	Gerações		
	$F_{2:4}$	$F_{2:5}$	$F_{4:6}$
HS 1/3	2	1	8
HS 6/8	1	3	-
HS 2/4	4	-	6
HS 5/7	-	4	5
HS	7	8	19
HD 1/3//6/8	3	15	4
HD 2/4//5/7	16	6	14
HD	19	21	18
HM	24	21	13

# Processos de condução de populações segregantes

- Categorias:
  - Fases de endogamia e seleção conjuntamente
    - Método massal
    - Método Genealógico

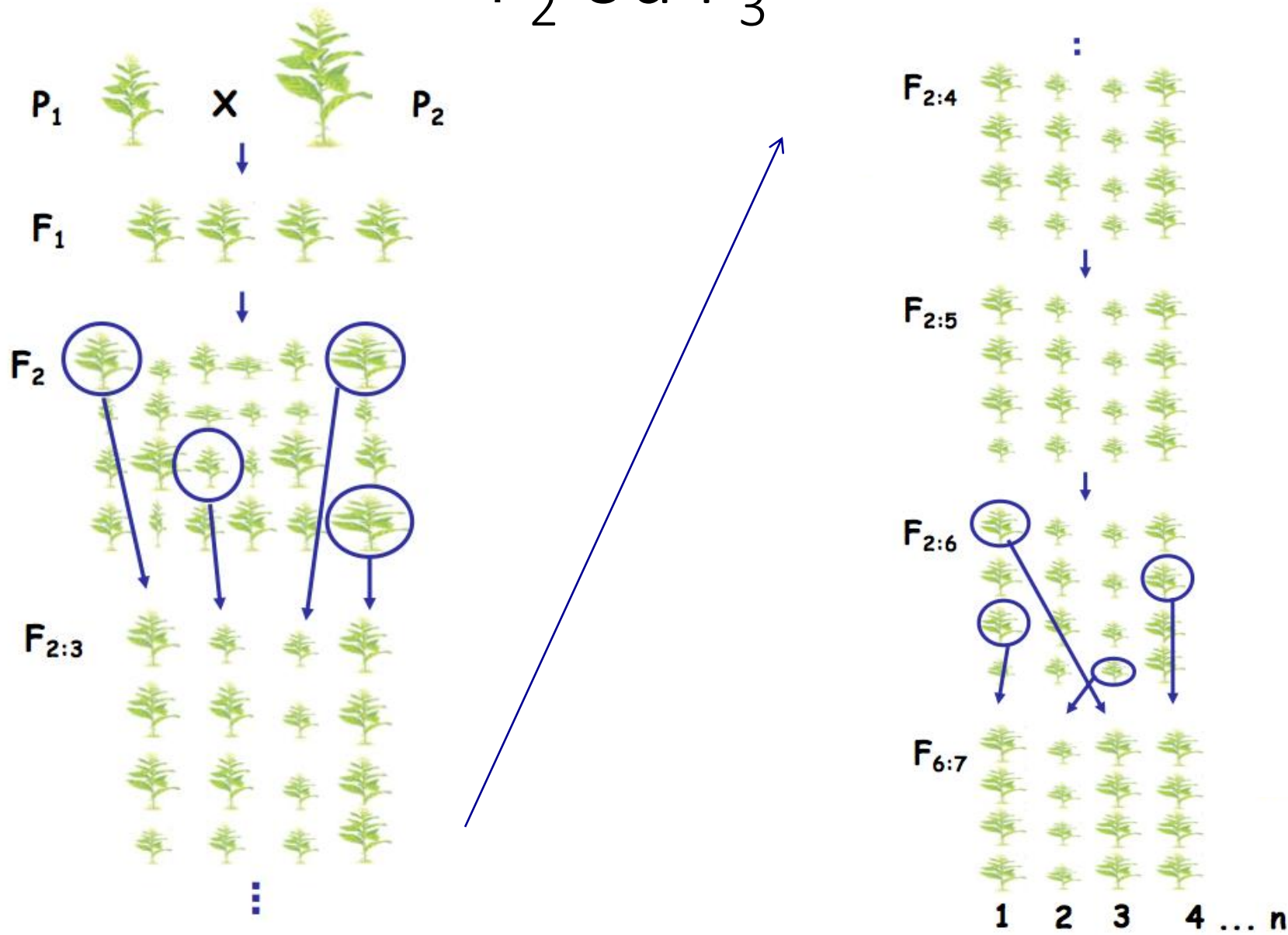
Avaliação visual
  - Fases de endogamia e seleção separadas
    - Método do bulk
    - Método SSD e SPD
    - Método do bulk dentro de progênie

Avaliação com base em progênies



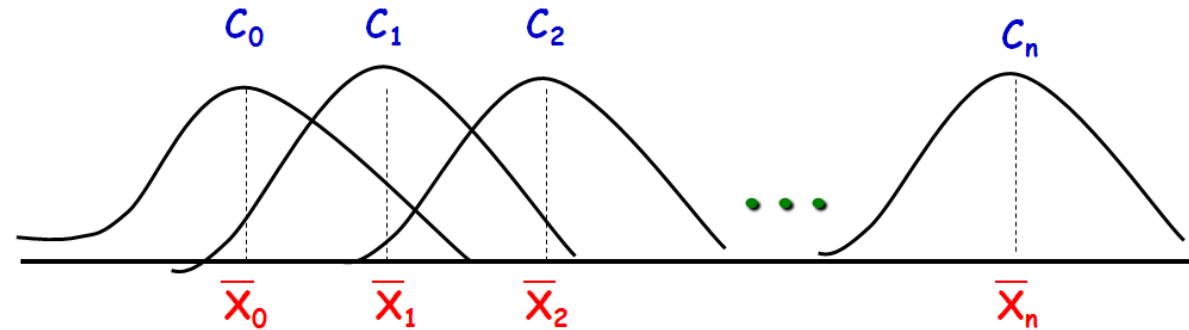
# Método Bulk dentro de progênies

## $F_2$ ou $F_3$



# Seleção Recorrente

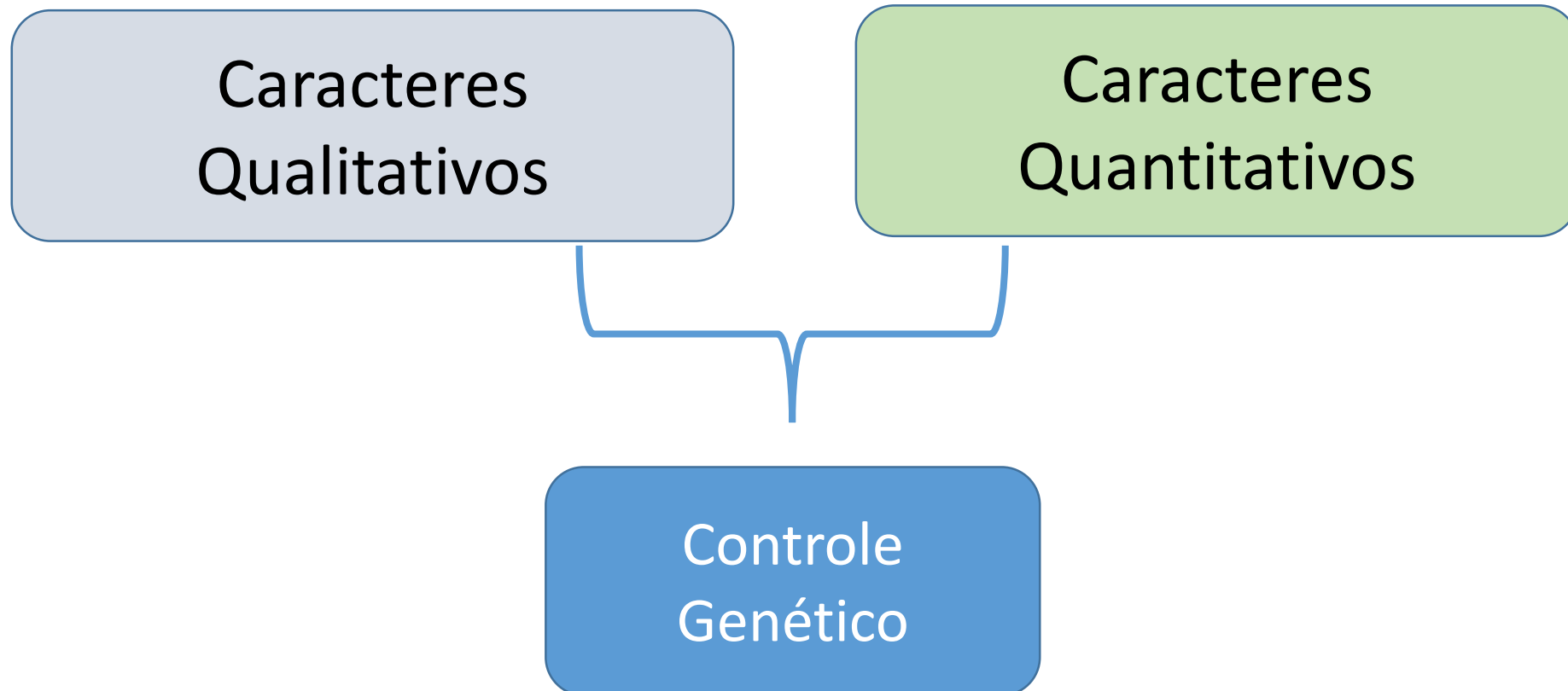
Processo cíclico de melhoramento que envolve a obtenção da população base, avaliação e seleção de indivíduos ou progênies e recombinação dos melhores.



**Aumentar média, sem reduzir expressivamente a variabilidade da população**

# Natureza dos Caracteres

**Característica, caráter, caractere ou variável:** atributos utilizados para definir ou identificar um indivíduo ou um conjunto de indivíduos.



# Conceitos Importantes

- **FENÓTIPO:** Diferentes manifestações de um dado caráter

Caráter	Fenótipos
Reação a patógenos ( <i>Colletotrichum lindemuthianum</i> )	Resistente e Suscetível
Cor da flor	Branca, Rosa e Roxa
Porte do feijoeiro	Ereto, semi-ereto, semi-prostrado e prostrado
Produtividade de grãos	1500 kg/ha, ....., ....., 3000 kg/ha



# Caracteres Qualitativos

Controlado por um ou poucos genes

Pouco ou nenhum efeito ambiental



- Cor do hipocótilo
- Hábito de crescimento
- Cor da flor

Classes fenotípicas distinguíveis (distribuição discreta)



VV



$v^{lae}v^{lae}$



vv

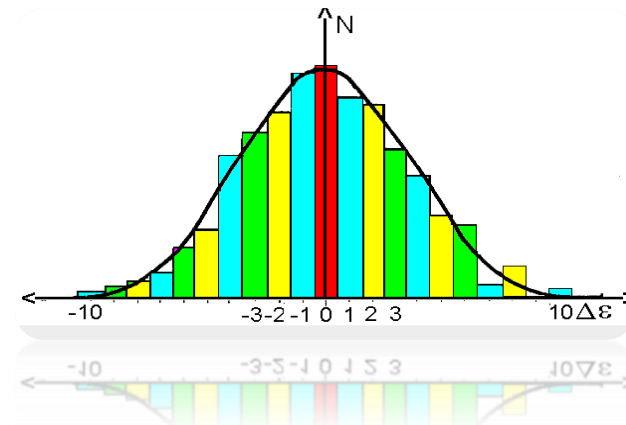
# Caracteres Quantitativos

Controlado por muitos genes

Efeito pronunciado do ambiente



Classes fenotípicas são de difícil distinção  
(distribuição contínua)



# Exemplo

**Contribuição de cada alelo efetivo e número de fenótipos existentes na geração  $F_2$  , com diferentes números de genes controlando o caráter peso de sementes do feijão**

Número de genes	Número de alelos totais	Número de fenótipos	Contribuição de cada alelo efetivo* (mg)
1	2	3	133,00
2	4	5	66,50
3	6	7	44,30
4	8	9	33,25
5	10	11	26,60
10	20	21	13,60
100	200	201	1,33
⋮	⋮	⋮	⋮
n	$m = 2n$	$2n + 1$	$266/m$

\* Considerando hipoteticamente ausência do efeito ambiental e a diferença entre os genitores de 266 mg.

# Genética Quantitativa

Estudo da herança e variação dos caracteres quantitativos

- Como é feito o estudo de herança de características quantitativas?

Baseado no modelo básico

$$F = G + E$$

Valor fenotípico      Valor genotípico      Valor atribuído aos desvios do meio



# Exemplo

Indivíduos	População 1	População 2
	$G + M = F$	$G + M = F$
1	$74 - 2 = 72$	$80 + 7 = 87$
2	$70 - 7 = 63$	$87 - 4 = 83$
3	$72 + 2 = 74$	$84 + 1 = 85$
4	$71 + 5 = 76$	$30 - 4 = 26$
5	$70 + 7 = 77$	$10 + 1 = 15$
6	$73 - 1 = 72$	$25 - 5 = 20$
7	$74 - 4 = 70$	$40 + 4 = 44$

Parâmetros	População 1	População 2
Média (F)	72	51,4
Variância (F)	21,7	1067,6
Média (G)	72	50,9
Variância (G)	3	1024,1
Média (M)	0	0
Variância (M)	24,7	20,7

# Parâmetros Genéticos

- Propriedades genéticas de uma população
  - Média
  - Variância
  - Covariância
- Utilidade:
  - Avaliar o potencial de populações segregantes
  - Realizar seleção e predição do ganho
  - Estabelecer estratégias eficazes de seleção

# Componentes de variância

- Modelo:  $F = G + M$
- $V(F) = V(G) + V(M) + 2Cov(G, M)$

## Componentes da Variância Genotípica

- $V(G) = V(A) + V(D) + V(I)$
- $V(A)$ : Variância aditiva - **Fração herdável**
- $V(D)$ : Variância de dominância
- $V(I)$ : Variância epistática  $V(I) = V(AA) + V(AD) + V(DD)$

# Variância genética aditiva

- Variância dos valores genéticos aditivos
- Mede a variação devido ao efeito médio dos alelos que é transmitido de uma geração para outra

## IMPORTÂNCIA

- Predizer as alterações na média da população devido a seleção

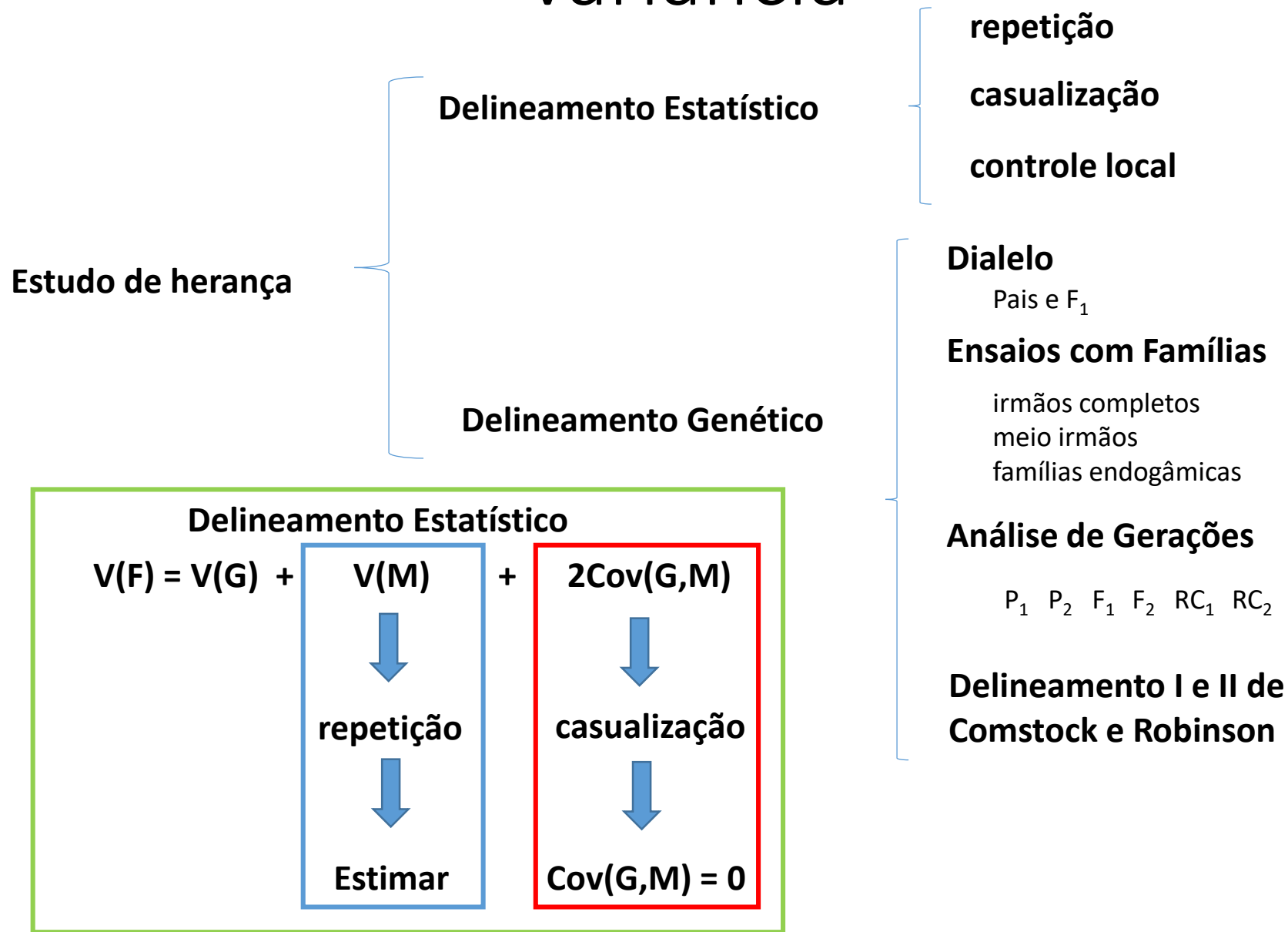
# Variância genética de dominância

- Variância dos valores genéticos de dominância

## IMPORTÂNCIA

- Predição do êxito na confecção de híbridos heteróticos
  - Produção de híbridos na cultura do feijão?
    - Cleistogamia, textura do pólen, taxa de pegamento dos cruzamentos e número de sementes geradas por cruzamento.
- Fator perturbador na identificação de genótipos superiores em populações segregantes

# Estimação dos componentes de variância





# Herdabilidade

- Proporção da variabilidade existente em uma população segregante que é de natureza genética.
  - Herdabilidade no sentido amplo ( $h_a^2$ ) =  $V_G/V_F$
  - Herdabilidade no sentido restrito ( $h_r^2$ ) =  $V_A/V_F$
- Estima a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor genético (*breeding value*)



Predição de Ganho - Recombinação

# Predição do Ganho

- Possibilita avaliar a estratégia adotada e procurar alternativas para melhorar a eficiência do processo.
- Predição de Ganho
  - Sem recombinação – Métodos de condução de população segregante
  - Com recombinação - Seleção recorrente  **$GS = h^2DS$**

## MELHORAMENTO GENÉTICO

População Original



População Melhorada



Observador

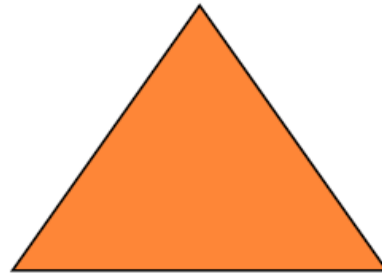


Observador + Conhecimento científico



Observador + Conhecimento científico + Informação Processada

Recursos



Mão de obra

Tempo



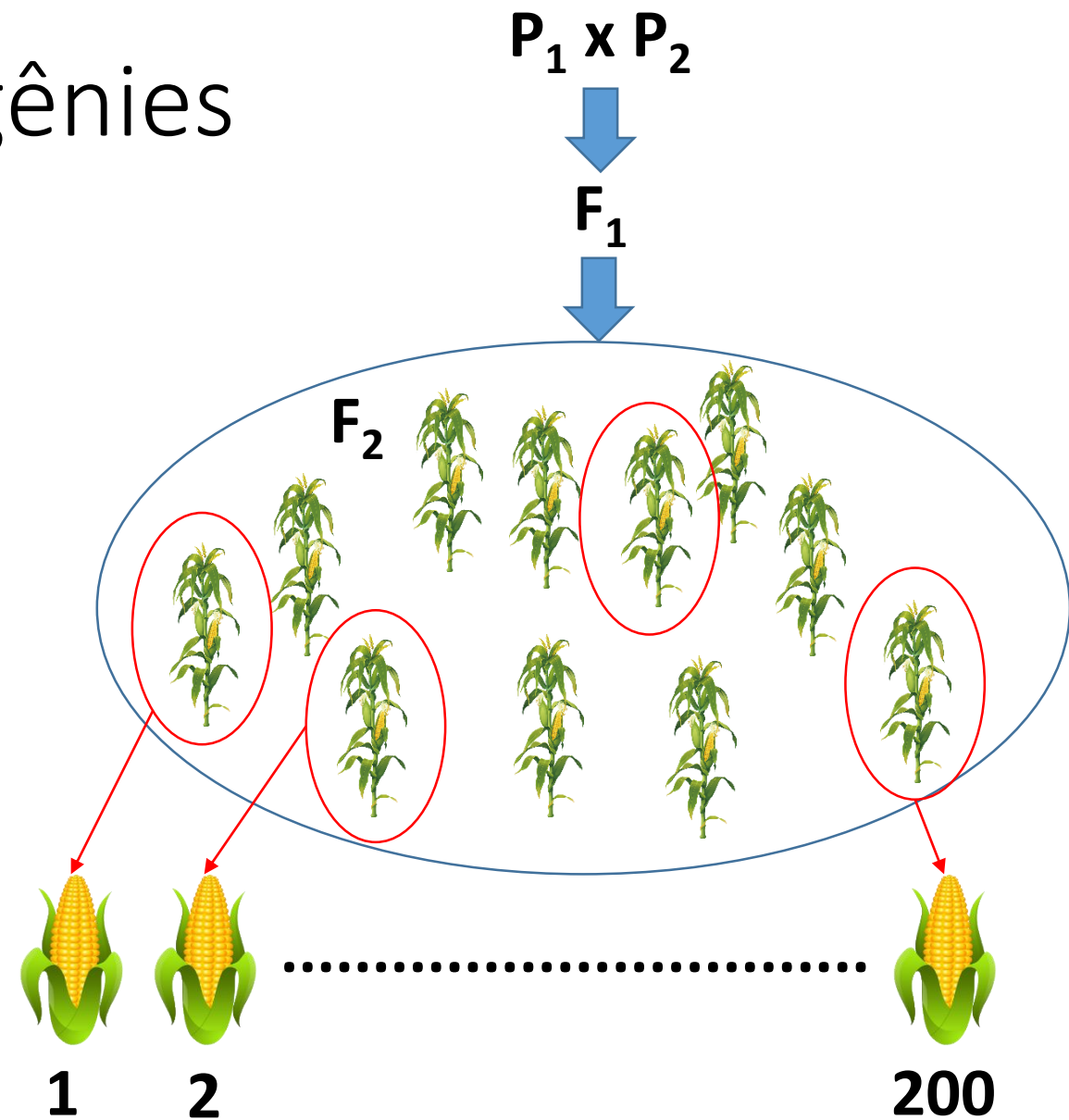
# Exemplo: Ensaio com Progenies (famílias)

- Importância:

- Estimar componentes de variância
- Predição do ganho com a seleção

- Progenies – famílias

- Meios irmãos -  $COV(MI) = \frac{1}{4}\sigma_a^2$
- Irmãos completos -  $COV(MI) = \frac{1}{2}\sigma_a^2 + \frac{1}{4}\sigma_d^2$
- Endogâmicas -  $COV(End) = 2\sigma_a^2$

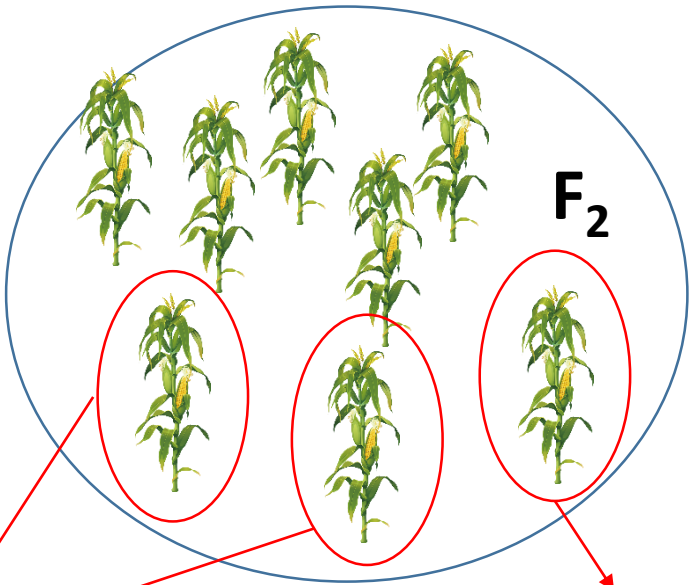


# Avaliação de 20 FMI

$P_1 \times P_2$



$F_1$



1

2

20

**Seleção - Recombinação**

**Bloco<sub>1</sub>**

2	15	12	17	4
9	7	1	14	20
19	16	13	10	6
11	18	3	5	8

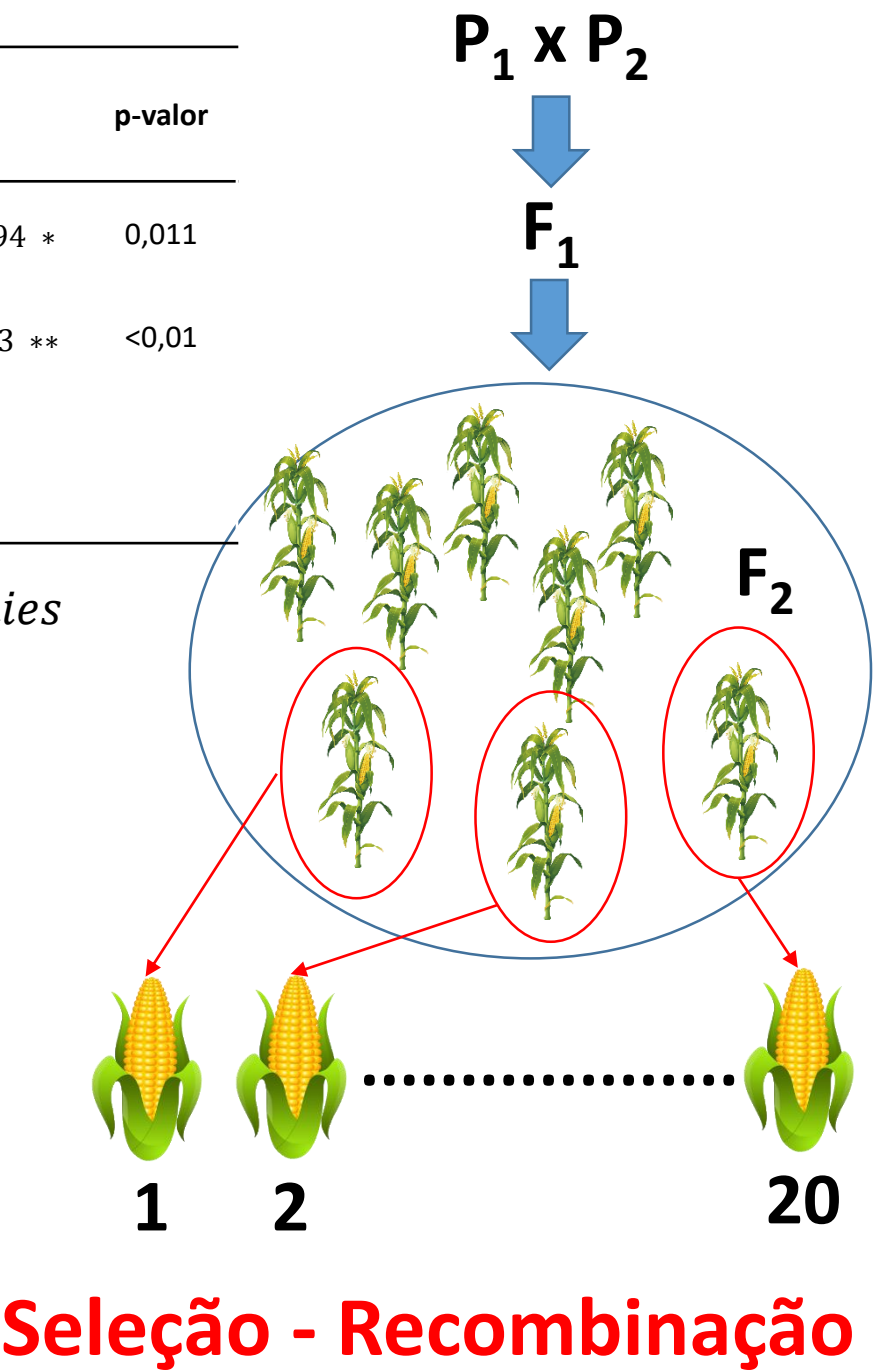
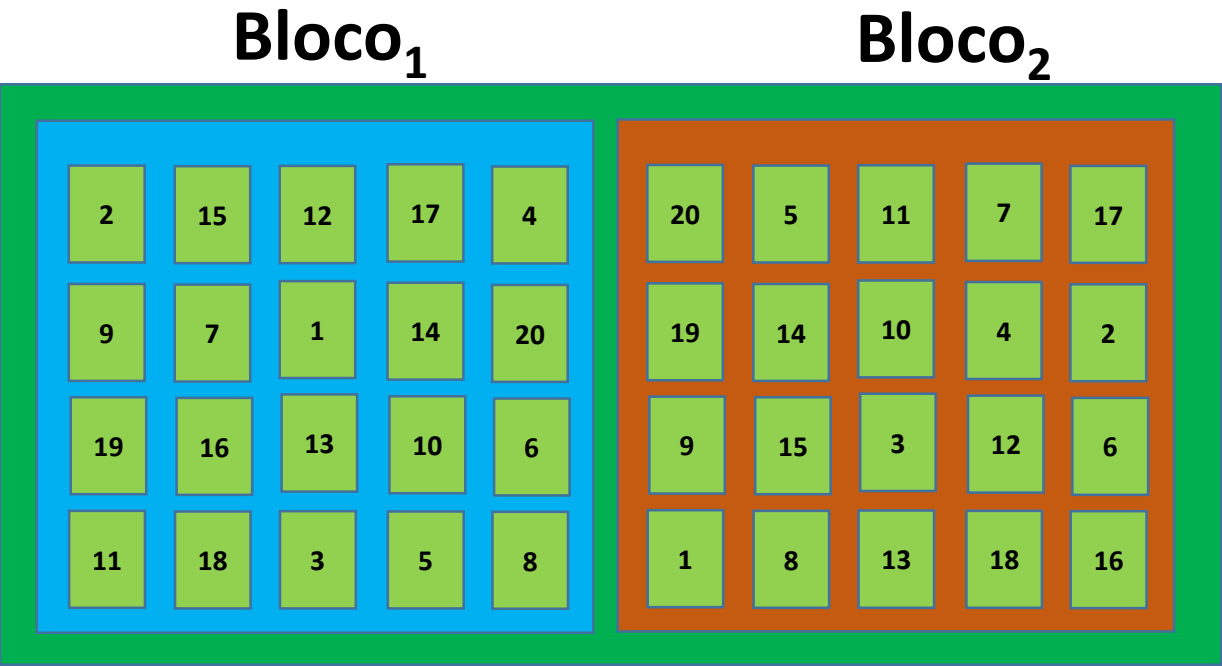
20	5	11	7	17
19	14	10	4	2
9	15	3	12	6
1	8	13	18	16

**Bloco<sub>2</sub>**

Cultivares	Repetição		Média
	1	2	
1	54.53	55.83	55.18
2	48.98	50.16	49.57
3	52.47	47.59	50.03
4	45.18	46.4	45.79
5	47.65	55.91	51.78
6	51.08	59.3	55.19
7	56.75	63.68	60.215
8	50.89	52.6	51.745
9	58.44	56.85	57.645
10	46.53	47.14	46.835
11	46.27	49.79	48.03
12	49.5	44.69	47.095
13	78.81	94	86.405
14	55.97	55.71	55.84
15	45.83	52.03	48.93
16	52.79	53.43	53.11
17	45.49	54.71	50.1
18	52.85	51.68	52.265
19	53.46	58.97	56.215
20	81.82	88.07	84.945
Média	53.7645	56.927	55.34575

Fontes de Variação (FV)	Graus de liberdade (GL)	Somas de Quadrados (SQ)	Quadrados Médios (QM)	Esperanças dos quadrados médios E(QM)	F	p-valor
Blocos	1	100,0062	100,0062	$\sigma^2 + g\sigma_b^2$	$\frac{QM_{bloco}}{QM_{res}} = \frac{\sigma^2 + g\sigma_b^2}{\sigma^2} = \frac{100,0062}{12,6058} = 7,94 *$	0,011
Genótipos (Progênes)	19	4653,273	244,9091	$\sigma^2 + r\sigma_g^2$	$\frac{QM_{gen}}{QM_{res}} = \frac{\sigma^2 + r\sigma_g^2}{\sigma^2} = \frac{244,9091}{12,6058} = 19,43 **$	<0,01
Resíduo	19	239,5102	12,6058	$\sigma^2$		
Total	39					

$H_0 : \sigma_g^2 = 0$ , **não** existe variabilidade genética entre as médias das progênes  
 $H_a : \sigma_g^2 \neq 0$ , existe variabilidade genética entre as médias das progênes





Fontes de Variação (FV)	Graus de liberdade (GL)	Somas de Quadrados (SQ)	Quadrados Médios (QM)	Esperanças dos quadrados médios E(QM)	F	p-valor
Blocos	1	100,0062	100,0062	$\sigma^2 + g\sigma_b^2$	$\frac{QM_{bloco}}{QM_{res}} = \frac{\sigma^2 + g\sigma_b^2}{\sigma^2} = \frac{100,0062}{12,6058} = 7,94 *$	0,011
Genótipos (Progênes)	19	4653,273	244,9091	$\sigma^2 + r\sigma_g^2$	$\frac{QM_{gen}}{QM_{res}} = \frac{\sigma^2 + r\sigma_g^2}{\sigma^2} = \frac{244,9091}{12,6058} = 19,43 **$	<0,01
Resíduo	19	239,5102	12,6058	$\sigma^2$		
Total	39					

$H_0 : \sigma_g^2 = 0$ , **não** existe variabilidade genética entre as médias das progênes

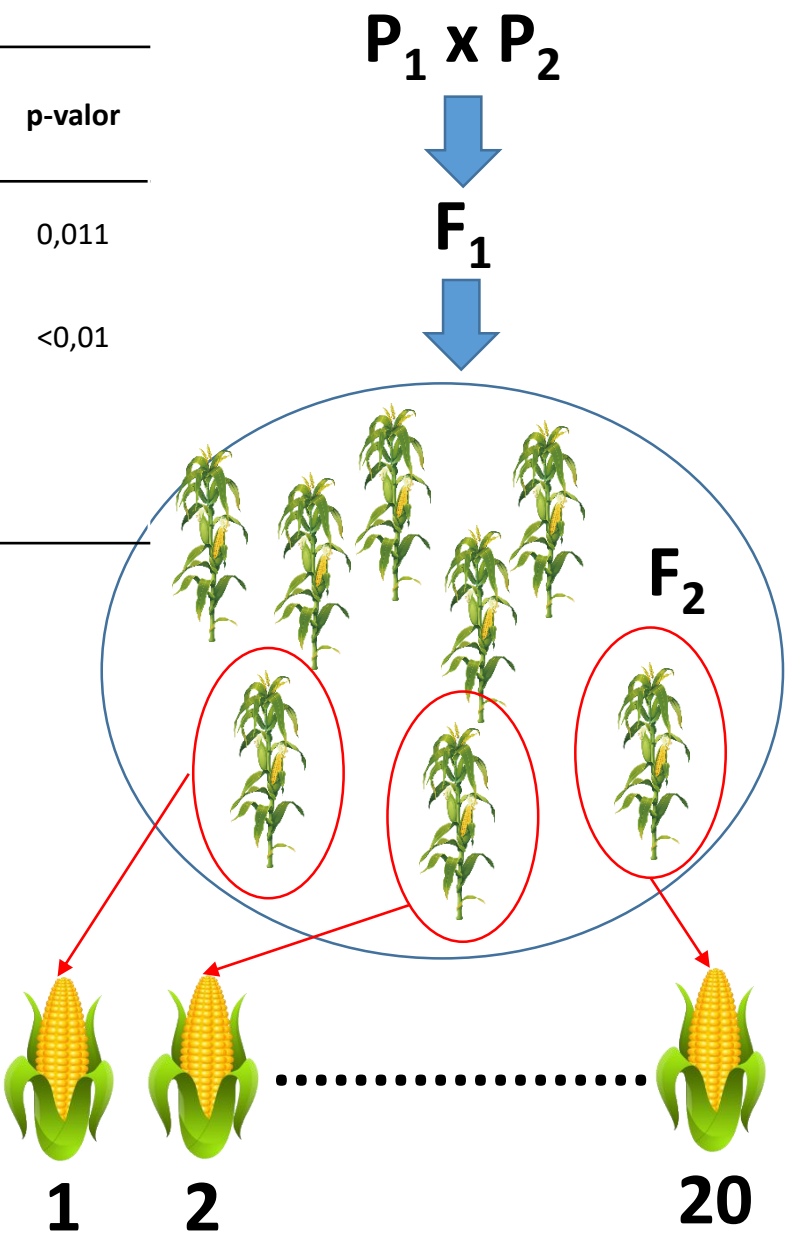
$H_0 : \sigma_g^2 \neq 0$ , existe variabilidade genética entre as médias das progênes

$$\sigma^2 + r\sigma_g^2 = QM_{FMI}$$

$$\sigma_g^2(FMI) = \frac{QM_{FMI} - \sigma^2}{r} = \frac{244,9091 - 12,6058}{2} = 116,1516$$

$$\sigma_g^2(FMI) = \frac{1}{4} \sigma_a^2(População)$$

$$\sigma_a^2(População) = 4 * \sigma_g^2(FMI) = 4 * 116,1516 = 464,6064$$



**Seleção - Recombinação**

$H_a: \sigma_g^2 \neq 0$ , existe variabilidade genética entre as progênie

$$\sigma_g^2(FMI) = \frac{QM_{FMI} - \sigma^2}{r} = \frac{244,9091 - 12,6058}{2} = 116,1516$$

- Se selecionar 30% das melhores progênie para recombinar e gerar uma população melhorada:
  - 30% das progênie = 6 progênie
  - Diferencial de seleção:  $DS = \bar{X}_{selecionados} - \bar{X}_{população} = 66,88 - 55,35 = 11,53$
  - Variância fenotípica:  $\sigma_f^2 = \frac{QM_{FMI}}{r} = \frac{244,9091}{2} = 122,4546$
  - Herdabilidade:  $h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_f^2} = \frac{116,1516}{122,4546} = 0,9485$
  - Ganho de seleção:  $GS = h^2 * DS = 0,9485 * 11,53 = 10,94$
  - $GS(\%) = 100 * \frac{GS}{\bar{X}} = 100 * \frac{10,94}{55,35} = 19,77\%$
  - Média da população melhorada:
    - $\bar{X}_{melhorada} = \bar{X}_{original} + GS = 55,35 + 10,94 = 66,29$

Progênie	Média
13	86.405
20	84.945
7	60.215
9	57.645
19	56.215
14	55.84
6	55.19
1	55.18
16	53.11
18	52.265
5	51.78
8	51.745
17	50.1
3	50.03
2	49.57
15	48.93
11	48.03
12	47.095
10	46.835
4	45.79

Progênies	Média
13	86.405
20	84.945
7	60.215
9	57.645
19	56.215
14	55.84
6	55.19
1	55.18
16	53.11
18	52.265
5	51.78
8	51.745
17	50.1
3	50.03
2	49.57
15	48.93
11	48.03
12	47.095
10	46.835
4	45.79

Progênies	Médias
20	92.865
13	91.145
18	75.56
11	74.885
12	66.825
3	65.965
7	65.41
17	62.65
6	62.07
8	61.895
19	61.57
1	59.865
4	59.69
5	59.525
9	58.57
15	57.545
2	56.32
10	55.12
16	54.875
14	46.925

Progênies	Médias
13	110.45
20	105.03
14	78.885
19	78.54
3	74.7
2	74.425
17	73.535
4	72.705
5	70.75
16	68.965
6	67.495
15	67.4
9	67.055
7	64.07
10	61.355
1	60.78
11	59.52
12	55.875
8	50.09
18	46.14

Progênies	Média Geral
13	96.00
20	94.28
19	65.44
3	63.57
7	63.23
17	62.10
6	61.59
9	61.09
11	60.81
5	60.69
14	60.55
2	60.11
4	59.40
16	58.98
1	58.61
18	57.99
15	57.96
12	56.60
8	54.58
10	54.44

# Interação Genótipos por Ambientes

- Avaliação de progênies, linhagens, híbridos ou clones em dois ou mais experimentos

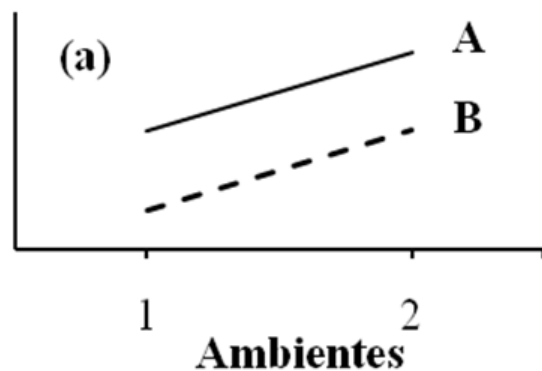
## Modelo

$$F = G + E + G \times E$$

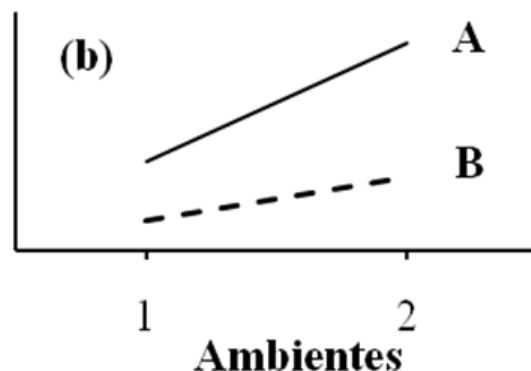
A interação GxE é decorrente da variação do desempenho particular de cada genótipo nos vários ambientes

**Influência das safras no desempenho dos genótipos do feijoeiro  
(Oliveira, 2006)**

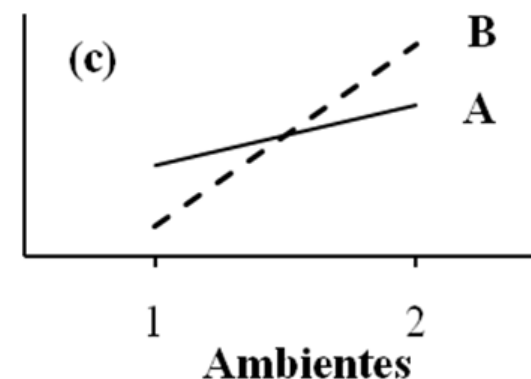
# Natureza da Interação GxE



(a) Ausência de interação



(b) Interação simples



(c) Interação Complexa

- **CAUSAS DA INTERAÇÃO GXE?**

- ✓ Expressão diferencial dos genes

- **EFEITOS DA INTERAÇÃO GxE?**

- ✓ Seleção de populações, progênies e linhagens.
- ✓ Recomendação de cultivares

**SOLUÇÃO: Avaliação em maior número de ambientes em maior número de ambientes possível**

# Estudos de interação GxE

- Quantificação - > Análise conjunta de variância
- Natureza da interação GxE
- Progenies: Ganho com a seleção

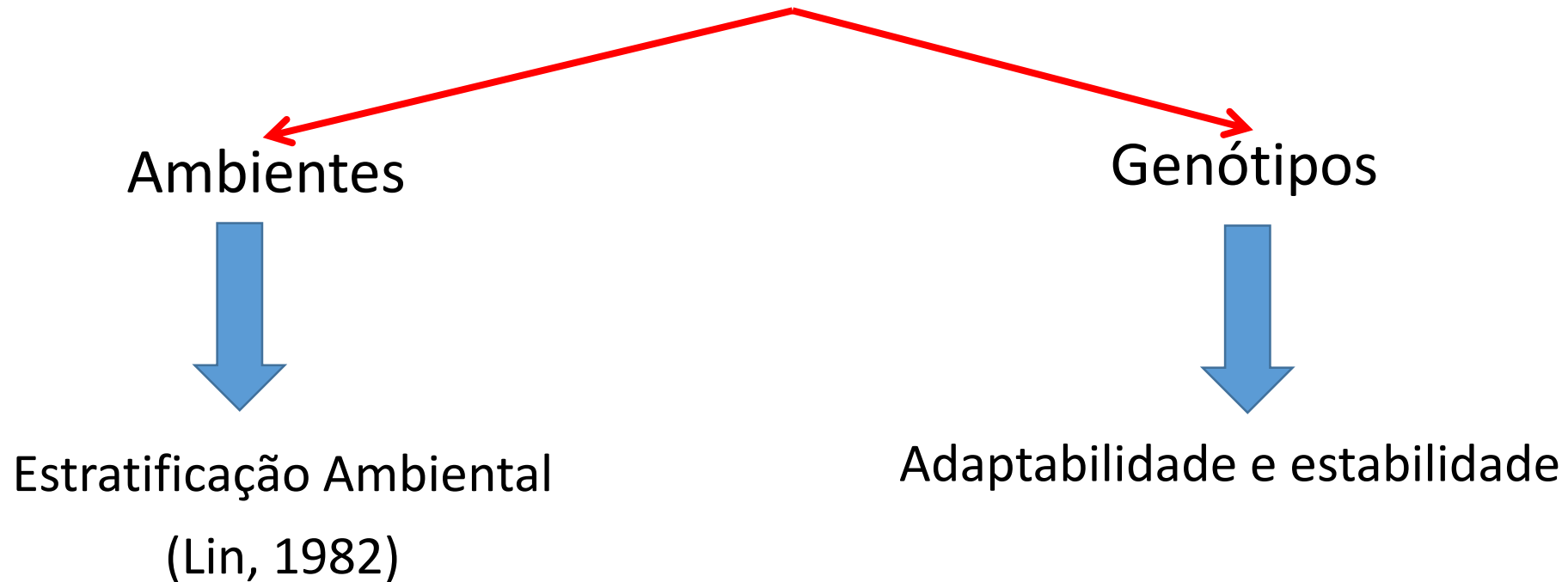
## Recomendação de Cultivares

- Avaliação das linhagens, híbridos, clones em maior número de ambientes
  - Ensaios Preliminares
  - Ensaios de Valor de Cultivo e Uso



# Recomendação de Cultivares

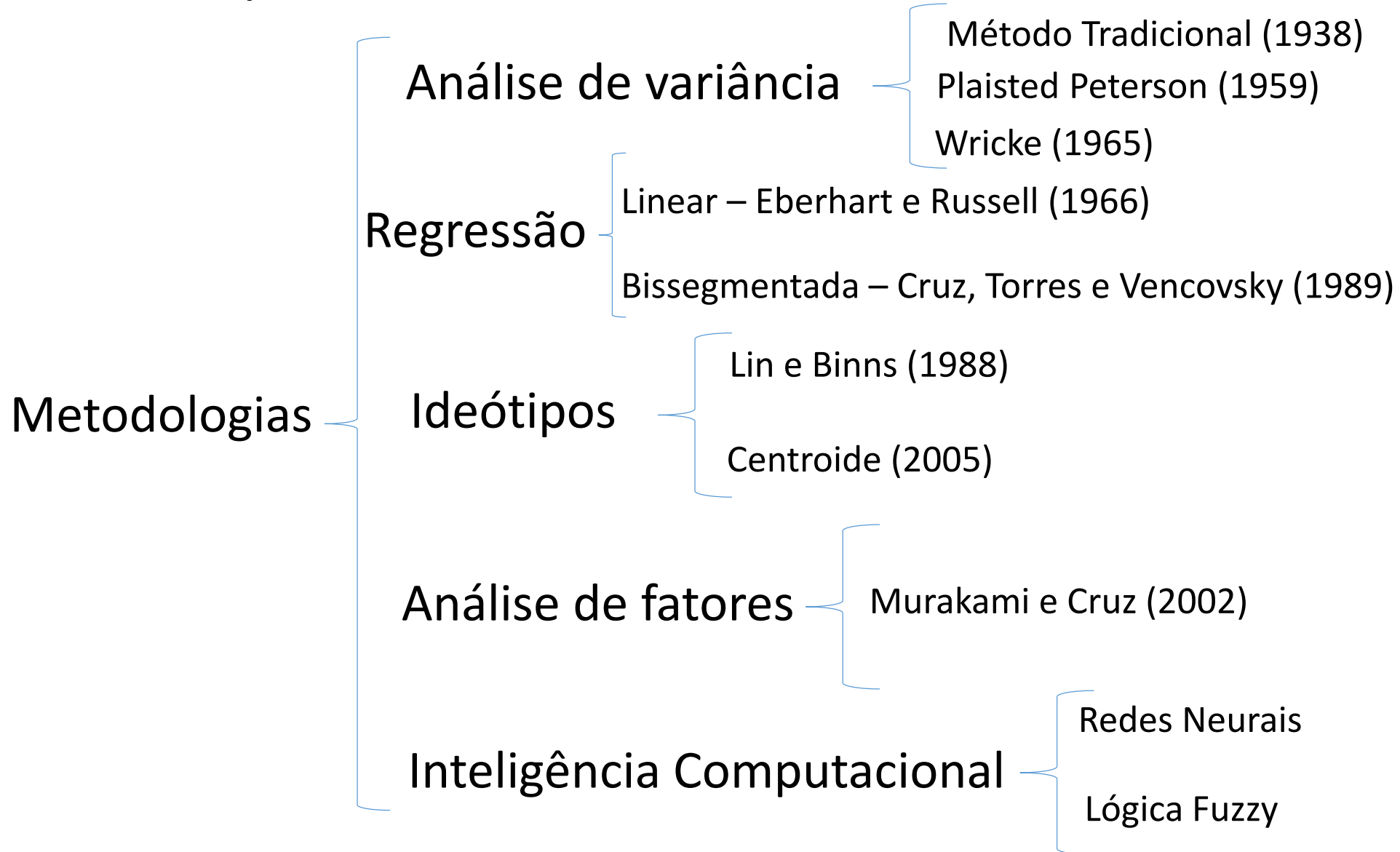
Qual forma de minimizar a influência da interação  
GxE



# Adaptabilidade e Estabilidade

- Adaptabilidade: Capacidade do genótipo responder as variações ambientais
- Estabilidade: Previsibilidade do comportamento.

# Adaptabilidade e Estabilidade



# Desafios do Melhoramento de Plantas

- Efeito Ambiental
- Desvio de dominância
  - Epistasia
- Interação genótipos por ambientes

## Alternativas para o sucesso de um programa de melhoramento



Genética Quantitativa

Melhoramento

Experimentação

Redes Neurais

Biometria



Genômica : SAM e GWS



Duvidas??



# Referências Bibliográficas

- CRUZ, C.D.. Princípios de genética quantitativa. Viçosa: UFV, 2005. 394 p.
- RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; SANTOS, J.B; NUNES, J.A.R.. Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas. Lavras: Editora UFLA, 2012. 522 p.