

# Análise de trilha visando seleção de genótipos com elevado rendimento de sacarose em fases iniciais do melhoramento da cana-de-açúcar

Ms. Danilo Eduardo Cursi

10º Congresso Nacional da STAB  
RIDESA/UFSCar

21 de setembro de 2016

# Melhoramento da cana-de-açúcar

- De forma geral, os programas de melhoramento tem apresentado três etapas principais:
  - ① Germoplasma (Manutenção e caracterização)
  - ② Hibridação (Formação de população base)
  - ③ Seleção e clonagem
    - Etapas iniciais
    - Etapas intermediárias
    - Etapa final

# Melhoramento da cana-de-açúcar

- De forma geral, os programas de melhoramento tem apresentado três etapas principais:
  - ① Germoplasma (Manutenção e caracterização)
  - ② Hibridação (Formação de população base)
  - ③ Seleção e clonagem
    - Etapas iniciais
    - Etapas intermediárias
    - Etapa final

# Melhoramento da cana-de-açúcar

- De forma geral, os programas de melhoramento tem apresentado três etapas principais:
  - 1 Germoplasma (Manutenção e caracterização)
  - 2 Hibridação (Formação de população base)
  - 3 Seleção e clonagem
    - Etapas iniciais
    - Etapas intermediárias
    - Etapa final

# Melhoramento da cana-de-açúcar

- De forma geral, os programas de melhoramento tem apresentado três etapas principais:
  - ① Germoplasma (Manutenção e caracterização)
  - ② Hibridação (Formação de população base)
  - ③ **Seleção e clonagem**
    - Etapas iniciais
    - Etapas intermediárias
    - Etapa final

# Etapas iniciais: *seedlings*

## Principais aspectos

- Fase complexa e de grande importância:
  - Grande número de genótipos
  - Restrição de material vegetativo (repetição)
  - Elevado efeito ambiental (caracteres quantitativos)
  - Seleção subjetiva nessa fase
- Caráter principal (TCH, TPH): baixa  $h^2$

# Etapas iniciais: *seedlings*

## Principais aspectos

- Fase complexa e de grande importância:
  - Grande número de genótipos
  - Restrição de material vegetativo (repetição)
  - Elevado efeito ambiental (caracteres quantitativos)
  - **Seleção subjetiva nessa fase**
- Caráter principal (TCH, TPH): baixa  $h^2$

# Etapas iniciais: *seedlings*

## Principais aspectos

- Fase complexa e de grande importância:
  - Grande número de genótipos
  - Restrição de material vegetativo (repetição)
  - Elevado efeito ambiental (caracteres quantitativos)
  - **Seleção subjetiva nessa fase**
- Caráter principal (TCH, TPH): baixa  $h^2$



# Etapas iniciais: *seedlings*

## Alternativa

- Seleção entre e dentro de famílias
  - *entre* → predição valor genotípico das famílias
  - *dentro* → determinação das intensidades de seleção (Sel. Massal)
  - **Questão:** Praticar seleção para qual(is) caractere(s) ?
  - *Estratégia do melhoramento*

# Etapas iniciais: *seedlings*

## Alternativa

- Seleção entre e dentro de famílias
  - *entre* → predição valor genotípico das famílias
  - *dentro* → determinação das intensidades de seleção (Sel. Massal)
  - **Questão:** Praticar seleção para qual(is) caractere(s) ?
  - **Estratégia do melhoramento**

# Etapas iniciais: *seedlings*

## Alternativa

- Seleção entre e dentro de famílias
  - *entre* → predição valor genotípico das famílias
  - *dentro* → determinação das intensidades de seleção (Sel. Massal)
  - **Questão:** Praticar seleção para qual(is) caractere(s) ?
  - **Estratégia do melhoramento**

## Etapas iniciais: *seedlings*

### Alternativa

- Seleção entre e dentro de famílias
  - *entre* → predição valor genotípico das famílias
  - *dentro* → determinação das intensidades de seleção (Sel. Massal)
  - **Questão:** Praticar seleção para qual(is) caractere(s) ?
  - *Estratégia do melhoramento*

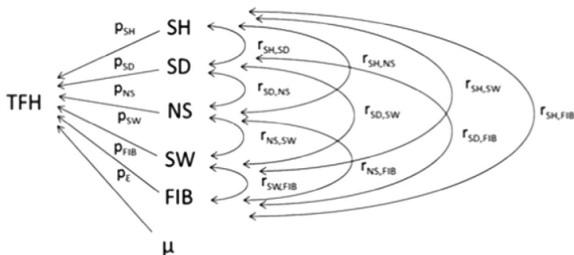
# Etapas iniciais: *seedlings*

## Alternativa

- Seleção entre e dentro de famílias
  - *entre* → predição valor genotípico das famílias
  - *dentro* → determinação das intensidades de seleção (Sel. Massal)
  - **Questão:** Praticar seleção para qual(is) caractere(s) ?
  - **Estratégia do melhoramento**

# Etapas iniciais: *seedlings*

- Exemplo: Seleção para o caráter TFH

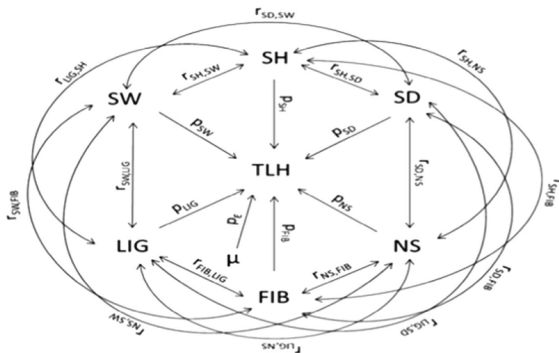


**SH:** Altura de colmos; **SD:** Diâmetro dos colmos; **NS:** Número de colmos; **SW:** Peso dos colmos; **FIB:** Fibra;  
 $\mu$ : Fatores residuais

Fonte: Silveira et al., 2015.

# Etapas iniciais: *seedlings*

- **Exemplo:** Seleção para o caráter TLH



SH: Altura de colmos; SD: Diâmetro dos colmos; NS: Número de colmos; SW: Peso dos colmos; FIB: Fibra; LIG: Lignina;  
 $\mu$ : Fatores residuais

Fonte: Silveira et al., 2015.

# Objetivo

- Identificar os principais caracteres relacionados ao rendimento de sacarose, por meio da análise de trilha.



# Implantação, avaliação e análise experimental

- Para o estudo de trilha, coletou-se dados:
  - ① **Experimento:** Baseado nos experimentos de fase inicial (*seedlings*)
    - ✓ 92 famílias de irmãos-completos (Cruzamentos: 2011)
    - ✓ Blocos casualizados (4 repetições)
    - ✓ Unidade experimental: 2 x 5 m x 1,4 m → 10 plântulas
    - ✓ Total de 7.360 *seedlings*
    - ✓ Estudo conduzido em Araras/SP (UFSCar)

# Implantação, avaliação e análise experimental

## Caracteres fenotípicos coletados (7.360 indivíduos)

- Número de colmos (NC)
- Diâmetro de colmos (DC)
- Altura de colmos (AC)
- Fibra (Fib)
- Tecnológico (Brix, Pol % cana - PC, Pureza)



# Implantação, avaliação e análise experimental

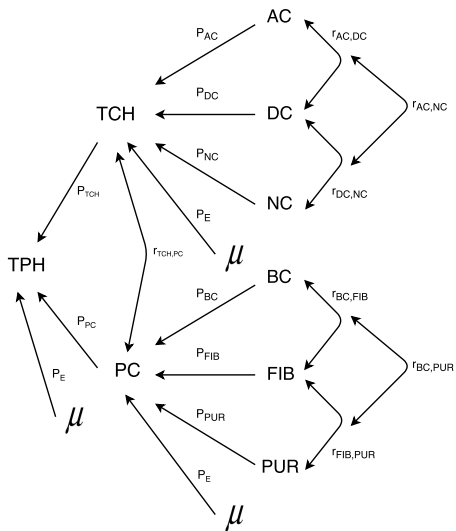
## Valor genotípico predito via Modelos Mistos (GenStat)

- $y = Xr + Zg + Wp + \epsilon$

em que,

- $r$  = efeito de repetição, assumido como fixo
  - $g$  = efeito genotípico, assumido como aleatório
  - $p$  = efeito de parcela, assumido como aleatório
  - $\epsilon$  = erro
- 
- Análise de trilha: R - pacote *agricolae* (versão 1.2-3)

# Diagrama de trilha - TPH



# Implantação, avaliação e análise experimental

- Estimativas dos coeficientes de trilha:

$$r_{Yi} = \hat{P}_i + \sum_{j \neq i}^n \hat{P}_j r_{ij}$$

em que,

$r_{Yi}$  = correlação entre a variável principal e a  $i$ -ésima variável explicativa;

$\hat{P}_i$  = medida do efeito direto da variável  $i$  sobre a variável principal;

$\hat{P}_j r_{ij}$  = medida do efeito indireto da variável  $i$ , via variável  $j$ , sobre a variável principal.

- O efeito residual foi assim estimado:

$$P_{E\mu} = (1 - R^2)^{1/2}$$

- Fator de inflação das variáveis:

$$VIF = \frac{1}{(1 - R^2)}$$

# Implantação, avaliação e análise experimental

- Estimativas dos coeficientes de trilha:

$$r_{Yi} = \hat{P}_i + \sum_{j \neq i}^n \hat{P}_j r_{ij}$$

em que,

$r_{Yi}$  = correlação entre a variável principal e a  $i$ -ésima variável explicativa;

$\hat{P}_i$  = medida do efeito direto da variável  $i$  sobre a variável principal;

$\hat{P}_j r_{ij}$  = medida do efeito indireto da variável  $i$ , via variável  $j$ , sobre a variável principal.

- O efeito residual foi assim estimado:

$$P_{E\mu} = (1 - R^2)^{1/2}$$

- Fator de inflação das variáveis:

$$VIF = \frac{1}{(1 - R^2)}$$

# Implantação, avaliação e análise experimental

- Estimativas dos coeficientes de trilha:

$$r_{Yi} = \hat{P}_i + \sum_{j \neq i}^n \hat{P}_j r_{ij}$$

em que,

$r_{Yi}$  = correlação entre a variável principal e a  $i$ -ésima variável explicativa;

$\hat{P}_i$  = medida do efeito direto da variável  $i$  sobre a variável principal;

$\hat{P}_j r_{ij}$  = medida do efeito indireto da variável  $i$ , via variável  $j$ , sobre a variável principal.

- O efeito residual foi assim estimado:

$$P_{E\mu} = (1 - R^2)^{1/2}$$

- Fator de inflação das variáveis:

$$VIF = \frac{1}{(1 - R^2)}$$

# Resultados - VIF

- TCH:** Toneladas de cana/ha

	Fator de Inflação das Variáveis - VIF	
	Dados fenotípicos	Dados genotípicos
Altura dos colmos	1,4780	1,4780
Diâmetro dos colmos	1,2501	1,2501
Número de colmos	1,1458	1,1458
Resíduo (PE)	0,8123	0,6807
Coefficiente de determinação (R <sup>2</sup> )	0,3401	0,5651

r<sub>ij</sub> : coeficiente de correlação.

- PC:** Pol % cana

	Fator de Inflação das Variáveis - VIF	
	Dados fenotípicos	Dados genotípicos
Brix	3,7673	4,6326
Fibra	1,1068	1,0858
Pureza	3,5735	4,4807
Resíduo (P <sub>E</sub> )	0,0806	0,0346
Coefficiente de determinação (R <sup>2</sup> )	0,9935	0,9988

r<sub>ij</sub> : coeficiente de correlação.



# Resultados - VIF

- **TPH:** Toneladas de pol/ha

	Fator de Inflação das Variáveis - VIF	
	Dados fenotípicos	Dados genotípicos
Altura dos colmos	1,4810	1,7961
Diâmetro dos colmos	1,4126	2,0238
Número de colmos	1,0746	1,1409
Brix	4,0852	4,8405
Fibra	1,2140	1,4560
Pureza	3,6865	4,5317
Resíduo (PE)	0,6918	0,5020
Coefficiente de determinação (R <sup>2</sup> )	0,5214	0,7480

riy : coeficiente de correlação.

< 10

## Resultados

### 1 Análise de trilha - TCH

# Resultados - Análise de trilha: TCH

Associação - TCH versus	Dados fenotípicos			Dados genotípicos		
	Efeito direto (Pi)	Efeito indireto (Pi.riy)	Correlação (riy)	Efeito direto (Pi)	Efeito indireto (Pi.riy)	Correlação (riy)
Variável Altura dos Colmos						
Efeitos:	0,3396			0,4961		
Indireto via Diâmetro dos Colmos		0,0904			0,1059	
Indireto via Número de Colmos		0,0499			0,0880	
Total (Direto + Indireto)			0,4800			0,7000
Variável Diâmetro dos Colmos						
Efeitos:	0,2055			0,1857		
Indireto via Altura dos Colmos		0,1494			0,2828	
Indireto via Número de Colmos		-0,0250			-0,0185	
Total (Direto + Indireto)			0,3200			0,4600
Variável Número de Colmos						
Efeitos:	0,2055			0,4632		
Indireto via Altura dos Colmos		0,1494			0,0943	
Indireto via Diâmetro dos Colmos		-0,0250			-0,0074	
Total (Direto + Indireto)			0,3600			0,5600

## Resultados

- 1 **Análise de trilha - TCH**
- 2 **Análise de trilha - PC**

# Resultados - Análise de trilha: PC

Associação - POL (PC) versus	Dados fenotípicos			Dados genotípicos		
	Efeito direto	Efeito indireto	Correlação	Efeito direto	Efeito indireto	Correlação
	(P <sub>i</sub> )	(P <sub>i</sub> .r <sub>iy</sub> )	(r <sub>iy</sub> )	(P <sub>i</sub> )	(P <sub>i</sub> .r <sub>iy</sub> )	(r <sub>iy</sub> )
Variável Brix						
Efeitos:	0,6511			0,6644		
Indireto via Fibra		-0,0205			-0,0187	
Indireto via Pureza		0,3394			0,3343	
Total (Direto + Indireto)			0,9700			0,9800
Variável Fibra						
Efeitos:	-0,0707			-0,0692		
Indireto via Brix		0,1888			0,1794	
Indireto via Pureza		0,0719			0,0798	
Total (Direto + Indireto)			0,1900			0,1900
Variável Pureza						
Efeitos:	0,3993			0,3798		
Indireto via Brix		0,5534			0,5847	
Indireto via Fibra		-0,0127			-0,0145	
Total (Direto + Indireto)			0,9400			0,9500

## Resultados

- 1 **Análise de trilha - TCH**
- 2 **Análise de trilha - PC**
- 3 **Análise de trilha - TPH**

# Resultados - Análise de trilha: TPH

Associação - TPH (Cadeia 2) versus	Dados fenotípicos			Dados genotípicos		
	Efeito direto	Efeito indireto	Correlação	Efeito direto	Efeito indireto	Correlação
	(Pi)	(Pi.riy)	(riy)	(Pi)	(Pi.riy)	(riy)
Variável Altura dos Colmos						
Efeitos:	0,3226			0,4645		
Indireto via Diâmetro		0,0870			0,0679	
Indireto via NC		0,0421			0,0785	
Indireto via Brix		0,0874			0,0726	
Indireto via Fibra		-0,0011			-0,0083	
Indireto via Pureza		0,0320			-0,0053	
Total (Direto + Indireto)			0,5700			0,6700
Variável Diâmetro dos Colmos						
Efeitos:	0,1933			0,1213		
Indireto via Altura		0,1452			0,2601	
Indireto via NC		-0,0211			-0,0124	
Indireto via Brix		0,0556			0,1117	
Indireto via Fibra		0,0014			0,0226	
Indireto via Pureza		0,0256			-0,0133	
Total (Direto + Indireto)			0,4000			0,4900
Variável Número de Colmos						
Efeitos:	0,2631			0,4132		
Indireto via Altura		0,0516			0,0883	
Indireto via Diâmetro		-0,0155			-0,0036	
Indireto via Brix		-0,0185			-0,1285	
Indireto via Fibra		-0,0005			-0,0015	
Indireto via Pureza		-0,0102			0,0222	
Total (Direto + Indireto)			0,2700			0,3900

continua ...

# Resultados - Análise de trilha: TPH

Associação - TPH (Cadeia 2) versus	Dados fenotípicos			Dados genotípicos		
	Efeito direto (Pi)	Efeito indireto (Pi.riy)	Correlação (riy)	Efeito direto (Pi)	Efeito indireto (Pi.riy)	Correlação (riy)
Variável Brix						
Efeitos:	0,2648			0,5587		
Indireto via Altura		0,1065			0,0604	
Indireto via Diâmetro		0,0406			0,0243	
Indireto via NC		-0,0184			-0,0950	
Indireto via Fibra		-0,0023			-0,0203	
Indireto via Pureza		0,1089			-0,0780	
Total (Direto + Indireto)			0,5000			0,4500
Variável Fibra						
Efeitos:	-0,0079			-0,0886		
Indireto via Altura		0,0452			0,0279	
Indireto via Diâmetro		-0,0329			0,0182	
Indireto via NC		0,0158			-0,1033	
Indireto via Brix		0,0768			0,4917	
Indireto via Pureza		0,0231			-0,0158	
Total (Direto + Indireto)			0,1200			0,3300
Variável Pureza						
Efeitos:	0,1281			-0,0886		
Indireto via Altura		0,0807			0,0279	
Indireto via Diâmetro		0,0387			0,0182	
Indireto via NC		-0,0211			-0,1033	
Indireto via Brix		0,2251			0,4917	
Indireto via Fibra		-0,0014			-0,0158	
Total (Direto + Indireto)			0,4500			0,3300



## Conclusão

- 1 A seleção em fases iniciais deve ser fundamentada em mais de um caráter, visando à seleção indireta de TPH, sendo eles:

- ✓ Número de colmos (NC)
- ✓ Altura de colmos (AC)
- ✓ Teor de sólidos solúveis (Brix)

## OBRIGADO

### Agradecimentos

- Equipe RIDESA/UFSCar
- Prof. Dr. Hermann Paulo Hoffmann, Coordenador RIDESA/UFSCar
- Departamento de Genética, ESALQ/USP
- Prof Dr. Antonio Augusto Franco Garcia, ESALQ/USP
- STAB - Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil

