

## **Análise de trilha para componentes da produção de álcool em híbridos de sorgo sacarino<sup>1</sup>**

**José Maurílio Moreira de Figueiredo Júnior<sup>2</sup>, Robert Eugene Schaffert<sup>3</sup> e Rafael Augusto da Costa Parella<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Trabalho financiado pelo CNPq.

<sup>2</sup> Estudante do Curso de Agronomia da Universidade Federal de São João del-Rei, Bolsista PIBIC do Convênio CNPq.

<sup>3</sup> Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo.

### **Introdução**

A cultura do sorgo é originária da África e de parte da Ásia. No Brasil, os primeiros cultivos se deram na década de 1970, predominantemente no Rio Grande do Sul, em São Paulo, na Bahia e no Paraná. Atualmente são cultivados quatro tipos de sorgo: o granífero, o forrageiro, o vassoura e o bioenergia (que inclui o sacarino e o sorgo biomassa). O sorgo sacarino é uma boa alternativa para a produção de biocombustíveis visto que possui alto rendimento em biomassa de qualidade e colmos com alto rendimento de açúcares fermentáveis. Além disso, possui outras características importantes como ciclo curto (em torno de quatro meses), plantio via semente e colheita mecanizada (Durães, 2011).

O melhoramento de sorgo sacarino começou no Brasil com a implantação do Programa Pró-Álcool na mesma década da sua chegada. Neste período, houve alto investimento do Governo Federal em pequenas destilarias que utilizariam o sorgo sacarino como matéria-prima. Com isso, foram desenvolvidas variedades com alta capacidade para a produção de etanol.

A capacidade de produção do etanol no sorgo envolve várias características e vários processos, o que deixa a seleção de materiais promissores mais complexa e mais demorada. Nesse sentido, para facilitar a seleção de genótipos superiores, o estudo de correlações entre os caracteres é muito importante. Porém, os coeficientes de correlação permitem estimar apenas a magnitude e o sentido das associações lineares entre dois caracteres, e não consideram a influência de outros caracteres na associação. Dessa forma, Wright (1921) propôs a análise de trilha, que possibilita o desdobramento do coeficiente de correlação em efeitos diretos e indiretos de um grupo de caracteres (variáveis explicativas) sobre a expressão de uma variável principal (básica), de maior relevância para a seleção. Essa análise gera, portanto, estimativas mais acuradas de causa e efeito, e é uma ferramenta poderosa para o melhoramento

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi estimar correlações diretas e indiretas entre dez características para a produção de álcool (variável principal), por meio da análise de trilha, e permitir o avanço na seleção de híbridos.

### **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido em Sete Lagoas-MG, no ano agrícola de 2017/2018. Foram avaliados 35 híbridos e uma testemunha, dispostos em blocos casualizados com três repetições. Avaliaram-se dez características, sendo elas: dias para

o florescimento (Flor); altura de plantas (Alt); produção de massa verde (PMV); teor de matéria seca (MS%); sólidos solúveis totais (Brix); sacarose em % de caldo (POL(S)); sacarose em % de colmo (PolC); açúcar total recuperável (ATR); açúcares redutores totais (ART%) e litros de álcool por hectare (Álcool). Com auxílio do programa computacional GENES (Cruz, 2013), foram realizadas as análises de variância e posteriormente foram estimados os coeficientes de correlação e análise de trilha dos caracteres, sendo Álcool a variável básica e as demais como secundárias.

## Resultados e Discussão

Todos os híbridos avaliados apresentaram diferenças significativas pelo teste F para as dez características avaliadas (Tabela 1). Os caracteres apresentaram acurácia variando de muito alta (Álcool, Flor, Alt, PMV e Brix) a alta (MS%, POL(S), PolC, ATR e ART%), de acordo com Resende e Duarte (2007). O experimento apresentou boas possibilidades de avanço com a seleção, isto pode ser confirmado pela herdabilidade na média de híbridos, no qual esta ficou acima de 54,69% para todas as variáveis, indicando que a maior parte da variação é devida a causas genéticas em detrimento das causas não genéticas.

Tabela 1. Parâmetros genéticos e fenotípicos para as variáveis.

Variáveis	Parâmetros			
	Var. Genotípica	Herdabilidade (%)	Acurácia	Média
Álcool	1169975.18**	72.60	0.8521	6782.71
Flor	713.17**	95.10	0.9752	134.53
Alt	0.28**	90.89	0.9533	4.40
PMV	115.30**	79.23	0.8901	87.41
MS%	2.45**	65.15	0.8072	29.60
Brix	1.39**	77.17	0.8784	14.56
POL (S)	1.13**	54.69	0.7395	12.72
PolC	0.84**	59.08	0.7686	9.43
ATR	76.71**	64.48	0.8030	94.18
ART %	1.23**	60.86	0.7801	14.05

\*\* Significativo a 1% via teste F.

A variável principal (Álcool) apresentou correlação positiva e de alta magnitude com a variável PMV (0,85), as características Brix, POL(S) e ART(%) também obtiveram correlação positiva e de mediana magnitude com a variável principal (0,58), (0,63) e (0,63), respectivamente, indicando que a escolha de materiais com essas características resultará, conseqüentemente, em materiais com alta produção de álcool. Isso acontece porque, segundo Cruz et al. (2004), a correlação genética entre características é por causa, principalmente, da pleiotropia. Então se duas características apresentam correlação favorável, é possível obter ganhos através da seleção de materiais com alguma das características correlacionadas.

Tabela 2. Estimativa de correlações genotípicas entre as dez variáveis.

Variáveis	Álcool	Flor	Alt	PMV	MS%	Brix	POL(S)	PolC	ART	ART %
Alcool	1	0.3494	0.495	0.8476	0.2621	0.5798	0.6282	0.4762	0.4594	0.6273
Flor		1	0.908	0.675	0.0975	-0.3853	-0.3376	-0.535	-0.5601	-0.3495

Alt	1	0.7352	0.1786	-0.1705	-0.1592	-0.37	-0.389	-0.1612
PMV		1	0.1066	0.0936	0.1285	-0.023	-0.0399	0.1239
MS%			1	0.3747	0.2827	0.0363	0.0332	0.3059
Brix				1	0.919	0.877	0.8924	0.9475
POL (S)					1	0.9471	0.934	0.9967
PolC						1	0.9971	0.9448
ART							1	0.9373
ART %								1

Pode-se destacar também a alta correlação entre as variáveis ligadas à qualidade do colmo (Brix, POL(S), PolC, ATR e ART%), no qual todas apresentaram valores acima de 0,88. As variáveis PMV, Alt e Flor, também obtiveram alta correlação entre elas.

É possível através do diagrama de trilha explicar 99,63% (coeficiente de determinação) da variação na produção de álcool (Tabela 3). Houve efeito direto positivo da variável principal com as variáveis Flor (0,01), PMV (0,77), Brix (0,16), POL(S) (0,37), e ART% (0,18), para as demais os efeitos diretos foram negativos.

Quando se avaliaram os efeitos indiretos, a variável PMV contribuiu positivamente para produção de álcool via Flor (PMV=0,52) e via Alt (PMV= 0,57), representando mais que as correlações diretas (0,35) e (0,50), respectivamente. PMV foi a variável que apresentou maior correlação direta, indicando contribuição para o aumento da produção de álcool. As demais características tiveram efeitos indiretos baixos ou negativos.

Tabela 3. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias sobre a variável básica.

Variáveis Secundárias	Vias de associação	Coefficiente de correlação
Flor	<b>Efeito direto sobre Álcool</b>	0.00977989
	Efeito indireto via Alt	-0.02515298
	Efeito indireto via PMV	0.52235518
	Efeito indireto via MS%	-0.00278912
	Efeito indireto via Brix	-0.0617228
	Efeito indireto via POL(S)	-0.12435134
	Efeito indireto via PolC	0.0094271
	Efeito indireto via ATR	0.0149341
	Efeito indireto via ART %	-0.06115495
	<b>Total</b>	<b>0.3494</b>
Alt	<b>Efeito direto sobre Álcool</b>	-0.02770151
	Efeito indireto via Flor	0.00888014
	Efeito indireto via PMV	0.56894152
	Efeito indireto via MS%	-0.00510909
	Efeito indireto via Brix	-0.0273131
	Efeito indireto via POL(S)	-0.05863961
	Efeito indireto via PolC	0.00065197
	Efeito indireto via ATR	0.06354389
Efeito indireto via ART %	-0.02820652	
	<b>Total</b>	<b>0.495</b>
PMV	<b>Efeito direto sobre Álcool</b>	<b>0.77385952</b>

Variáveis Secundárias	Vias de associação	Coefficiente de correlação
	Efeito indireto via Flor	0.00660142
	Efeito indireto via Alt	-0.02036615
	Efeito indireto via MS%	-0.00304943
	Efeito indireto via Brix	0.01499417
	Efeito indireto via POL(S)	0.0473316
	Efeito indireto via PolC	0.00004053
	Efeito indireto via ATR	0.00651774
	Efeito indireto via ART %	0.02167985
	Total	0.8476
	<b>Efeito direto sobre Álcool</b>	-0.2860633
	Efeito indireto via Flor	0.00095354
	Efeito indireto via Alt	-0.00494749
	Efeito indireto via PMV	0.08249343
	Efeito indireto via Brix	0.06002474
MS%	Efeito indireto via POL(S)	0.10412952
	Efeito indireto via PolC	-0.00006396
	Efeito indireto via ATR	-0.00542328
	Efeito indireto via ART %	0.05352589
	Total	0.2621
	<b>Efeito direto sobre Álcool</b>	0.16019414
	Efeito indireto via Flor	-0.00376819
	Efeito indireto via Alt	0.00472311
	Efeito indireto via PMV	0.07243325
Brix	Efeito indireto via MS%	-0.01071879
	Efeito indireto via POL(S)	0.3385038
	Efeito indireto via PolC	-0.00154534
	Efeito indireto via ATR	-0.14577525
	Efeito indireto via ART %	0.16579202
	Total	0.05798
	<b>Efeito direto sobre Álcool</b>	0.36833928
	Efeito indireto via Flor	-0.00330169
	Efeito indireto via Alt	0.00441008
	Efeito indireto via PMV	0.09944095
POL(S)	Efeito indireto via MS%	-0.00808701
	Efeito indireto via Brix	0.14721841
	Efeito indireto via PolC	-0.00166886
	Efeito indireto via ATR	-0.15257068
	Efeito indireto via ART %	0.17440096
	Total	0.6282
	<b>Efeito direto sobre Álcool</b>	-0.00176207
	Efeito indireto via Flor	-0.00523224
	Efeito indireto via Alt	0.01024956
	Efeito indireto via PMV	-0.01779877
PolC	Efeito indireto via MS%	-0.00103841
	Efeito indireto via Brix	0.14049026
	Efeito indireto via POL(S)	0.34885414
	Efeito indireto via ATR	-0.16287819

Variáveis Secundárias	Vias de associação	Coefficiente de correlação
	Efeito indireto via ART %	0.16531958
	Total	0.4762
	<b>Efeito direto sobre Álcool</b>	-0.16335191
	Efeito indireto via Flor	-0.00547772
	Efeito indireto via Alt	0.01077589
	Efeito indireto via PMV	-0.030877
ATR	Efeito indireto via MS%	-0.00094973
	Efeito indireto via Brix	0.14295725
	Efeito indireto via POL(S)	0.034402889
	Efeito indireto via PolC	-0.00175696
	Efeito indireto via ART %	0.16400724
	Total	0.4594
	<b>Efeito direto sobre Álcool</b>	0.17497839
	Efeito indireto via Flor	-0.00341807
	Efeito indireto via Alt	0.00446548
	Efeito indireto via PMV	0.0958812
ART %	Efeito indireto via MS%	-0.00875068
	Efeito indireto via Brix	0.15178395
	Efeito indireto via POL(S)	0.36712376
	Efeito indireto via PolC	-0.00166481
	Efeito indireto via ATR	-0.15310975
	Total	0.6273
	Coefficiente de determinação	0.99628273
	Efeito residual	0.06096941

## Conclusão

A maioria dos caracteres estudados apresentou boa acurácia e alta herdabilidade, o que garante o avanço com a seleção dos híbridos. PMV foi a característica que apresentou maior potencialidade para a seleção de híbridos, pois houve relação direta e indireta com a produção de álcool. A análise de trilha demonstrou ser uma ferramenta muito útil ao melhoramento de sorgo sacarino, pois permite entender se há efeito direto e indireto de um conjunto de variáveis sobre uma variável básica, que pode ser utilizada para facilitar a seleção de híbridos em estágio inicial de avaliação.

## Referências

- CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. v. 1, 480 p.
- DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. *Agroenergia em Revista*, ano 2, n. 3, p. 2-3, ago. 2011. Editorial.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, p. 182-194, 2007.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, p. 557-585, 1921.