

AVALIAÇÃO DE LINHAGENS DE ALGODOEIRO HERBÁCEO E REFLEXOS DA INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE NOS GANHOS DE SELEÇÃO¹

Luiz Paulo de Carvalho²
Joaquim Nunes da Costa²
José Wellington dos Santos²

1. INTRODUÇÃO

As variedades de algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch.) têm sido recomendadas para o Nordeste, com base em seu comportamento nos ensaios regionais de linhagens conduzidos pelo Centro Nacional de Pesquisa de Algodão da EMBRAPA, em 10 a 15 localidades, contendo normalmente nove tratamentos, sendo sete linhagens e duas variedades como testemunhas. Antes de chegarem a esta fase, as linhagens são selecionadas a partir de um ensaio denominado “velhas linhagens”, com maior número de tratamentos (25) repetido nas principais regiões produtoras. Estes ensaios são conduzidos em menor número de locais (de dois a cinco) e selecionam-se as linhagens, em cada um deles, na expectativa de que os genótipos julgados superiores num local também o sejam em outro. Sabe-se, porém, que a interação genótipo x ambiente pode significar que o melhor genótipo em um ambiente não é o melhor em outro, mostrando que nem todo melhoramento realizado em um local é transferido (3), ou seja, a interação genótipo x ambiente influencia os ganhos genéticos resultantes da seleção.

¹ Aceito para publicação em 31.08.1994.

² Centro Nacional de Pesquisa de Algodão, EMBRAPA. Rua Osvaldo Cruz, 1.143 - Centenário. 58107-720 Campina Grande, PB.

Este trabalho teve como objetivo conhecer o reflexo da interação genótipo x ambiente no ganho por seleção em algodoeiro herbáceo, quando os ensaios foram conduzidos em quatro localidades na região Nordeste, além de se conhecer a estabilidade e adaptabilidade de cada linhagem em melhoramento, pela metodologia de EBEHART e RUSSEL (2).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Em 1991 foram conduzidos quatro ensaios de linhagens avançadas nas seguintes localidades: Sousa (PB), Surubim (PE) Caruaru (PE) e Palmas de Monte Alto (BA), envolvendo 25 genótipos de algodão herbáceo. Os ensaios foram instalados em um reticulado triplo 5 x 5. A parcela era constituída por duas fileiras de 5 m de comprimento, no espaçamento de 1,00 x 0,20 m, deixando-se 60 plantas por parcela. A característica estudada foi o rendimento de algodão em caroço, baseado no total de parcela, em kg/ha.

Inicialmente, procederam-se às análises em cada ambiente, segundo o delineamento de retículo, conforme COCHRAN e COX (1). Calcularam-se, em seguida, a eficiência do látice e o erro efetivo em cada ambiente. Como houve eficiência do reticulado em relação à análise de blocos ao acaso, principalmente para a localidade de Surubim (PE), em todos os locais as análises foram realizadas segundo o modelo reticulado e as análises de variância posteriores foram realizadas com as médias ajustadas de tratamentos.

2.1. Cálculos de Ganhos Diretos e Indiretos de Seleção

Como se desejava conhecer a variância genotípica apenas entre as linhagens, fez-se uma análise de variância com suas médias ajustadas, utilizando-se como resíduo o erro efetivo do reticulado, conforme VENCOVSKY e BARRIGA (4). Realizou-se, também, uma análise de variância conjunta entre pares de ambiente, conforme esses autores, apresentada no Quadro 1. Nesta análise conjunta consideraram-se locais como sendo de efeito fixo e genótipos aleatórios. No caso dos locais isto aconteceu porque estas localidades não podem ser consideradas uma amostra, aplicando-se as conclusões apenas a estas localidades. Já os genótipos utilizados neste trabalho permitem generalizar as conclusões para uma população de linhagens de algodoeiro herbáceo.

A partir da análise de variância do Quadro 1 foram estimadas as variâncias genotípicas entre linhagens, σ_g^2 , e a variância da interação genótipo x ambiente, σ_{ga}^2 , para cada par de ambiente j, j' .

QUADRO 1 - Esquema da análise de variância conjunta do rendimento (kg/ha) baseada nas médias ajustadas das 20 linhagens de algodoeiro, para cada par de ambiente

FV	GL	EQM
Locais (L)	1	
Genótipo (G)	19	$\sigma^2_e + r\sigma^2_g$
G x L	19	$\sigma^2_e + rk\sigma^2_{ga}$
Erro efetivo (médio)	72	σ^2_e

$$k = \frac{a}{a-1}$$

r = número de repetições = 3.

a = número de ambientes = 2.

Os ganhos indiretos de seleção foram calculados pela expressão abaixo, que os coloca em função da magnitude da interação genótipo x ambiente, indiretamente dada por r_g (coeficiente de correlação genotípica entre médias dos genótipos nos locais j e j')

$$GS_j(j') = DS_j r_g h_j \frac{\hat{\sigma}_{gj}}{\hat{\sigma}_{fj'}}$$

em que

j' = ambiente onde a seleção é praticada

j = ambiente de avaliação da resposta indireta

DS_j = diferencial de seleção no ambiente j'

r_g = correlação genotípica entre as médias dos genótipos nos ambientes j e j'

h_j = raiz quadrada da herdabilidade no ambiente j'

$\hat{\sigma}_{gj}$ = raiz quadrada da variância genotípica no ambiente j

$\hat{\sigma}_{fj'}$ = raiz quadrada da variância fenotípica no ambiente j' .

A correlação genotípica entre pares de ambientes foi calculada por

$$r_g = \frac{\hat{\sigma}_{g(jj')}}{(\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_{ga}^2)_{jj'}}$$

em que

$\hat{\sigma}_{g(jj')}^2$ = variância genotípica entre linhagens nos ambientes j e j'

$\hat{\sigma}_{ga(jj')}^2$ = variância da interação genótipo x ambiente

A expressão acima pressupõe não-discrepância das variâncias genotípicas entre as linhagens. O ganho direto de seleção foi calculado por

$$GS_{j(j)} = DS_j h_j^2$$

em que

DS_j = diferencial de seleção no ambiente j

h_j^2 = herdabilidade no ambiente j .

Em todos os ambientes, 20% das linhagens seriam selecionadas.

Foram calculados ainda os ganhos indiretos de seleção quando esta era feita baseada na média dos genótipos em cada par de local. Neste caso usou-se a fórmula apresentada por VENCOVSKY e BARRIGA (4):

$$GS_j(\bar{j}\bar{j}') = DS_j(\bar{j}\bar{j}') \frac{\hat{\sigma}_{gj}^2}{\hat{\sigma}_{fj}^2}$$

$DS_j(\bar{j}\bar{j}')$ = diferencial de seleção no ambiente j , quando a seleção é praticada na média de j e j'

$\hat{\sigma}_{gj}^2$ = variância genotípica no ambiente j

$\hat{\sigma}_{fj}^2$ = variância fenotípica entre médias no ambiente j .

2.2. Análise de Estabilidade e Adaptabilidade dos Genótipos

Foi realizada uma análise conjunta nos quatro ambientes, conforme VENCOVSKY e BARRIGA (4), a partir da qual foram calculados os parâmetros de estabilidade, conforme metodologia de EBEHART e RUSSEL (2). Estes parâmetros são o coeficiente de regressão da média das linhagens em cada local em função de um índice ambiente, β_j , e o estimador do componente de variância do desvio da regressão σ_{di}^2 . Assim, uma linhagem será estável quando $\sigma_{di}^2 = 0$ e instável quando $\sigma_{di}^2 \neq 0$. Será ainda de adaptabilidade ampla se $\beta_j = 1$, adaptada a ambientes favoráveis se $\beta_j > 1$ e a ambientes desfavoráveis, se $\beta_j < 1$. Em todos estes cálculos, utilizou-se o programa GENES, desenvolvido pelo professor Cosme Damiano Cruz, da Universidade Federal de Viçosa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises individuais por local revelaram boa precisão experimental com os coeficientes de variação ambiental, situando-se entre 10,83 e 17,58%, conforme demonstrado no Quadro 2. Como houve eficiência de 16% da análise em retículo sobre a análise em blocos ao acaso, em Surubim (PE), e apesar desta eficiência ser baixa nos demais locais, as análises de variância, para o cálculo de variâncias genotípicas foram feitas com médias ajustadas de tratamentos. A herdabilidade, no

QUADRO 2 - Resultados da análise de variância do rendimento de algodoeiro considerando os 25 genótipos no esquema de reticulado triplo e a média dos genótipos nos locais

	Locais			
	Sousa	Surubim	Caruaru	P. de M. Alto
Teste F (tratamentos ajustados)	2,65*	4,64*	2,36*	1,88*
Eficiência do látice	101,57	116,11	101,69	106,94
Erro efetivo	63852,12	20598,35	38174,82	12584,40
CV(%)	10,83	12,68	17,58	14,02
Cv _g (%)	8,06	13,97	11,84	7,62
Erro intrabloco	60425,02	18047,27	36059,27	11384,85
Média (kg/ha)	2331	1131	1110	799

* = Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

sentido amplo, quando se consideram apenas as linhagens, variou de 56 a 76% (Quadro 3). Os locais se diferenciam também quanto às médias de rendimento, que variaram de 799 kg/ha, em Palmas de Monte Alto (BA), a 2.331 kg/ha, em Sousa (PB). Neste quadro verifica-se ainda que não houve discrepância das variâncias genotípicas entre linhagens, por local, o que possibilitou o uso da expressão do cálculo de r_g .

O Quadro 4 mostra os coeficientes de correlação genotípica entre pares de ambiente, podendo-se observar maior similaridade entre os locais Sousa (PB) e Surubim (PE), quanto às respostas das linhagens. Espera-se maior ganho indireto entre dois ambientes se a herdabilidade é alta no ambiente de seleção e se não há interação genótipo x ambiente entre estes locais.

Observa-se, no Quadro 3, que a maior estimativa de herdabilidade foi em Surubim e que o coeficiente de correlação genotípica entre este

QUADRO 3 - Resultado da análise de variância, por local, apenas com as linhagens, considerando as médias ajustadas, os valores de herdabilidade, h^2 , e as variâncias genotípicas, σ^2_g , em cada local, para o algodoeiro

FV	GL	QM			
		Sousa	Surubim	Caruaru	P. de M. Alto
Linhagens	19	193898**	87382**	110818*	28673*
Erro efetivo	36	63852	20598	38174	12584
h^2		0,67	0,76	0,65	0,56
σ^2_g		43348,6	22261,3	24214,6	5363,0

*, ** = Significativo, a 5 e 1% de probabilidade, teste F, respectivamente.

ambiente e a localidade de Sousa é o maior. Espera-se, então, maior ganho indireto entre estes dois locais, quando a seleção é realizada em Surubim, porém o maior ganho foi quando a seleção foi realizada em Sousa, onde a herdabilidade foi a segunda maior, obtendo-se resposta indireta de 5,13% (Quadro 5). O segundo maior ganho indireto foi quando a seleção era praticada em Caruaru, e a resposta sendo avaliada em Surubim. A correlação genotípica entre estes dois últimos ambientes também foi a segunda maior (Quadro 4).

Estas estimativas dependem dos materiais em estudo, da intensidade de seleção, da precisão experimental e da magnitude da interação genótipo x ambiente (4). Considere-se a resposta indireta à seleção baseada na média de cada par de locais. Este tipo de seleção foi menos eficiente que a seleção direta, no máximo igual, porém bem mais eficiente que a seleção indireta para o algodoeiro (Quadro 6). Isso evidencia, dentre outras causas, a presença da interação genótipo x ambiente e que ela pode ser um dos principais motivos da maior eficiência da seleção, baseada na média de apenas um local. Por exemplo, entre os locais Sousa e Palmas de Monte Alto, bastante divergentes por apresentarem baixo valor de correlação genotípica entre produção média nos dois locais, é bastante difícil prever-se o comportamento dos genótipos que são selecionados em um deles e cultivados no outro, tanto que são pequenos os ganhos indiretos, apenas de 1,55% e 1,34% (Quadro 3). Quando, porém, se conduzem ensaios nestes dois locais e a seleção baseia-se na média, a eficiência total sobre a seleção indireta (seleção na localidade de Sousa e resposta na localidade de Palmas de Monte Alto e vice-versa) é de sete vezes. Estes dois locais apresentam também o menor r_g . Resultados

QUADRO 4 - Variâncias genotípicas entre linhagens, σ^2_g , variâncias de interação genótipo x ambiente, σ^2_{ga} , entre os pares de ambientes, correlações genotípicas entre médias nos dois ambientes, r_g , e valores do teste F na análise conjunta

Parâmetros	Pares de locais					
	A1 e A2	A1 e A3	A1 e A4	A2 e A3	A2 e A4	A3 e A4
σ^2_g	26231,80	22745,20	13733,90	17479,60	10405,40	9629,20
σ^2_{ga}	39446,10	66224,30	63736,30	34550,20	20441,40	30956,80
r_g	0,39	0,25	0,17	0,33	0,33	0,23
$F_{(g)}$	4,70**	3,67**	3,10**	4,17**	4,70**	3,27**
$F_{(ga)}$	1,93**	2,29**	2,6**	2,1**	2,2**	2,21**

A1 = Sousa(PB); A2 = Surubim(PE); e A3 = Caruaru(PE); e A4 = P. de M. Alto(BA).

*, ** = Significativos, a 5 a 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

QUADRO 5 - Resposta direta e indireta à seleção para o rendimento de algodoeiro herbáceo em ensaios conduzidos em Sousa (PB), Surubim (PE), Caruaru (PE) e Palmas de Monte Alto (BA)

Seleção no ambiente	Resposta no ambiente				Total
	Sousa	Surubim	Caruaru	P.de M.Alto	
Sousa	206,63 (8,95)	57,74 (5,13)	38,60 (3,51)	12,35 (1,55)	19,14
Surubim	8,16 (3,38)	143,35 (12,75)	49,43 (4,49)	23,26 (2,29)	23,54
Caruaru	53,78 (2,33)	50,87 (4,52)	160,15 (14,56)	17,40 (2,19)	23,60
P. de M. Alto	30,92 (1,34)	43,02 (3,82)	31,28 (2,84)	64,64 (8,13)	16,13

Os valores entre parênteses referem-se aos ganhos percentuais.

semelhantes aconteceram entre os locais Caruaru e Palmas de Monte Alto, que mostraram baixo r_g e alta eficiência da seleção baseada na média em relação à seleção indireta, igual a 6,7 vezes. Os resultados mostram que à medida que se aumenta o r_g diminui a eficiência da seleção baseada na média em relação à seleção indireta, ou seja, os locais se tornariam mais semelhantes quanto às respostas dos genótipos e, neste caso, tanto faz a seleção indireta ou a baseada na média dos locais. Vê-se ainda que os locais Sousa e Surubim apresentaram o maior r_g e a menor eficiência da seleção baseada na média em relação à resposta indireta.

A seleção realizada em Caruaru é a que maximiza os ganhos em todos os locais e esta localidade foi a que mais capitalizou a interação genótipo x ambiente, por apresentar o maior ganho direto de seleção, 14,56% (Quadro 5).

Com relação à estabilidade e adaptabilidade dos genótipos, os resultados podem ser vistos no Quadro 7. Considerando-se os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade definidos anteriormente, entre as linhagens, destaca-se a CNPA 86-1191-2, descendente do cruzamento CNPA 77/105 x D₃7-9. Ela obteve a maior média geral, coeficiente de regressão igual a 1,02, não significativamente diferente de 1, indicando adaptabilidade geral; e apresentou, ainda, desvios da regressão não-significativos, o que indica boa previsibilidade de comportamento. Outra linhagem, oriunda do mesmo cruzamento e promissora, segundo os mesmos critérios anteriores, é a CNPA 86-1190-5, além das CNPA 86-1179-3 e CNPA 84-228, que, porém, não descendem do cruzamento

QUADRO 6 - Resposta à seleção baseada na média de pares de locais e eficiência desta em relação às respostas diretas e indiretas em algodoeiro herbáceo

Seleção baseada na média dos ambientes		Ganho indireto de seleção no local	Eficiência em relação à seleção direta	Eficiência em relação à seleção indireta	Eficiência total da seleção
A ₁ e A ₂	A ₁	206,63 (8,95)	1,00	2,64	
	A ₂	62,69 (5,58)	0,43	1,08	3,72
A ₁ e A ₃	A ₁	130,92 (5,60)	0,63	2,40	
	A ₃	145,85 (13,26)	0,91	3,77	6,20
A ₁ e A ₄	A ₁	206,86 (8,96)	1,00	6,68	
	A ₄	40,19 (0,52)	0,06	0,33	7,01
A ₂ e A ₃	A ₂	112,45 (10,00)	0,78	2,21	
	A ₃	142,61 (15,12)	1,03	3,36	5,57
A ₂ e A ₄	A ₂	123,95 (11,03)	0,86	2,88	
	A ₄	45,73 (5,75)	0,70	2,51	5,39
A ₃ e A ₄	A ₃	133,84 (12,17)	0,83	4,28	
	A ₄	37,11 (4,67)	0,57	2,13	6,40

Os números em parênteses referem-se aos ganhos percentuais.

A₁ = Sousa; A₂ = Surubim; A₃ = Caruaru; e A₄ = P de M. Alto.

citado. Dentre as variedades destacam-se, segundo estes critérios de adaptabilidade e estabilidade, as CNPA Precoce I, CNPA 6H e IAC 17.

4. RESUMO

Foram conduzidos, em 1991, quatro ensaios de linhagens de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch.) nos municípios

QUADRO 7 - Médias de rendimento ajustadas dos genótipos de algodoeiro herbáceo nos quatro locais estudados, coeficientes de regressão, β , e desvios da regressão, σ^2_{di} , pela metodologia de EBERHART e RUSSEL (2)

Genótipo	Média (kg/ha)	$\hat{\beta}$	$\hat{\sigma}^2_{di}$
Linhagens			
CNPA 86-1191-2	1.534	1,02 ^{ns}	2.791
CNPA 84-228	1.483	1,06 ^{ns}	-6.360
SU-amido-4	1.432	1,31*	5.656
CNPA 86-1190-5	1.423	1,08 ^{ns}	10.004
CNPA 86-1179-3	1.416	1,03 ^{ns}	-9.250
CNPA 3H SM ₂	1.411	0,86 ^{ns}	48.148*
CNPA 85-241	1.383	1,22*	32.826*
CNPA 86-1195-1	1.382	0,92 ^{ns}	28.908*
SU baixa proteína (I)	1.362	0,91 ^{ns}	-600
SU PiC ₄	1.361	0,75*	5.628
CNPA 85-201	1.350	0,93 ^{ns}	9.102
GRUPO II	1.333	0,90 ^{ns}	-2.073
CNPA 86-1191-1	1.321	0,94 ^{ns}	14.515
CNPA 83-178	1.307	1,20*	-8.738
CNPA 86-1180-1	1.282	0,91 ^{ns}	8.844
SRI-3	1.272	0,93 ^{ns}	-1.774
SU baixa proteína (II)	1.247	1,31*	9.355
CNPA 86-1191-4	1.185	0,88 ^{ns}	30.251*
1-85-181	1.170	0,66*	-9.160
CNPA 86-387	959	0,85 ^{ns}	4.915
Variedades			
'IAC 17'	1.453	1,11 ^{ns}	-4.925
'CNPA Precoce I'	1.427	1,10 ^{ns}	-8.759
'CNPA 6H'	1.416	1,07 ^{ns}	-3.672
'IAC 20'	1.379	0,87 ^{ns}	-5.056
'IAC 19'	1.285	1,07 ^{ns}	53.284*

* Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste t, no caso de β e pelo teste F no caso de σ^2_{di} .

ns = Não-significativo.

de Sousa (PB), Surubim (PE), Caruaru (PE) e Palmas de Monte Alto (BA), e instalados no delineamento de reticulado triplo 5 x 5. Foram estudadas

as respostas diretas e indiretas à seleção, com relação à característica rendimento de algodão em caroço, em kg/ha. Os locais mais similares quanto ao comportamento dos genótipos foram Surubim e Sousa, que apresentaram maior resposta indireta à seleção. Os locais apresentaram, de modo geral, baixo padrão de respostas das variedades e quanto maior a correlação entre os rendimentos dos genótipos nos locais maior o ganho indireto evidenciando a importância da interação genótipo x ambiente nos trabalhos de seleção de variedades de algodoeiro. A resposta direta à seleção em todos os ambientes foi superior à indireta. Algumas linhagens mostraram-se promissoras, como a CNPA 86-1191-2, que apresentou alta média geral e adaptabilidade ampla, além de possuir alta estabilidade de comportamento.

5. SUMMARY

(EVALUATION OF COTTON LINES AND EFFECTS OF GENOTYPE – ENVIRONMENT INTERACTION ON SELECTION GAINS)

Four trials involving lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch.) were carried out in 1991 at Souza (State of Paraíba), Surubim and Caruaru (State of Pernambuco), and Palmas de Monte Alto (State of Bahia), in Northeastern Brazil. A lattice 5 x 5 design with three replications was used. The indirect and direct responses to selection were studied considering yield (seed cotton/ha). The degree of similarity between pairs of locations was determined and it was found that Surubim and Souza were the most similar. The indirect response to selection was higher between these two locations. The locations, in general, were not similar in relation to response of the cultivars and the highest indirect responses were among those showing higher correlation between yield of cultivars at locations. These results may show the importance of the genotype x environmental interaction in programs for selecting cotton varieties. Some lines such as CNPA 86-1191-2 were promising and showed high mean yield and adaptation to all environments besides showing high stability.

6. LITERATURA CITADA

1. COCHRAN, W. G. & COX, G. M. *Experimental Designs*. 2. ed. New York, John Wiley, 1957. 611p.
2. EBERHART, S. A. & RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, 6: 36-40. 1966.
3. FALCONER, D. S. *Introdução à Genética Quantitativa*. Trad. SILVA, M. A. & SILVA, J. C. Viçosa, UFV, Imp. Univ., 1981. 279p.
4. VENCOVSKY, R. & BARRIGA, P. *Genética Biométrica no Fitomelhoramento*. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.