

ASSOCIAÇÃO DA FISSURA DA RAIZ COM GENES RESTAURADORES DE FER-  
TILIDADE EM ALGODÃO ORIGINADO DO CRUZAMENTO Gossypium  
harknessii Brandagee x Gossypium hirsutum L.

Por

THEREZINHA DE OLIVEIRA MARANHÃO

Dissertação apresentada ao Departamen-  
to de Fitotecnia do Centro de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal do  
Ceará, como parte dos requisitos para  
a obtenção do Grau de Mestre em Agro-  
nomia, Área de Concentração em Fito-  
tecnica.

Fortaleza - Ceará

1981

DECLARAÇÃO DO AUTOR

Esta dissertação faz parte dos requisitos exigidos pelo Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, para a obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia.

A transcrição do material contido nesta dissertação é permitida exclusivamente com referência da fonte e autor.

---

THEREZINHA DE OLIVEIRA MARANHÃO

APROVADA EM 15 / 12 / 81

---

Prof. Fanuel Pereira da Silva, Ph.D.  
- Orientador -

---

Prof. Clairton Martins do Carmo, M.S.  
- Conselheiro -

---

Prof. José Ferreira Alves, M.S.  
- Conselheiro -

A meu esposo AHILTON, ao  
meu filho AHILTON, aos  
meus pais JUVENAL E JULIETA  
e aos meus irmãos GE  
RALDO E JORGE dedico este  
trabalho.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Alagoas, pela oportunidade de realizar este Curso de Pós-Graduação.

Ao professor Fanuel Pereira da Silva, pela orientação, apoio, amizade e valiosas sugestões apresentadas.

Ao professor Clairton Martins do Carmo, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela revisão do manuscrito e ao professor José Ferreira Alves, pela orientação na análise estatística.

Ao professor José Márcio Malta Lessa, atual Diretor do Centro de Ciências Biológicas da UFAL, pelo incentivo e amizade.

Ao professor Hêlvio José de Farias Auto, pelo incentivo, apoio e amizade que sempre nos dispensou.

À Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da UFAL pela ajuda financeira na publicação deste trabalho.

Ao professor José Cordeiro da Silva, Chefe do Departamento de Biologia, pela amizade que sempre nos dispensou.

Ao então Reitor da Universidade Federal de Alagoas, professor Manoel Ramalho de Azevedo, pelo apoio em nosso afastamento.

Aos Docentes do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, pelos ensinamentos recebidos.

À todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

Finalmente ao meu esposo Ahilton por sua compreensão

são e espírito de renúncia e ao meu filho Ahilton pelos momentos de alegria e carinho os quais foram indispensáveis à realização deste trabalho.

## ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	xii
INTRODUÇÃO .....	1
REVISÃO DE LITERATURA .....	3
1. Ligamento Genético em Algodão .....	3
2. Macho Esterilidade de Origem Citoplasmática em Algodão .....	9
MATERIAL E MÉTODOS .....	15
Método de Classificação de Plantas para Macho-Esterilidade-Fertilidade .....	19
Método de Classificação de Plantas para Presença-Ausência de Fissuras nas Raízes.....	21
Métodos Estatísticos .....	21
1. Teste do Qui-Quadrado .....	21
2. Teste do Qui-Quadrado para Independência .....	23
3. Cálculo da Recombinação (p) a partir dos Dados do Retrocruzamento .....	23
4. Cálculo da Recombinação a partir da Geração F <sub>2</sub> pelo Método dos Produtos..	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
1. Genética da Restauração de Fertilidade..	25
2. Genética do Caráter Raiz Fissurada .....	38
a. Análise do Cruzamento Yugo-AxDPL-16R.	38
b. Análise do Cruzamento DPL-16AxDPL-16R.	45

	Página
3. Associação entre Restauração de Fertilidade e Presença de Fissuras nas Raízes..	59
4. Associação da Murcha Fusariana com a Presença de Fissuras nas Raízes .....	65
RESUMO E CONCLUSÕES .....	68
LITERATURA CITADA .....	70

LISTA DE TABELAS

TABELA	Página
1. Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas Férteis (F) e Macho- Estéreis (S) Observadas em Plantas de Algodão da Geração $F_2$ do Cruzamento entre a Linha Macho- Estéril Yugo-A x Linha Restauradora de Fertilidade DPL-16R. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979 .....	26
2. Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas Férteis (F) e Macho- Estéreis (S) Observadas em Plantas de Algodão de Populações Resultantes do Cruzamento entre a Linha Macho-Estéril Yugo-A x $F_1$ (Yugo-A x DPL-16R). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979 .....	27
3. Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas Férteis (F) e Macho- Estéreis (S) Observadas em Plantas de Algodão de Populações $F_3$ do Cruzamento Yugo-A x DPL-16R. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979 .....	29
4. Possíveis Fenótipos da Macho-Fertilidade Controlada por um Gene Dominante e um Gene Recessivo, Provenientes do <u>G. harknessii</u> (Epistasia Dominante e Recessiva) .....	30
5. Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas Férteis (F) e Macho- Estéreis	

## TABELAS

Página

(S) Observadas em Progenies de Algodão Resultantes da Autofecundação do Retrocruzamento (RC <sub>1</sub> F <sub>2</sub> ) entre a Linha Macho-Estéril Yugo-A x F <sub>1</sub> (Yugo-A x DPL-16R). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979 .....	32
6. Possíveis Fenótipos se a Macho-Esterilidade é Restaurada Quando pelo menos um Simple Gene Dominante Restaurador de Fertilidade está Presente em Algum dos Dois Loci .....	34
7. Dados Referentes ao $\chi^2$ Total, $\chi^2$ Combinado, Heterogeneidade e Número de Famílias que mais se Ajustam às Relações de 3:1, 13:3 e 54:10 Decorrentes da Análise do Caráter Macho-Esterilidade vs Fertilidade em Progenies F <sub>2</sub> , F <sub>3</sub> e RC <sub>1</sub> F <sub>2</sub> Resultantes de Diferentes Tipos de Cruzamentos. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979 .....	36
8. Dados Referentes ao $\chi^2$ Total, $\chi^2$ Combinado, Heterogeneidade e Número de Famílias que mais se Ajustam às Proporções de 1:1 e 5:3 Decorrentes da Análise do Caráter Macho-Esterilidade vs Fertilidade em Progenies Resultantes de Retrocruzamentos. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979 .....	39
9. Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Ráizes Fissuradas e Normais Observadas na Geração F <sub>2</sub> do Cruzamento em	

## TABELA

## Página

tre a Linha Macho-Estéril Yugo-A x Linha Restau- radora de Fertilidade DPL-16R. Fortaleza, Ce., Brasil. 1979.	40
10. Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Raízes Fissuradas e Nor- mais Observadas em Populações Resultantes do Re- trocruzamento entre a Linha Macho-Estéril Yugo- A x $F_1$ (Yugo-A x DPL-16R). Fortaleza, Ceará, Bra- sil. 1979 .....	42
11. Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Raízes Fissuradas e Nor- mais Observadas na Geração $F_3$ do Cruzamento en- tre a Linha Macho-Estéril Yugo-A x Linha Restau- radora de Fertilidade DPL-16R. Fortaleza, Cea- rá, Brasil. 1979 .....	43
12. Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Raízes Fissuradas e Nor- mais Observadas em Populações $RC_1F_2$ (autofecunda- ção de retrocruzamento) entre a Linha Macho- Es- téril Yugo-A x $F_1$ (Yugo-A x DPL-16R). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979 .....	46
13. Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Raízes Fissuradas e Nor- mais Observadas nas Gerações $F_2$ e $F_3$ do Cruza- mento entre a Linha Macho-Estéril DPL-16A x Li-	

## TABELA

## Página

nha Restauradora de Fertilidade DPL-16R. Forta leza, Ceará, Brasil. 1979 .....	47
14. Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Raízes Fissuradas e Nor mais Observadas em Progênes Resultantes do Re trocruzamento entre a Linha Macho-Estéril DPL- 16A x F <sub>1</sub> (DPL-16A x DPL-16R). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979 .....	50
15. Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Raízes Fissuradas e Nor mais, Observadas em Progênes RC <sub>1</sub> F <sub>2</sub> ( autofecun dação de retrocruzamento) Resultantes do Cruza mento entre a Linha Macho-Estéril DPL-16A x F <sub>1</sub> (DPL-16A x DPL-16R). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979 .....	52
16. Resumo dos Resultados Decorrentes do      Estudo do Caráter Raiz Fissurada vs Raíz Normal Envol vendo as Gerações F <sub>2</sub> , F <sub>3</sub> e RC <sub>1</sub> F <sub>2</sub> Provenientes de Dois Cruzamentos Diferentes. Fortaleza, Cea rá, Brasil. 1979 .....	54
17. Dados Referentes ao $\chi^2$ Total, $\chi^2$ Combinado, He terogeneidade e Número de Famílias que      mais se Ajustam às Proporções de 1:1, 5:3 e 3:5, De correntes da Análise do Caráter Raíz Fissurada	

TABELA	Página
vs Raiz Normal em Progenies Resultantes de Retrocruzamentos ( $RC_1$ ). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979 .....	56
18. Número de Plantas Segregando para Genes Restauradores de Fertilidade e Raiz Fissurada na $F_2$ do Cruzamento entre a Linha Macho-Estéril com Raiz Normal Yugo-A x Linha Restauradora de Fertilidade com Raiz Fissurada DPL-16R. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979 .....	60
19. Análise do Qui-Quadrado para Independência e Estimativa da Percentagem de Recombinação entre os Genes para Raiz Fissurada vs Raiz Normal e os Genes para Macho-Esterilidade vs Fertilidade em Populações $RC_1$ (retrocruzamento) e $F_2$ de Algodão. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979..	62
20. Número de Plantas Segregando para Genes Restauradores de Fertilidade e Raiz Fissurada no Retrocruzamento entre a Linha Macho-Estéril Yugo-A x $F_1$ (Yugo-A x DPL-16R). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979 .....	63
21. Associação da Murcha Fusariana (M.F.) com a Característica da Raiz Fissurada em Plantas de Algodão de Progenies $F_3$ e $RC_1F_2$ (autofecundação de retrocruzamento). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979 .....	67

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1. Flor Macho-Fértil (a) Comparada com Flor Macho-Estéril (b) .....	20
2. (a) Órgãos Reprodutores de uma Flor Macho-Fértil; (b) Órgãos Reprodutores de uma Flor Macho-Estéril .....	20
3. (a) Planta com raiz fissurada; (b) planta com raiz fissurada (esquerda) comparada com planta de raiz normal .....	22

## INTRODUÇÃO

A cultura do algodoeiro, Gossypium spp. restringe-se a duas espécies diplóides do Velho Mundo e duas alotetra-plóides do Novo Mundo, sendo uma delas, o Gossypium hirsutum L., cultivada em todos os continentes e de grande importância para a economia dos povos devido à aplicação dos seus inúmeros produtos. Botanicamente, o algodão pertence à classe das Dicotiledôneas, ordem Malvales família Malvaceae e gênero Gossypium.

O melhoramento genético do algodão tem seguido tradicionalmente os métodos convencionais. Modernamente, a obtenção de sementes híbridas  $F_1$ , vem sendo perseguida por várias estações experimentais e ela pode ser simplificada através do uso de plantas macho-estéreis. Os primeiros passos neste sentido foram dados por MEYER (1973a) ao liberar oficialmente a primeira linha aceitável de macho-estéril citoplasmático. A macho-esterilidade, por ela relatada, foi obtida pela transferência de cromossomos de algodão "Upland" (G. hirsutum L.) para o citoplasma do Gossypium harknessii "Brandagee", uma espécie selvagem. MEYER (1975) desenvolveu uma linha restauradora de fertilidade, a partir da transferência de genes do G. harknessii para o genoma do G. hirsutum. Além do(s) gene(s) restaurador(es) de fertilidade, outros genes foram também transferidos e um deles confere um fenótipo caracterizado pela fissura nas raízes.

Segundo WEAVER & WEAVER (1979) há uma estreita ligação entre os genes restauradores de fertilidade e os genes que condicionam o caráter raiz fissurada. Há evidências de que material genético do G. harknessii seja o responsável pela restauração da fertilidade de macho-estéril citoplasmático em algodão. Provavelmente, o gene para raiz fissurada está também localizado neste material genético. Assim, o caráter raiz fissurada serviria como marcador genético, facilitando o trabalho do melhorista na formação de linhas restauradoras de fertilidade. Além disso, a associação de caracteres agrônomicos com determinados genes marcadores, pode ser de grande proveito tanto nos trabalhos de seleção para características agronomicamente desejáveis, como na determinação das relações do ligamento genético daqueles genes.

O presente trabalho teve como objetivos: a) estudar a herança da restauração da fertilidade, b) estudar a herança da raiz fissurada, e c) determinar a ocorrência de ligamento genético entre o(s) gene(s) restaurador(es) de fertilidade e o(s) gene(s) da raiz fissurada e o valor de recombinação (p) entre os citados genes.

## REVISÃO DE LITERATURA

### 1. Ligamento Genético em Algodão

O algodão alotetraplóide, G. hirsutum, consiste de dois genomas A e D que diferem nas características físicas e químicas (EDWARDS et al., 1974; WILSON, 1974). Os cromossomos do genoma A têm cerca de duas vezes o tamanho e contêm aproximadamente o dobro da quantidade de DNA dos cromossomos do genoma D. Desde que os dois genomas são homoeólogos, muitos genes e grupos de ligação ocorrem em duplicata.

Há várias décadas vem sendo realizados estudos, no algodão, para determinar grupos de ligação, os quais podem ser úteis no trabalho da seleção de características agronomicamente desejáveis nesta cultura.

HUTCHINSON (1934), em estudos com algodão asiático, encontrou que havia ligação entre a forma da folha e a côr do línter com um valor de recombinação igual a 30%.

YU (1939a) encontrou que "seedling" amarelo, em algodão asiático, é condicionado por um simples gene recessivo de efeito letal. Encontrou também, que "seedling" amarelo e pigmentação para antocianina são ligados, com valor de recombinação de aproximadamente 9%. O mesmo autor (YU, 1939b) relatou que a característica folha "curly" e forma da folha estão ligadas, apresentando um valor de recombinação igual a 16.6%. De acordo com SILOW (1946) ocorre uma ligação entre o gene para antocianina (R<sub>2</sub>) e o caráter ramos pequenos, em algodão te

traplóide do Novo Mundo, com valor de 10% de recombinação. Este grupo de ligamento é uma duplicata de um grupo anteriormente relatado por outros pesquisadores e seu reconhecimento como tal, deu além disso, uma confirmação genética para a hipótese da origem anfidiplóide dos algodões cultivados do Novo Mundo.

STEPHENS (1955) determinou várias relações de ligamento em algodão "Upland". Ele encontrou que entre os loci  $R_1$  (planta vermelha) e  $C1_1$  (cluster) o valor de recombinação foi alto, em torno de 41,2%. De acordo com os seus dados, as estimativas dos valores de recombinação entre os loci  $Cr$  e  $Lg$  (enrugado e linter verde) foram de 6,6% e 7,1%, respectivamente para uma população pequena de um retrocruzamento e uma família  $F_2$  constituída de poucos indivíduos. Neste mesmo trabalho, STEPHENS relatou que os loci  $Lc_1$  (linter marron) e  $N$  (semente nua) estão ligados, apresentando um valor de recombinação de 44,4%. Porém, a ligação  $Lc_1$  com  $Yg_2$  (verde amarelo) forneceu valores de recombinação de 32 e 36% para retrocruzamento e  $F_2$ , respectivamente. O referido autor, determinou também outro ligamento para o locus  $Yg_2$ . Resultados de um retrocruzamento e  $F_2$ , na fase de associação, forneceram uma estimativa de permutação de 20 e 22,3%, respectivamente para o ligamento entre os loci  $R_2$  (pétala manchada) e  $Yg_2$ .

O alelo duplicado  $Yg_1$ , para verde amarelo, apresentou ligamento com o locus  $R_1$  (planta com partes vermelhas) do genoma D do alotetraplóide *G. hirsutum* (RHYNE, 1957). A estimativa de recombinação foi de 20%, o que coincide com a estimativa ob

tida por STEPHENS (1955), para a ligação  $R_2-Yg^2$  do genoma A.

De acordo com LEWIS (1957), os genes mutantes para folha redonda (round leaf) e bráctea frego (frego bract) comportam-se como recessivos, quando estudados separadamente. Em estado heterozigoto, na mesma planta, os dois genes agem como recessivos e a planta tem folhas e brácteas normais, porém se a planta é homozigota para "folha redonda" a bráctea menor, associada com o gene da "folha redonda", pode ser estreitada e enrolada no fenótipo bráctea "frego". Caso os dois mutantes sejam homozigotos, a folha e a bráctea apresentam-se anormais.

A redução nos valores de recombinação para grupos de ligação transferidos de uma espécie para outra foi relatada por vários autores. RHYNE (1958) observou mudanças na recombinação genética de híbridos interespecíficos de Gossypium. Com o objetivo de avaliar a influência das diferenças estruturais dos cromossomos na recombinação, três grupos de ligamentos diplóides foram transferidos de um dos genomas do G. hirsutum para genótipos diferentes. Suas recombinações, nos grupos de ligação transferidos, foram menores do que aquelas obtidas para a ligação em "backgrounds" semelhantes. A redução na recombinação genética está de acordo com a sugestão de STEPHENS (1950), segundo a qual a "especiação" dentro do gênero Gossypium tem ocorrido tanto pela diferenciação estrutural do cromossomo, como pela substituição de genes maiores e mutação. A natureza da diferenciação estrutu

ral cromossômica causa redução na recombinação devido a uma mudança na frequência de quiasmas e/ou posição.

RHYNE (1960) relatou que a substituição de genes diplóides, particularmente do Gossypium raimondii Ulbr. D<sub>5</sub> para o ligamento D<sub>h</sub> do G. hirsutum, especificamente nos loci R (partes vermelhas na planta) ou Y<sub>g</sub> (cotilédone verde-amarelo) e dw (línter branco e semente "fuzz"), do grupo de ligamento cl-R-Yg-dw, provocou aumento significativo na recombinação entre os loci R-Yg e recombinação total cl-Yg, sem alteração ou aumento, quando comparada com o híbrido usado como controle, D<sub>h</sub>. A alteração na recombinação, ou seja, o aumento em uma região e o decréscimo em outra região, poderia ser causada pela mudança na posição dos quiasmas, devido à presença de um pequeno segmento de cromatina estruturalmente alterado.

QUISENBERRY & KOHEL (1968) observaram uma associação entre a macho-esterilidade-2 em G. hirsutum (descoberta em 1961 por RICHMOND & KOHEL) e uma anormalidade da folha. Os resultados do teste para recombinação indicaram que a determinação da associação pode ser considerada como um caso de pleiotropia (embora não se possa excluir a possibilidade de ligamento genético).

A fibra mais longa, mais forte e mais fina do algodão Pima comercial, relativo ao algodão "Upland", geralmente está associada à cor creme. Tradicionalmente, fibra creme tem sido associada com alta qualidade da fibra. Segundo FEASTER & TURCOTTE (1968), a associação da cor creme com alta qualidade,

entre linhagens de algodão Pima, não se aplica necessariamente. No seu relato, muitas linhagens de qualidade e produção mais altas têm o linter esbranquiçado. As correlações positivas do linter esbranquiçado com alta produtividade e alta qualidade, explicam o fato de que algumas das linhagens promissoras de algodão Pima têm linter mais branco do que as variedades comerciais.

SAUNDERS (1969) transferiu a região ligada  $\underline{H_2Lc_2}$  ( $\underline{H_2}$  = pilose;  $\underline{Lc_2}$  = fibra marron) do tetraplóide Gossypium tomentosum Nutt. para cada um dos tetraplóides Gossypium barbadense L. e G. hirsutum raça punctatum, em que estas espécies foram usadas como fêmeas recorrentes. No último retrocruzamento,  $BC_7$ , também foram feitos cruzamentos recíprocos. Os valores de recombinação diminuíram com os progressivos retrocruzamentos. Houve vários distúrbios no segmento  $\underline{H_2Lc_2}$  transferido para o G. barbadense. Quando o heterozigoto  $\underline{H_2Lc_2}/\underline{h_2lc_2}$  foi utilizado como macho e o barbadense como fêmea ( $\underline{h_2lc_2}/\underline{h_2lc_2}$ ), 50% dos gametas  $\underline{H_2Lc_2}$  foram perdidos e uma relação de 1:2, no retrocruzamento, foi observada em lugar de 1:1. A relação 1:1 foi restaurada quando o heterozigoto foi utilizado como fêmea. O autor postula a presença de uma interação letal do segmento  $\underline{H_2Lc_2}$ , do G. tomentosum, com um inibidor  $I^B$ , do G. barbadense.

Segundo RHYNE (1971) o fenótipo antera indeiscente encontrada em 1965, em uma planta de algodão "Upland", é herdado como um duplo recessivo. No ano seguinte, RHYNE & RHYNE

(1972) estudaram a ligação entre anteras indeiscentes e ausência de nectarinas nas folhas em G. hirsutum. Os autores observaram que entre o locus para glândulas no caule (G1<sub>3</sub>) e folhas com nectarinas (Ne<sub>2</sub>) houve 40% de recombinação e entre este último locus e o locus da deiscência da antera (Ms) somente 16% de recombinação.

TAYEL et al. (1973) estudaram o ligamento entre resistência a doenças de plantas (B<sub>4</sub>) e a cor do pólen (P) em G. hirsutum. Do cruzamento PPB<sub>4</sub>B<sub>4</sub> x ppb<sub>4</sub>b<sub>4</sub> obtiveram resultados da F<sub>2</sub> e do retrocruzamento que evidenciaram a possibilidade de ligamento entre os dois genes (B<sub>4</sub> e P). A média do retrocruzamento e F<sub>2</sub> forneceu um valor de 4,45% de permutação e foi considerada a melhor estimativa de recombinação entre os dois loci (o retrocruzamento forneceu 6,6% e a F<sub>2</sub>, 2,3%). Segundo os autores, o estreito ligamento entre a cor do pólen e o gene B<sub>4</sub> pode ser importante em programas de melhoramento, pois a cor do pólen pode ser usada como marcador genético na transferência do gene B<sub>4</sub> uma vez que eles estão muito próximos. Assim a inoculação artificial seria utilizada para a identificação dos genótipos recombinantes b<sub>4</sub>b<sub>4</sub>PP que seriam então eliminados e isto asseguraria a inclusão apenas dos tipos resistentes nas plantações.

ENDRIZZI & STEIN (1975) testaram 8 cromossomos com o fator duplicado dos genes recessivos lp<sub>1</sub>lp<sub>2</sub> para paliçados a normais. O teste mostrou que um dos duplicados (lp<sub>1</sub>) está localizado no cromossomo 1 do genoma A. O telocêntrico para o

braço curto do cromossomo 1 foi empregado no estudo do ligamento com os marcadores  $\underline{L}^L \underline{lp}_1 \underline{lp}_2$ . As análises genéticas dos telo-1S e dissômicos da  $F_1$  revelaram que o locus  $\underline{L}^L$  está localizado no braço curto, a 38.1 unidades de mapa do centrômero e que o locus  $\underline{lp}_1$  está localizado no braço longo do cromossomo 1. Os dados genéticos obtidos de dissômicos da  $F_1$  mostraram que  $\underline{L}^L$  e  $\underline{lp}_1$  estão distantes a 50 ou mais unidades de mapa.

A condição raiz fissurada foi observada em uma linha de algodão "Upland" (G. hirsutum) com citoplasma G. harknessii, por WEAVER & WEAVER (1979). Estes autores estudaram a herança da característica, a partir das gerações  $F_1$ ,  $F_2$  e retrocruzamentos, e encontraram que o caráter era controlado por um simples par de genes, expressando dominância completa. Os dados também indicaram ligamento genético da raiz fissurada e restauração da fertilidade com valores de recombinação situados entre 6.7 e 14.5%. O símbolo Rc foi proposto para o gene responsável pela raiz fissurada e Rf para o gene restaurador da fertilidade.

## 2 - Macho Esterilidade de Origem Citoplasmática em Algodão

Em 1965, MEYER & MEYER encontraram que o citoplasma do Gossypium anomalum Wawra and Peyr afetava a expressão dos genes que controlam o desenvolvimento e diferenciação das anteras. A macho esterilidade observada ocorria, quando um gene parcialmente recessivo era homocigoto em plantas de algodão

com aquele citoplasma. Cruzamentos recíprocos destas plantas com G. hirsutum "M8" produziram progênes parcialmente estéreis na presença do citoplasma G. anomalum. Os autores concluíram que o nível de expressão da esterilidade dentro de algumas combinações de gene-citoplasma pode ser determinado por fatores ambientais, dos quais a temperatura seria o mais importante. MEYER (1966) encontrou correlações positivas entre temperatura máxima de 15 a 16 dias antes da antese versus número de anteras estéreis e entre umidade relativa 22 dias antes da antese versus número total de anteras.

SARVELLA (1966) observou que a macho-esterilidade em algodão contendo o genoma G. hirsutum e o citoplasma do Gossypium arboreum L. estava correlacionado positivamente com velocidade do vento, evaporação e radiação solar, em um período de 2 a 3 semanas antes da antese; temperatura e esterilidade mostraram correlação negativa. Em linhagens macho-estéreis, com citoplasma do G. anomalum, encontrou-se correlação negativa entre temperatura e radiação solar.

MEYER (1968) estudou o retrocruzamento do macho-estéril citoplasmático com o Stoneville D<sub>2</sub> 247, uma linhagem experimental de algodão "Upland" (G. hirsutum) e encontrou correlação altamente significativa entre resistência da fibra (T<sub>1</sub>) e a macho-esterilidade. Entretanto, a autora não encontrou nenhuma associação entre T<sub>1</sub> e esterilidade, em retrocruzamentos semelhantes, para as diversas variedades comerciais de algodão Upland. MEYER admitiu que o mesmo mecanismo poderia estar en

volvido no controle de alta resistência da fibra e macho-esterilidade.

Após vários cruzamentos e seleções, MEYER (1969) concluiu que linhagens macho-estéreis puras, contendo os citoplasmas do G. arboreum ou G. anomalum e genomas do G. hirsutum, poderiam ser desenvolvidas. Deste modo, seria simples obter estéreis através de retrocruzamentos. A autora salientou que a polinização inadequada seria um problema no desenvolvimento do algodão híbrido.

Segundo MEYER (1970) a macho-esterilidade em algodão G. hirsutum dependente da interação de fatores citoplasmáticos e nucleares, pode ser mantida através da utilização de linhas B como progenitores masculinos. As linhas-B possuem os mesmos fatores nucleares presentes nas linhas com citoplasma macho-estéreis, faltando-lhes porém, o citoplasma "esterilizante". Retrocruzamentos destas linhas-B com linhagens macho-estéreis homozigotas, possuidoras de citoplasma "pólen-estéril", forneceram progênie com semelhantes esterilidade do pólen ou mesmo maior do que aquelas obtidas na auto-polinização de algodão com citoplasma macho-estéril, quando os estéreis ocasionalmente produzem antera fértil.

Duas novas linhas experimentais de algodão "Upland", com citoplasmas das espécies diplóides do G. harknessii e Gossypium herbaceum L., foram descritas por MEYER (1971). Os híbridos recíprocos entre estas duas linhagens e linhagens com citoplasma de outras espécies diferem significativamente

no número de anteras por flôr.

Plantas de algodão com citoplasma do Gossypium longicalyx Hutchinson and Lee, uma espécie diplóide americana, foram usadas por MEYER (1972) em cruzamentos recíprocos, com citoplasma de sete outras espécies. Os híbridos  $F_1$  com citoplasma do G. longicalyx diferiam significativamente no número de anteras, dos híbridos recíprocos com citoplasma da espécie diplóide americana, G. harknessii, ou alguma das três espécies tetraplóides, G. hirsutum, G. barbadense e G. tomentosum. Para as espécies diplóides asiáticas e africanas, G. herbaceum, G. arboreum e G. anomalum, as diferenças entre os híbridos recíprocos foram muito menores, sendo não significativas ou apenas significativas ao nível de 5% de probabilidade.

Segundo MEYER (1973a), sob condições ambientais no Delta do Mississippi, o genoma G. hirsutum em combinação com o citoplasma do G. harknessii produz macho-esterilidade completa e o restabelecimento da macho-fertilidade das linhas requer a presença de certos fatores genéticos provenientes do G. harknessii. O desenvolvimento de linhas restauradoras de fertilidade, a partir de segregantes macho-férteis, tomadas de gerações recentemente retrocruzadas, tem-se constituído no único método para a obtenção daquelas linhas. A autora resumiu as informações sobre herança da restauração de fertilidade, do seguinte modo: (a) um forte gene dominante pode ser responsável pela restauração da fertilidade em gerações retrocruzadas; (b) no mínimo, um gene recessivo pode produzir fer

tilidade parcial, quando presente na condição homozigota; e (c) genes restauradores dominantes e recessivos podem estar ligados.

MEYER (1973b) registrou dezesseis linhas de germe plasma de algodão "Upland". Duas delas, designadas por DES-HAF-16 e DES-HAF-277, foram produzidas a partir de gerações segregando para plantas macho-férteis com citoplasma do G. harknessii. Estas linhas continham os genes restauradores de fertilidade proveniente do G. harknessii, os quais são necessários à restauração da fertilidade do pólen em algumas linhagens com citoplasma do G. harknessii. As linhas macho-estéreis DES-HAMS-16 e DES-HAMS-277, com citoplasma do G. harknessii, sob condições do Mississipi, produzem 100% de progênies macho-estéreis, quando cruzadas com variedade "Upland". Cruzamentos das linhas DES-HAMS-16 e DES-HAMS-277 com a linha DES-HAF produzem progênies parcialmente ou totalmente macho-férteis.

MEYER (1975) relatou que a transferência do genoma do G. hirsutum para o citoplasma do G. harknessii produz macho-esterilidade completa e que a fertilidade para linhas completamente macho-estéreis pode ser isolada de algumas linhagens com citoplasma do G. harknessii.

Segundo WEAVER & WEAVER (1977) a restauração da fertilidade no algodão "Upland" macho-estéril citoplasmático (G. hirsutum) é controlada por um simples gene dominante. A produção de pólen na planta híbrida  $F_1$  (heterozigota para o fator

restaurador) não é consistente, sendo, no entanto, muito mais influenciada pelo ambiente do que em plantas homozígotas para o fator restaurador. Isto indica que, provavelmente, o gene restaurador pode apresentar dominância incompleta.

De acordo com os dados de SILVA (1977), a restauração da fertilidade no algodão macho-estéril citoplasmático parece ser controlada por, no mínimo, três genes dominantes. A fertilidade, neste caso, seria dependente de, pelo menos, um gene dominante para fertilidade em cada um dos dois loci do gene identificado.

## MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foi realizado um estudo de ligação entre os genes restauradores de fertilidade e os genes condicionadores de raiz fissurada em gerações  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$   $RC_1$  (retrocruzamento) e  $RC_1F_2$  (autofecundação de retrocruzamento), de linhas restauradoras de fertilidade do algodão "Upland" (G. hirsutum), com germoplasma designado Deltapine 16R (DES-HAF-16), liberadas por MEYER (1973b). Esta linha foi produzida a partir de gerações segregando para os fenótipos macho-férteis com citoplasma do G. harknessii ( $D_{2-2}$ ) e carregando o(s) gene(s) restaurador(es) de fertilidade, provenientes do G. harknessii. Os genes restauradores são necessários para produzir pólen fértil em linhagens com citoplasma do G. harknessii.

Foram também utilizadas algumas plantas macho-estéreis das linhas-A que serviram como progenitores femininos nos retrocruzamentos realizados durante o trabalho. As linhas macho-estéreis (linhas-A) usadas foram oriundas da sétima geração de retrocruzamento, derivadas do germoplasma Deltapine 16 (DES-HAMS-16) e Delcot 277 (DES-HAMS 277), também liberadas por MEYER (1973b). Estas duas linhas macho-estéreis possuem citoplasma do G. harknessii ( $D_{2-2}$ ) e produzem 100% de progênies macho-estéreis, quando cruzadas com variedades "Upland". Porém, ao serem cruzadas com pólen proveniente de linhas do germoplasma DES-HAF, produzem progênies parcialmente ou inteiramente macho-férteis.

Os derivados destas duas linhas foram modificados sob

condições do Arizona (U.S.A), através do cruzamento do DES-HAMS-277 com um cultivar denominado Yugoslav, que apresenta maturidade precoce. O DES-HAMS 16 foi cruzado com um cultivar do G. hirsutum, "Stoneville 213", seguido por um segundo cruzamento com o cultivar Deltapine 16 que apresenta maturidade média. Estas duas linhas-A serão denominadas, neste trabalho, linhas Yugoslav-A (Yugo-A) e Deltapine-A (DPL-16A), enquanto que a linha restauradora de fertilidade será denominada linha Deltapine-R (DPL-16R).

Além da linha-R e linhas-A, citadas anteriormente, ainda foram utilizadas três variedades cultivadas no Nordeste brasileiro, denominadas Allen 333/57, Su-0450 e Reba B-50.

O estudo foi realizado em três etapas distintas, e o "Campus" do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, foi o local de condução do mesmo.

Em cada uma das etapas, as plantas dispostas em fileiras de progênies, foram observadas em relação aos dois caracteres em estudo. O procedimento da marcação das plantas macho-fértis ou macho-estéreis constou da aposição de fitas plásticas coloridas (azul na planta macho-fértil, alaranjada na planta macho-estéril). A observação da presença ou ausência de fissuras nas raízes, só pôde ser realizada após a retirada das plantas do solo.

Um total de 4286 plantas, distribuídas em 87 famílias, foi observado para as características fertilidade-este

filidade e presença-ausência de fissuras nas raízes. A fertilidade-esterilidade foi avaliada pela presença ou ausência de pólen nas anteras, enquanto a presença ou ausência de fissuras foi avaliada através da simples observação visual das raízes.

Primeira Etapa: Agosto de 1978

As sementes foram semeadas em sacos plásticos, em casa-de-vegetação pertencente ao Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará. Foram utilizadas sementes  $F_1$  originadas de cruzamentos realizados no Arizona, E.U.A., em 1975, e de cruzamentos realizados no Centro de Ciências Agrárias da UFC, em 1978.

O seguinte número de plantas foi utilizado nesta etapa:

<u>Geração <math>F_1</math></u>	<u>Número de Plantas</u>
♀                      ♂	
Yugo-A x DPL-16R	10
DPL-16A x DPL-16R	10
Allen 333/57 x DPL-16R	5
Su-0450 x DPL-16R	5
Reba B-50 x DPL-16R	5
 Linhas-A	 Número de Plantas
Yugo-A	10
DPL-16A	10

Segunda Etapa: Janeiro de 1979

As plantas  $F_1$  da etapa anterior, através de autofecundações, originaram as famílias  $F_2$  e ao mesmo tempo forneceram pólen para os retrocruzamentos ( $RC_1$ ), em que as linhas-A foram os progenitores femininos.

Um total de 1769 plantas das gerações  $F_2$  e  $RC_1$  foi observado no campo, em uma área de 13m x 24m. As famílias e seus respectivos números de plantas são apresentados a seguir:

<u>Geração <math>F_2</math></u>	<u>Nº de Famílias</u>	<u>Nº de Plantas</u>
♀                      ♂ Yugo-A x DPL-16R	10	282
DPL-16A x DPL-16R	6	206
<u>Retrocruzamentos</u>	<u>Nº de Famílias</u>	<u>Nº de Plantas</u>
♀                      ♂ Yugo-A x $F_1$ (Yugo-A x DPL-16R)	17	472
Yugo-A x $F_1$ (Su-0450 x DPL-16R)	5	136
Yugo-A x $F_1$ (Allen 333/57xDPL-16R)	6	161
DPL-16A x $F_1$ (DPL-16A x DPL-16R)	14	373
DPL-16A x $F_1$ (Reba B-50 x DPL-16R)	2	66
DPL-16A x $F_1$ (Allen 333/57xDPL-16R)	3	73

Destas 1769 plantas, apenas 24 foram selecionadas para produzirem as gerações seguintes. Para garantir uma descendência autofecundada, as flores das 24 plantas escolhidas, tiveram suas extremidades amarradas no dia anterior da sua abertura.

Terceira Etapa: Julho de 1979

As sementes  $F_3$  e  $RC_1F_2$ , provenientes da segunda etapa, foram semeadas na mesma área usada anteriormente.

Um total de 2517 plantas foi observado nesta etapa, e distribuído nas seguintes famílias:

<u>Geração <math>F_3</math></u>	<u>Nº de Famílias</u>	<u>Nº de Plantas</u>
♀ ♂ Yugo-A x DPL-16R	8	708
DPL-16A x DPL-16R	7	742
<u>Geração <math>RC_1F_2</math></u>	<u>Nº de Famílias</u>	<u>Nº de Plantas</u>
♀ ♂ Yugo-A x $F_1$ (Yugo-A x DPL-16R)	5	745
Yugo-A x $F_1$ (Allen 333/57xDPL-16R)	1	73
DPL-16A x $F_1$ (DPL-16A x DPL-16R)	3	249

Método de Classificação de Plantas para Macho Esterilidade-Fertilidade

Neste estudo, os dados apresentados para caráter macho-fertilidade foram obtidos a partir da deiscência das anteras das plantas no dia da abertura da flôr. Cada planta foi observada duas vezes, em diferentes dias, para diminuir a probabilidade de erros na marcação.

Geralmente, as flores macho-estéreis são menores que as macho-férteis (Figura 1.). A Figura 2 mostra que os órgãos reprodutores de uma flôr macho-fértil são mais desenvolvidos que os da flôr macho-estéril.

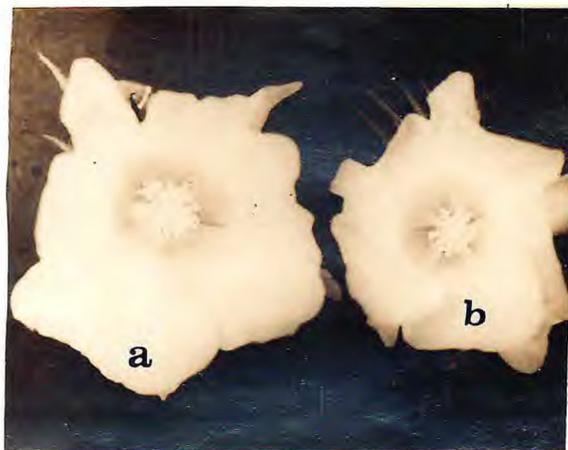


Figura 1. Flor Macho-Fértil (a) Comparada com Flor Macho-Estéril (b)

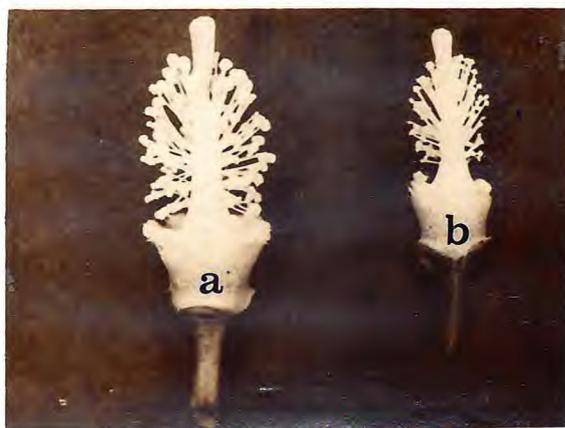


Figura 2. (a) Órgãos Reprodutores de uma Flor Macho-Fértil; (b) Órgãos Reprodutores de uma Flor Macho-Estéril.

Método de Classificação de Plantas para Presença-Ausência de Fissuras nas Raízes.

A presença ou ausência de fissuras nas raízes das plantas foi observada após a retirada das mesmas do solo. Este caráter é de fácil observação, sendo, mínima a probabilidade de erros. As fissuras podem ocorrer apenas nas raízes laterais ou ocorrerem também na raiz principal (Figura 3.a.). Elas apresentam uma expressividade variável, mostrando-se superficiais ou mais profundas. Em qualquer um dos dois casos elas atingem apenas a casca, não afetando o cilindro central.

Geralmente, as raízes fissuradas têm uma coloração mais escura (marrom escuro) do que as raízes normais que têm coloração mais clara (quase creme - Figura 3.b).

Métodos Estatísticos

Os dados foram analisados através dos seguintes métodos estatísticos:

1. Teste do Qui-Quadrado

O Qui-Quadrado foi obtido pela fórmula:

$$\chi^2 = \frac{(o - e)^2}{e}$$

Onde:

o = número observado de indivíduos

e = número esperado de indivíduos para uma determinada proporção genética .



a



b

Figura 3. (a) Planta com raiz fissurada; (b) planta com raiz fissurada (esquerda) comparada com planta de raiz normal.

## 2. Teste do Qui-Quadrado para Independência

O Qui-Quadrado para Independência foi calculado através da seguinte fórmula:

$$\chi^2 = \frac{(ad - bc)^2 N}{(a+b)(a+c)(c+d)(b+d)}, \text{ com 1 grau de liberdade,}$$

Onde:

a e d são os tipos parentais (no presente estudo: a = planta macho-fértil com raiz fissurada; d = macho-estéril com raiz normal).

b e c são os tipos recombinantes (ou seja: b = macho-fértil com raiz normal; c = macho-estéril com raiz fissurada); e

N = número de indivíduos da população.

## 3. Cálculo da Recombinação (p) a partir dos Dados do Retrocruzamento

$$p = \frac{\text{nº de recombinantes}}{\text{nº de indivíduos da população}} \times 100$$

## 4. Cálculo da Recombinação a partir da Geração F<sub>2</sub> pelo Método dos Produtos (FISHER and BALMUKANDI, 1928).

Para a fase de associação, o valor de recombinação é dado pela fórmula:  $\frac{bc}{ad}$ , onde

a e d são os tipos parentais;

b e c são os tipos recombinantes

O valor calculado pela fórmula acima é utilizado para se encontrar o valor de recombinação desejado. Com o valor encontrado, procura-se na Tabela de Immer o valor de recombinação correspondente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1. Genética da Restauração de Fertilidade

A análise genética convencional da restauração de fertilidade foi realizada a partir das gerações  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $RC_1$  e  $RC_1F_2$ .

O número de plantas férteis e macho-estéreis observadas na população  $F_2$ , proveniente do cruzamento Yugo-A x DPL-16R, é mostrado na Tabela 1. A análise da população  $F_2$  total (282 plantas) com base na proporção mendeliana de 3 plantas férteis: 1 planta macho-estéril, forneceu um valor para o qui-quadrado ( $\chi^2$ ) não significativo ( $\chi^2 = 4.61$ ;  $P = 0.01$ ). Cada uma das 10 famílias, analisadas individualmente, ajustou-se à proporção de 3:1. A Tabela 2 apresenta o número de plantas férteis e macho-estéreis observadas em populações resultantes de retrocruzamentos. Das 17 famílias estudadas, 14 se ajustaram à proporção de 1 planta fértil, 1 planta macho-estéril e 5 plantas férteis: 3 plantas macho-estéreis e somente uma ajustou-se à proporção 3.1.

WEAVER & WEAVER (1977) apresentaram uma hipótese segundo a qual a restauração de fertilidade é condicionada por um simples gene dominante, cujo símbolo proposto é Rf. De acordo com esta hipótese, o número de plantas férteis e macho-estéreis esperados em populações  $F_2$  é de 3 férteis: 1 macho-estéril, enquanto as populações resultantes de retrocruzamento segregaram na proporção de 1 planta fértil: 1 planta macho-estéril. Os dados da Tabela 1 estão de acordo com a hipótese pro

Tabela 1 - Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas Férteis (F) e Macho-Estéreis (S) Observadas em Plantas de Algodão da Geração  $F_2$  do Cruzamento entre a Linha Macho-Estéril Yugo-A x Linha Restauradora de Fertilidade DPL-16R.Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Família nº	Total	F	S	Proporções Testadas pelo $\chi^2$		
				3:1	13:3	54:10
1	12	10	2	0.44	0,03	0.01
2	16	12	4	0.00	0.41	1.07
3	11	8	3	0.03	0.53	1.13
4	18	13	5	0.07	0.96	2.02
5	38	30	8	0.32	0.13	0.85
6	28	21	7	0.00	0.72	1.88
7	33	24	9	0.09	1.57	3.39
8	33	23	10	0.49	2.89	5.38*
9	57	48	9	2.58	0.33	0.00
10	36	<u>29</u>	<u>7</u>	<u>0.59</u>	<u>0.01</u>	<u>0.40</u>
Totais				4.61	7.58	16.13
$\chi^2$ Combinado		218	64	<u>0.80</u>	<u>2.88</u>	10.70**
Heterogeneidade				3.81	4.70	5.43

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 2 - Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas Férteis (F) e Macho-Estéreis (S) Observadas em Plantas de Algodão de Populações Resultantes do Cruzamento entre a Linha Macho - Estéril Yugo-A x F<sub>1</sub> (Yugo-A x DPL-16R). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Família de Retrocruzamento	Total	F	S	Proporções Testadas pelo $\chi^2$		
				1:1	5:3	3:1
1	45	20	25	0.56	6.27*	
2	21	15	6	3.86*	0.71	
3	22	11	11	0.00	1.47	
4	39	23	16	1.26	0.21	
5	38	25	13	3.79	0.18	
6	21	13	8	1.19	0.00	
7	24	11	13	0.17	2.84	
8	46	24	22	0.09	2.09	
9	21	13	8	1.19	0.00	
10	24	13	11	0.17	0.71	
11	36	30	6	16.00**	6.67**	1.33
12	21	13	8	1.19	0.00	
13	21	8	13	1.19	5.35*	
14	34	23	11	4.24*	0.38	
15	20	13	7	1.80	0.05	
16	18	8	10	0.22	2.50	
17	21	<u>13</u>	<u>8</u>	<u>1.19</u>	<u>0.00</u>	
Totais				38.11**	29.43**	
$\chi^2$ Combinado		276	196	<u>13.56**</u>	<u>3.26</u>	
Heterogeneidade				24.55	26.17	

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

posta por WEAVER & WEAVER (1977) de um par de genes, pois todas as 10 famílias estudadas ajustaram-se à proporção de 3:1. Por outro lado, das 17 famílias estudadas nos retrocruzamentos (Tabela 2), 14 segregaram na proporção de 1 fértil: 1 macho-estéril. Deste modo, os resultados da Tabela 2 sugerem que, provavelmente, a herança da restauração de fertilidade não seja tão simples como acreditam WEAVER & WEAVER (1977), ou que as 3 famílias não se ajustaram àquela proporção devido a fatores aleatórios.

A análise das populações  $F_3$  (Tabela 3) reforça a suposição de que a herança da restauração de fertilidade talvez não seja condicionada apenas por um par de genes. Das 8 famílias apresentadas naquela Tabela, apenas 2 se ajustaram à proporção de 3 plantas férteis: 1 planta macho-estéril. O valor do  $\chi^2$  da população  $F_3$  total (708 plantas), com base na proporção 3:1, foi altamente significativo ( $\chi^2 = 50.60$ ), o que conduz à rejeição da hipótese proposta por WEAVER & WEAVER (1977). Em face dos resultados obtidos nas gerações  $RC_1$  e  $F_3$ , foi decidido testar uma segunda hipótese para explicar o mecanismo da herança da restauração da fertilidade. MEYER (1975) sugere que deve haver dois pares de genes envolvidos neste tipo de herança (um dominante e outro recessivo), constituindo um caso de epistasia dominante e recessiva. Os possíveis genótipos para macho-esterilidade e linhas restauradoras de fertilidade, na hipótese de MEYER, são mostrados na Tabela 4. De acordo com esta Tabela, a autofecundação de genótipos restau

Tabela 3 - Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas Férteis (F) e Macho-Estéreis (S) Observadas em Plantas de Algodão de Populações  $F_3$  do Cruzamento Yugo-A x DPL-16R. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Família nº	Total	F	S	Proporções Testadas pelo $\chi^2$			
				3:1	13:3	54:10	15:1
1	46	44	2	10.46**	6.26*	4.44*	0.28
2	97	83	14	5.78*	1.19	0.11	
3	61	57	4	11.07**	5.96*	3.80	
4	192	161	31	8.03**	0.85	0.04	
5	100	78	22	0.48	0.69	3.09	
6	73	64	9	6.25*	1.98	0.60	
7	67	54	13	1.12	0.02	0.72	
8	72	<u>64</u>	<u>8</u>	<u>7.41**</u>	<u>2.76</u>	<u>1.12</u>	
Totais				50.60**	19.71*	13.92	
$\chi^2$ combinado		605	103	<u>41.25**</u>	<u>8.21**</u>	<u>0.62</u>	
Heterogeneidade				9.35	11.50	13.30	

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 4 - Possíveis Fenótipos da Macho-Fertilidade Controlada por um Gene Dominante e um Gene Recessivo, Provenientes do G. harknessii (Epistasia Dominante e Recessiva - Segundo MEYER, 1975).

Relação de Segregação esperada de:

Cruzamento de linhas restauradoras com os dois possíveis genótipos para macho - esterilidade

Genótipos Restauradores	<u>Autofecundação de Genótipos Restauradores</u>		<u>aaBB</u>		<u>AaBb</u>	
	F	S	F	S	F	S
AABB	1	0	1	0	1	0
AABb	1	0	1	0	1	0
AAbb	1	0	1	0	1	0
AaBB	3	1	1	1	1	1
AaBb	13	3	1	1	5	3
Aabb	1	0	1	1	3	1
aabb	1	0	0	1	1	1

A\_B\_ = fértil

A\_bb = fértil

aaBb = estéril

aabb = fértil

F = fértil

S = estéril

radores fornece proporções mendelianas dos tipos: 1 fértil: 0 (zero) macho-estéril; 3 férteis: 1 macho-estéril, ou ainda, 13 férteis: 3 macho-estéreis. Os dados da Tabela 3 foram então testados pelo  $\chi^2$ , com base na proporção de 13 plantas férteis: 3 plantas macho-estéreis. Das 8 famílias  $F_3$  estudadas, 6 (o que equivale a 75%) se ajustaram à proporção 13:3. As famílias de números 1 e 3 não se ajustaram a esta proporção. A análise da população  $F_3$  total, com base na proporção 13:3, pelo teste de  $\chi^2$ , mostrou que a população não se ajusta a esta proporção, conforme resultado significativo para  $\chi^2 = 19.71$ , na probabilidade  $P = 0.05$ . O  $\chi^2$  combinado também apresentou-se significativo. Este resultado também não explica totalmente a herança da característica nas progênes  $F_3$ .

A Tabela 5 mostra o número de plantas férteis e macho-estéreis observado em progênes  $RC_1F_2$ . As 5 famílias componentes da população  $RC_1F_2$  foram analisadas pelo  $\chi^2$ , com base em diferentes proporções mendelianas. Os resultados evidenciaram que nenhuma família se ajustou à proporção 3:1, mas duas se ajustaram à proporção 13:3. Diante das evidências encontradas nas gerações  $F_3$  e  $RC_1F_2$ , as duas hipóteses discutidas anteriormente, não são totalmente adequadas para explicar a herança da característica, uma vez que houve discrepâncias nos resultados obtidos. Deste modo, foi decidido testar uma terceira hipótese proposta por SILVA (1977) para explicar a herança da restauração de fertilidade. Este autor propôs a existência de três pares de genes ( $Rf_1$ ,  $Rf_2$  e  $Rf_3$ ) para res

Tabela 5 - Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas Férteis (F) e Macho-Estéreis (S) Observadas em Progenies de Algodão Resultantes da Autofecundação do Retrocruzamento ( $RC_1F_2$ ) entre a Linha Macho-Estéril Yugo-A x  $F_1$  (Yugo-A x DPL-16R). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Família nº	Total	F	S	Proporções Testadas pelo $\chi^2$			
				3:1	13:3	54:10	15:1
1	122	101	21	3.95*	0.19	0.23	
2	224	194	30	16.09**	4.22*	0.85	
3	138	135	3	38.35**	24.88**	18.94**	3.91*
4	188	172	16	27.26**	12.94**	7.21**	1.64
5	73	<u>63</u>	<u>10</u>	<u>4.97*</u>	<u>1.22</u>	<u>0.21</u>	
Totais				90.62**	43.45**	27.44**	
$\chi^2$ combinado		665	80	<u>80.82**</u>	<u>31.39**</u>	<u>13.50**</u>	
Heterogeneidade				9.80*	12.06*	13.94**	

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

tauração da fertilidade, sendo que esta ocorre quando existe pelo menos um simples gene dominante em dois dos três loci. A Tabela 6 mostra os 20 possíveis genótipos restauradores e os 7 possíveis genótipos macho-estêreis, quando a restauração de fertilidade depende de três pares de genes. Dependendo dos genótipos envolvidos, podem ser obtidas várias proporções de segregação resultantes da autofecundação de linhas restauradoras (1:0, 15:1, 3:1, 54:10 ou 9:7).

Como mostra a Tabela 5, as famílias de números 1, 2 e 5 se ajustaram à proporção de 54 plantas férteis: 10 plantas macho-estêreis. A existência de significância para o  $\chi^2$  combinado ( $\chi^2 = 13.50$ ;  $P = 0.01$ ) conduziu à rejeição da hipótese de que todas as progênes constituem uma amostra de uma população segregando na proporção 54:10. A família de nº 4 ajustou-se à proporção 15:1, o que é esperado quando estão envolvidos três pares de genes (de acordo com a citada hipótese). Este resultado permite, portanto, propor para a planta que deu origem à estas progênes um dos seguintes genótipos:  $\underline{Rf_1 Rf_1 Rf_2 rf_2 Rf_3 rf_3}$ ,  $\underline{Rf_1 rf_1 Rf_2 rf_2 Rf_3 Rf_3}$  ou  $\underline{Rf_1 rf_1 Rf_2 Rf_2 Rf_3 rf_3}$ . As plantas que originaram as famílias de números 1, 2 e 5, provavelmente tinham genótipos  $\underline{Rf_1 rf_1 Rf_2 rf_2 Rf_3 rf_3}$ .

Os dados da geração  $F_2$  apresentados na Tabela 1 não permitem rejeitar as 3 hipóteses mencionadas, uma vez que somente a família de nº 8 apresentou valor de  $\chi^2$  significativo. Esta família, no entanto, ajustou-se à proporção de 3:1, a qual é esperada a partir da autofecundação de plantas com um

Tabela 6 - Possíveis Fenótipos se a Macho-Esterilidade é Restaurada Quando pelo menos um Simples Gene Dominante Restaurador de Fertilidade está Presente em Alguém dos Dois Loci. - Segundo SILVA, 1977).

Genótipos Res tauradores	Relações de Segregação esperada de:													
	Autofecundação		Cruzamento com Genótipos Macho-Estéreis											
	F : S	F : S	AAbbdd F : S	Aabbdd F : S	aaBBdd F : S	aaBbdd F : S	āabbDD F : S	āabbDd F : S	āabbdd F : S					
AABBDD	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
AABbDD	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
AAbbDD	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
AABBdd	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
AABbDd	15	1	3	1	3	1	1	0	7	1	1	0	7	1
AAbbDd	3	1	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	3	1
AABBdd	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
AABbdd	3	1	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	3	1
AaBBDD	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
AaBbDD	15	1	3	1	7	1	1	0	7	1	3	1	3	1
AabbDD	3	1	1	0	3	1	1	0	3	1	1	1	1	1
AaBBdd	15	1	1	0	7	1	3	1	3	1	1	0	7	1
AaBbDd	54	10	3	1	5	3	3	1	5	3	3	1	5	3
AabbDd	9	7	1	1	3	5	3	1	1	1	1	1	3	5
AaBBdd	3	1	1	0	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AaBbdd	9	7	1	0	3	5	1	1	3	5	3	1	1	3
aaBBDD	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
aaBbDD	3	1	1	0	3	1	1	0	3	1	1	1	1	1
aaBBdd	3	1	1	0	3	1	1	1	1	1	1	0	3	1
aaBbdd	9	7	3	1	1	1	1	1	3	5	1	1	3	5

A = Rf<sub>1</sub> , B = Rf<sub>2</sub> , D = Rf<sub>3</sub> , F = fértil, S = estéril

dos seguintes genótipos:  $\underline{Rf_1 Rf_1 rf_2 rf_2 Rf_3 rf_3}$ ,  $Rf_1 Rf_1 Rf_2 rf_2 rf_3 rf_3$ ,  $\underline{Rf_1 rf_1 rf_2 rf_2 Rf_3 Rf_3}$ ,  $\underline{Rf_1 rf_1 Rf_2 Rf_2 rf_3 rf_3}$ ,  $\underline{rf_1 rf_1 Rf_2 rf_2 Rf_3 Rf_3}$  ou  $\underline{rf_1 rf_1 Rf_2 Rf_2 Rf_3 rf_3}$ . Os dados da Tabela 3, por outro lado, são mais consistentes com relação a hipótese de três pares de genes do que com as de um ou dois pares, embora a família de nº 1 não tenha se ajustado à proporção de 54:10 e sim a proporção de 15:1, que é também esperada, como já foi referido anteriormente. Os dados das populações resultantes de retrocruzamentos mostrados na Tabela 2 são provenientes de retrocruzamentos entre uma linha restauradora  $F_1$  com uma linha macho-estéril parental. Os valores do qui-quadrado, com base nas proporções 1:1, 5:3 e 3:1 (de acordo com os resultados esperados mostrados na Tabela 6) mostram que 10 famílias dos retrocruzamentos se ajustaram às proporções de 1 planta fértil: 1 planta macho-estéril, 5 plantas férteis: 3 plantas macho-estéreis ou 3 plantas férteis: 1 planta macho-estéril, e que, portanto, as hipóteses de um par ou dois pares de genes não explicam totalmente os resultados obtidos.

A Tabela 7 apresenta os dados referentes ao  $\chi^2$  total,  $\chi^2$  combinado, heterogeneidade e número de famílias que mais se ajustam às proporções de 3 plantas férteis: 1 planta macho-estéril, 13 plantas férteis: 3 plantas macho-estéreis e 54 plantas férteis: 10 plantas macho-estéreis, em progênies  $F_2$ ,  $F_3$  e  $RC_1 F_2$ . As famílias analisadas (totalizando 2589 plantas) apresentaram uma nítida tendência à segregação de 54 férteis: 10 macho-estéreis. Das 36 famílias estudadas, 18 segregaram na

Tabela 7 - Dados Referentes ao  $\chi^2$  Total,  $\chi^2$  Combinado, Heterogeneidade e Número de Famílias que mais se Ajustam às Relações de 3:1, 13:3 e 54:10, Decorrentes da Análise do Caráter-Macho-Esterilidade vs Fertilidade em Progenies  $F_2$ ,  $F_3$  e  $RC_1F_2$  Resultantes de Diferentes Tipos de Cruzamentos. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Cruzamento	Progenies	Total de Plantas	Total de Fam.	3 : 1				13 : 3				54 : 10			
				$\chi^2$ Total	$\chi^2$ Comb.	Heter.	Nº Fam. Ajust.	$\chi^2$ Total	$\chi^2$ Comb.	Heter.	Nº Fam. Ajust.	$\chi^2$ Total	$\chi^2$ Comb.	Heter.	Nº Fam. Ajust.
Yugo-A x DPL-16R	$F_2$	282	10	4.61	0.80	3.81	10	7.58	2.88	4.70	10	16.13	10.70**	5.43	9
	$F_3$	708	8	50.60**	41.25**	9.35	2	19.71*	8.21**	11.50	6	13.92	0.62	13.30	7
Yugo-A x $F_1$ (Yugo-A x DPL-16R)	$RC_1F_2$	745	5	90.62**	80.82**	9.80*	0	43.45**	31.39**	12.06*	2	27.44**	13.50**	13.94**	3
DPL-16A x DPL-16R	$F_2$	206	6	9.99	8.86**	1.13	5	2.40	1.01	1.39	6	1.64	0.02	1.62	6
	$F_3$	399	4	53.04**	52.63**	0.41	1	24.02**	23.52**	0.50	1	12.77**	12.21**	0.56	3
DPL-16A x $F_1$ (DPL-16A x DPL-16R)	$RC_1F_2$	249	3	33.34**	32.99**	0.35	0	15.22**	14.79**	0.43	1	8.20*	7.71**	0.49	2
Total		2589	36				18				26				30

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

proporção de 3 férteis: 1 macho-estéril, 26 na proporção de 13 férteis: 3 macho-estéreis, enquanto 30 segregaram na proporção de 54 férteis: 10 macho-estéreis. Deste modo, verifica-se que a postulação de três pares de genes é muito mais consistente para a explicação dos dados obtidos do que as duas outras hipóteses referidas anteriormente. Os resultados referentes às 3 primeiras progênes, mostrados na Tabela 7, já foram comentados anteriormente (Tabelas 1, 3 e 5).

As 6 famílias provenientes do cruzamento DPL-16A x DPL-16R segregaram nas proporções 13 plantas férteis: 3 plantas macho-estéreis e 54 plantas férteis: 10 plantas macho-estéreis (Tabela 7). Com base na proporção 54:10, a análise do qui-quadrado forneceu um  $\chi^2$  combinado não significativo ( $\chi^2 = 0.02$ ;  $P = 0.01$ ), o que permite aceitar a hipótese de que todas as progênes representam uma amostra de uma população segregando na proporção 54:10. Das 4 progênes  $F_3$  resultantes do cruzamento DPL-16A x DPL-16R, apenas uma ajustou-se à proporção de 3:1, porém 3 das famílias  $F_3$  segregaram na proporção 54:10. Os dados provenientes das progênes  $F_2$  e  $F_3$ , do citado cruzamento, estão mais próximos da hipótese de três pares de genes, proposta para explicar o mecanismo da restauração de fertilidade, do que das duas outras hipóteses referidas anteriormente. A Tabela 7 mostra, ainda, os valores de qui-quadrado para as três famílias  $RC_1F_2$ , resultantes da autofecundação do retrocruzamento DPL-16A x  $F_1$  (DPL-16A x DPL-16R). Das 3 famílias estudadas nenhuma se ajustou à proporção de 3:1, o que reforça mais uma

vez a suposição de a restauração de fertilidade não ser condi  
cionada por um único par de genes.

As 47 famílias provenientes de seis tipos de retrocro  
zamentos (Tabela 8) foram submetidas à análise de qui-quadrado  
 com base nas proporções de 1 planta fértil: 1 planta macho-es  
téril e de 5 plantas férteis: 3 plantas macho-estéreis. Um to  
tal de 35 famílias ajustou-se à proporção de 1 fértil: 1 ma  
cho-estéril. Embora esta seja uma proporção esperada na hipótese  
de SILVA (1977), para populações retrocruzadas, ela é tam  
bém esperada nas hipóteses de MEYER (1975) e WEAVER & WEAVER  
 (1977). Diante de todos os resultados apresentados no presente  
 estudo, sobre restauração de fertilidade, conclui-se que embo  
ra eles apresentem uma nítida tendência à segregação de 54  
 plantas férteis: 10 plantas macho-estéreis (Tabela 7), para popu  
lações  $F_2$ , não se pode excluir a possibilidade de que a res  
tauração de fertilidade talvez possa ser condicionada por um  
 par de genes, ou mesmo, por dois pares de genes.

## 2. Genética do Caráter Raiz Fissurada

### a) Análise do Cruzamento Yugo-A x DPL-16R

A análise genética convencional do caráter raiz fissura  
da foi realizada a partir das gerações  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $RC_1$  e  $RC_1F_2$ .

O número de plantas com raízes fissuradas e normais  
 observadas na geração  $F_2$  é apresentado na Tabela 9. As 10 famíli  
as desta geração segregaram para a proporção de 3 plantas  
 com raízes fissuradas: 1 planta com raiz normal. As populações

Tabela 8 - Dados Referentes ao  $\chi^2$  Total,  $\chi^2$  Combinado, Heterogeneidade e Número de Famílias que mais se Ajustam às Proporções de 1:1 e 5:3 Decorrentes da Análise de Caráter Macho-Esterilidade vs Fertilidade em Progenies Resultantes de Retrocruzamentos. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Retrocruzamentos	Total de Pl.	Total de Fam.	1 : 1			5 : 3				
			$\chi^2$ Total	$\chi^2$ Comb.	Heter.	Nº Fam ajust.	$\chi^2$ Total	$\chi^2$ Comb.	Heter.	Nº Fam ajust.
Yugo-AxF <sub>1</sub> (Yugo-A x DPL-16R)	472	17	38.11**	13.56**	24.55	14	29.43*	3.26	26.17	14
Yugo-AxF <sub>1</sub> (Su-0450 x DPL-16R)	136	5	9.40	2.94	6.46	4	8.43	1.54	6.89	5
Yugo-AxF <sub>1</sub> (Allen 333/57 x DPL-16R)	161	6	2.37	0.30	2.07	6	9.55	7.33**	2.22	6
DPL-16AxF <sub>1</sub> (DPL-16A x DPL-16R)	373	14	123.71**	93.75**	29.96**	6	57.10**	25.13**	31.97**	7
DPL-16AxF <sub>1</sub> (Reba B-50 x DPL-16R)	66	2	1.25	0.24	1.01	2	7.86*	6.79**	1.07	1
DPL-16AxF <sub>1</sub> (Allen 333/57 x DPL-16R)	73	3	0.17	0.12	0.05	3	3.45	3.40	0.05	3
<b>Total</b>	<b>1281</b>	<b>47</b>				<b>35</b>				<b>36</b>

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 9 - Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Raízes Fissuradas e Normais Observadas na Geração  $F_2$  do Cruzamento entre a Linha Macho-Estéril Yugo-A x Linha Restauradora de Fertilidade DPL-16R. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Família nº	Total	Raiz		Proporções Testadas pelo $\chi^2$		
		Fis.	Normal	3:1	13:3	54:10
1	12	10	2	0.44	0.03	0.01
2	16	12	4	0.00	0.41	1.07
3	11	8	3	0.03	0.53	1.13
4	18	13	5	0.07	0.96	2.02
5	38	31	7	0.88	0.00	0.22
6	28	21	7	0.00	0.72	1.88
7	33	24	9	0.09	1.57	3.39
8	33	23	10	0.49	2.89	5.38*
9	57	48	9	2.58	0.33	0.00
10	36	<u>26</u>	<u>10</u>	<u>0.15</u>	<u>1.93</u>	<u>4.04*</u>
Totais				4.73	9.37	19.14*
$\chi^2$ Combinado		216	66	<u>0.38</u>	<u>4.01*</u>	<u>12.95**</u>
Heterogeneidade				4.35	5.36	6.19

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

resultantes do retrocruzamento Yugo-A x  $F_1$  (Yugo-A x DPL-16R) segregaram para a proporção de 1 planta com raiz fissurada: 1 planta com raiz normal, com exceção das famílias de números 2, 11 e 14 (Tabela 10). Os dados da geração  $F_2$  indicam que o caráter raiz fissurada pode ser condicionado por um simples par de genes com dominância completa. A este respeito, WEAVER & WEAVER. (1979) encontraram resultados idênticos, quando analisaram gerações segregantes do algodão "Upland", e propuseram o símbolo  $R_c$  para o gene condicionador da raiz fissurada em algodão.

A Tabela 11 apresenta o número de plantas com raízes fissuradas e normais, observadas na geração  $F_3$ . Seis das 8 famílias  $F_3$  segregaram na proporção de 3 plantas com raízes fissuradas: 1 planta com raiz normal. A aplicação do teste de qui-quadrado à proporção 3:1, para a população  $F_3$  total (708 plantas), forneceu um valor altamente significativo ( $\chi^2 = 24.59$ ;  $P = 0.01$ ). O  $\chi^2$  combinado, também foi significativo ( $\chi^2 = 16.64$ ;  $P = 0.01$ ), e este resultado permite rejeitar a hipótese de que as progênes constituem uma amostra de uma população segregando para a proporção 3 plantas com raízes fissuradas: 1 planta com raiz normal e, conseqüentemente, não estão de acordo com a hipótese de um único par de genes. Por esta razão, os dados obtidos foram também, testados pelo qui-quadrado para a proporção de 13 plantas com raízes fissuradas: 3 plantas com raízes normais, supondo que dois pares de genes (epistasia dominante e recessiva) são responsáveis pela condi

Tabela 10. Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Raízes Fissuradas e Normais Observadas em Populações Resultantes do Retrocruzamento entre a Linha Macho-Estéril Yugo-A x F<sub>1</sub> (Yugo-AxDPL-16R). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Família de Retrocruzamento	Total	Raiz		Proporções Testadas pelo $\chi^2$		
		Fis.	Normal	1:1	5:3	3:1
1	45	18	27	1.80	9.73**	
2	21	15	6	3.86*	0.71	
3	22	11	11	0.00	1.47	
4	39	21	18	0.23	1.25	
5	38	25	13	3.79	0.18	
6	21	13	8	1.19	0.00	
7	24	11	13	0.17	2.84	
8	46	24	22	0.09	2.09	
9	21	13	8	1.19	0.00	
10	24	13	11	0.17	0.71	
11	36	30	6	16.00**	6.67**	1.33
12	21	13	8	1.19	0.00	
13	21	8	13	1.19	5.35*	
14	34	23	11	4.24*	0.38	
15	20	13	7	1.80	0.05	
16	18	8	10	0.22	2.50	
17	21	13	8	1.19	0.00	
Totais				38.32**	33.93**	
$\chi^2$ Combinador		272	200	10.98**	4.78	
Heterogeneidade				27.34*	29.15*	

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 11 - Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Raízes Fissuradas e Normais Observadas na Geração  $F_3$  do Cruzamento entre a Linha Macho-Estéril Yugo-A x Linha Restauradora de Fertilidade DPL-16R. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Família nº	Total	Raiz		Proporções Testadas pelo $\chi^2$		
		Fis.	Normal	3:1	13:3	54:10
1	46	39	7	2.35	0.37	0.01
2	97	83	14	5.78*	1.19	0.11
3	61	56	5	9.19**	4.46*	2.55
4	192	154	38	2.78	0.14	2.53
5	100	76	24	0.05	1.81	5.33*
6	73	58	15	0.77	0.15	1.34
7	67	51	16	0.04	1.16	3.46
8	72	<u>61</u>	<u>11</u>	<u>3.63</u>	<u>0.57</u>	<u>0.01</u>
Totais				24.59**	9.85	15.34
$\chi^2$ Combinado		578	130	<u>16.64**</u>	<u>0.07</u>	<u>4.02*</u>
Heterogeneidade				7.95	9.78	11.32

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ção raiz fissurada. Esta suposição é baseada na hipótese proposta por MEYER (1975) para explicar o mecanismo da herança dos genes restauradores de fertilidade. Como foi visto anteriormente, quando do estudo do caráter macho-esterilidade vs fertilidade, a Tabela 4 mostra os possíveis genótipos e as proporções de segregação esperadas da autofecundação de genótipos restauradores e do cruzamento entre as linhas restauradoras com os genótipos macho-estéreis. Se o mecanismo da herança da raiz fissurada for semelhante ao proposto por MEYER (1975), para a restauração da fertilidade, as seguintes proporções de segregação serão esperadas, a partir da autofecundação de genótipos condicionadores de raiz fissurada: 1 fissurada: 0 normal; 3 fissuradas: 1 normal e 13 fissuradas: 3 normais, enquanto que a partir do cruzamento de genótipos condicionadores de raiz fissurada com genótipos condicionadores de raiz normal serão esperadas: 1 fissurada: 0 normal; 1 fissurada: 1 normal; 0 fissurada: 1 normal; 5 fissuradas: 3 normais e 3 fissuradas: 1 normal.

Os dados da Tabela 11 ao serem submetidos ao qui-quadrado, com base na proporção de 13 plantas com raízes fissuradas: 3 plantas com raízes normais, forneceu um  $\chi^2$  total não significativo ( $\chi^2 = 9.85$ ;  $P = 0.01$ ). A análise do qui-quadrado de cada família da  $F_3$  mostrou que apenas a família de nº 3 não se ajustou à esta proporção. De acordo com estes dados, não se pode rejeitar a hipótese de dois pares de genes proposta por MEYER (1975).

A análise das populações  $RC_1F_2$  mostra que 4 das 5 famílias estudadas segregaram na proporção de 3 plantas com raízes fissuradas: 1 planta com raiz normal (Tabela 12).

Diante da falta de consistência apresentada pelos resultados (Tabelas 9, 10, 11 e 12), torna-se difícil explicar o provável mecanismo da herança do(s) gene(s) condicionador(es) da raiz fissurada, em progênies resultantes do cruzamento Yugo-A x DPL-16R.

b) Análise do Cruzamento DPL-16A x DPL-16R

A Tabela 13 apresenta o número de plantas com raízes fissuradas e normais observadas nas populações  $F_2$  e  $F_3$ , resultantes do cruzamento entre uma planta com raiz fissurada e uma planta com raiz normal. Cinco das 6 famílias  $F_2$  segregaram na proporção de 3 plantas com raízes fissuradas: 1 planta com raiz normal. A análise do qui-quadrado da população  $F_2$  total (206 plantas) forneceu um valor significativo ( $\chi^2 = 12.64$ ;  $P = 0.05$ ). O  $\chi^2$  combinado também foi significativo ( $\chi^2 = 10.88$ ;  $P = 0.01$ ), o que permitiu rejeitar a hipótese de que as progênies constituem uma amostra de uma população segregando na proporção 3:1.

Das 4 famílias  $F_3$  (Tabela 13), apenas uma segregou na proporção de 3 plantas com raízes fissuradas: 1 planta com raiz normal. Estes dados, testados pelo qui-quadrado, com base na relação de 13 plantas com raízes fissuradas: 3 plantas com raízes normais forneceram um  $\chi^2$  total altamente significativo

Tabela 12 - Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Raízes Fissuradas e Normais Observadas em Populações  $RC_1F_2$  (autofecundação de retrocruzamento) entre a Linha Macho-Estéril Yugo-A x  $F_1$  (Yugo-A x DPL-16R). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Família nº	Total	Raiz Fis.	Raiz Normal	Proporções Testadas pelo $\chi^2$		
				3:1	13:3	54:10
1	122	85	37	1.85	10.74**	20.01**
2	224	166	58	0.09	7.50**	17.91**
3	138	108	30	0.78	0.81	3.91*
4	188	167	21	19.18**	7.09**	2.83
5	73	<u>61</u>	<u>12</u>	<u>2.85</u>	<u>0.26</u>	<u>0.04</u>
Totais				24.75**	26.40**	44.70**
$\chi^2$ Combinado		587	158	<u>5.71*</u>	<u>2.95</u>	<u>17.61**</u>
Heterogeneidade				19.04**	23.45**	27.09**

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 13 - Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Raízes Fissuradas e Normais Observadas nas Gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> do Cruzamento entre a Linha Macho-Estéril DPL-16A x Linha Restauradora de Fertilidade DPL-16R, Fortaleza, Ceará, Brasil, 1979.

Família nº	Total	Raiz Fis.	Raiz Normal	Proporções Testadas pelo $\chi^2$		
				3:1	13:3	54:10
F <sub>2</sub> :						
1	45	39	6	3.27	0.87	0.18
2	29	23	6	0.29	0.07	0.57
3	24	19	5	0.22	0.07	0.49
4	25	21	4	1.08	0.12	0.00
5	32	27	5	1.50	0.21	0.00
6	51	<u>46</u>	<u>5</u>	<u>6.28*</u>	<u>2.68</u>	<u>1.31</u>
Totais				12.64*	4.02	2.55
$\chi^2$ Combinado		175	31	<u>10.88**</u>	<u>1.85</u>	<u>0.05</u>
Heterogeneidade				1.76	2.17	2.50
F <sub>3</sub> :						
1	101	89	12	9.27**	3.13	1.07
2	72	65	7	8.96**	3.85*	1.90
3	46	40	6	3.51	0.98	0.23
4	51	48	3	<u>9.94**</u>	<u>5.54*</u>	<u>3.67</u>
Totais				31.68**	13.50**	6.87
$\chi^2$ Combinado		242	28	<u>30.82**</u>	<u>12.44**</u>	<u>5.65*</u>
Heterogeneidade				0.86	1.06	1.22

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

( $\chi^2 = 13.50$ ;  $P = 0.01$ ). Duas das 4 famílias  $F_3$  ajustaram-se à proporção 13:3. Em razão das discrepâncias entre as hipóteses de um e dois pares de genes, para explicar o mecanismo da herança da raiz fissurada, foi decidido testar a hipótese da existência de três pares de genes para restauração de fertilidade em algodão "Upland", proposta por SILVA (1977). Esta hipótese admite que a restauração de fertilidade ocorre quando pelo menos um simples gene dominante, restaurador de fertilidade, está presente em dois dos três loci. A Tabela 6 mostra os 20 possíveis genótipos restauradores e os 7 possíveis genótipos macho-estéreis, de acordo com a hipótese dos três pares de genes. A Tabela 6 mostra também, as possíveis relações de segregação resultantes da autofecundação de genótipos restauradores ou do cruzamento destes com genótipos macho-estéreis. De acordo com esta hipótese, podem ocorrer na  $F_2$  proporções de segregação, como por exemplo: 1:0, 15:1, 3:1, 54:10 e 9:7. Por esta razão, as famílias  $F_2$  e  $F_3$  (Tabela 13) foram testadas para a proporção de 54 plantas com raízes fissuradas: 10 plantas com raízes normais. A aplicação do teste de qui-quadrado à proporção de 54:10, para a população  $F_2$  total (206 plantas) e às 4 famílias  $F_3$  (totalizando 270 plantas) não revelou valores de qui-quadrado significativos. Do mesmo modo, o estudo individual das 6 famílias  $F_2$  e das 4 famílias  $F_3$  pelo qui-quadrado, também apresentou valores não significativos. Assim sendo, parece que o caráter raiz fissurada apresenta um mecanismo de herança semelhante ao proposto por SILVA

(1977) para a restauração de fertilidade. Esta suposição é reforçada pelos dados apresentados na Tabela 14, uma vez que a maioria das famílias ajustam-se à proporção 3:1 e não à proporção 1:1, como seria esperado com base na hipótese de um par de genes. Assim, das 14 famílias estudadas, 6 segregaram na proporção de 1 planta com raiz fissurada: 1 planta com raiz normal. A família de nº 2 não se ajustou à proporção de 1 fissurada: 1 normal, mas se ajustou às proporções de 5:3 ou de 3:1. As famílias de números 4, 9, 10, 11, 12, 13 e 14 não se ajustaram às proporções de 1:1 ou 5:3, mas se ajustaram à proporção de 3:1. Como mostra a Tabela 6, proporções mendelianas tais como: 1:1, 5:3 ou 3:1 são esperadas do cruzamento entre uma linhagem restauradora com uma linhagem macho-estéril. Portanto, se admitirmos que o mecanismo de herança da raiz fissurada é semelhante ao proposto por SILVA (1977), para a restauração de fertilidade, os dados da Tabela 14 estão muito mais próximos da hipótese dos três pares de genes de SILVA (1977) do que das outras duas referidas anteriormente.

WEAVER & WEAVER (1979) propuseram o símbolo  $R_c$  para o gene condicionador da raiz fissurada e admitiram que apenas um par de genes está envolvido neste tipo de herança. No presente estudo são propostos os símbolos  $R_{c_1}$ ,  $R_{c_2}$  e  $R_{c_3}$  para os genes condicionadores da raiz fissurada e admitir-se-á que este fenótipo ocorrerá quando pelo menos um simples gene dominante ( $R_{c_1}$ ,  $R_{c_2}$  ou  $R_{c_3}$ ) estiver presente em dois dos três loci, como é demonstrado na Tabela 6, para os genes restaurado

Tabela 14 - Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Raízes Fissuradas e Normais, Observadas em Progenies Resultantes do Retrocruzamento entre a Linha Macho-Estéril DPL-16A x F<sub>1</sub> (DPL-16A x DPL-16R). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Família de Retrocruzamento	Total	Raiz		Proporções Testadas pelo $\chi^2$		
		Fis.	Normal	1:1	5:3	3:1
1	26	17	9	2.46	0.09	1.28
2	30	23	7	8.53**	2.57	0.04
3	23	16	7	3.52	0.49	0.36
4	28	25	3	17.29**	8.57**	3.05
5	13	5	8	0.69	3.22	9.26**
6	21	14	7	2.33	0.15	0.78
7	13	6	7	0.08	1.49	5.77*
8	22	11	11	0.00	1.47	7.33**
9	26	22	4	12.46**	5.43*	1.28
10	46	37	9	17.04**	6.31*	0.72
11	28	24	4	14.29**	6.44*	1.71
12	24	20	4	10.67**	4.44*	0.89
13	50	42	8	23.12**	9.86**	2.16
14	23	<u>20</u>	<u>3</u>	<u>12.57**</u>	<u>5.86*</u>	<u>1.75</u>
Totais				125.05**	56.39**	36.38**
$\chi^2$ Combinado		282	91	<u>97.80**</u>	<u>27.32**</u>	<u>0.07</u>
Heterogeneidade				27.25*	29.07**	36.31**

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

res de fertilidade. Neste caso, adotaremos os seguintes símbolos:  $\underline{A} = \underline{Rc}_1$ ,  $\underline{B} = \underline{Rc}_2$ ,  $\underline{D} = \underline{Rc}_3$ ,  $\underline{F}$  = planta com raiz fissurada e  $\underline{S}$  = planta com raiz normal.

Como todas as progênies  $F_2$  e  $F_3$ , provenientes do cruzamento DPL-16A x DPL-16R (Tabela 13), ajustaram-se à proporção 54:10, propõe-se para as plantas que originaram as 6 famílias  $F_2$  e as 4 famílias  $F_3$  o seguinte genótipo:  $\underline{Rc}_1 \underline{rc}_1 \underline{Rc}_2 \underline{rc}_2 \underline{Rc}_3 \underline{rc}_3$ .

O número de plantas observado com raízes fissuradas e normais das 3 famílias  $RC_1 F_2$  é dado na Tabela 15. Aplicando o teste do qui-quadrado apropriado, com base na proporção de 54 plantas com raízes fissuradas: 10 plantas com raízes normais, foram obtidos valores não significativos para as famílias de números 1 e 2. Em razão disso, propõe-se o genótipo  $\underline{Rc}_1 \underline{rc}_1 \underline{Rc}_2 \underline{rc}_2 \underline{Rc}_3 \underline{rc}_3$  para as plantas que originaram estas duas famílias, enquanto que para a família de nº 3, que segregou aproximadamente 15 plantas com raízes fissuradas: 1 planta com raiz normal, sugere-se o genótipo  $\underline{Rc}_1 \underline{Rc}_1 \underline{Rc}_2 \underline{rc}_2 \underline{Rc}_3 \underline{rc}_3$ ,  $\underline{Rc}_1 \underline{rc}_1 \underline{Rc}_2 \underline{rc}_2 \underline{Rc}_3 \underline{Rc}_3$  ou  $\underline{Rc}_1 \underline{rc}_1 \underline{Rc}_2 \underline{Rc}_2 \underline{Rc}_3 \underline{rc}_3$ .

Após a constatação de que a condição raiz fissurada, em progênies resultantes do cruzamento DPL-16A x DPL-16R, pode apresentar um mecanismo de herança semelhante ao proposto por SILVA (1977), para os gens restauradores de fertilidade, o reexame dos dados apresentados nas Tabelas 9, 10, 11 e 12 permite comprovar que: (1) as progênies  $F_2$  provenientes do cruzamento Yugo-A x DPL-16R (Tabela 9) segregaram aproximadamente 3

Tabela 15 - Resultados da Aplicação do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao Número de Plantas com Raízes Fissuradas e Normais, Observadas em Progenies  $RC_1F_2$  (autofecundação de retrocruzamento) Resultantes do Cruzamento entre a Linha Macho-Estéril DPL-16A x  $F_1$  (DPL-16A x DPL-16R). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Família nº	Total	Raíz		Proporções Testadas pelo $\chi^2$			
		Fis.	Normal	3:1	13:3	54:10	15:1
1	68	62	6	9.49**	4.40*	2.38	
2	48	42	6	4.00*	1.23	0.36	
3	133	<u>122</u>	<u>11</u>	<u>19.85**</u>	<u>9.59**</u>	<u>5.46*</u>	0.92
Totais				33.34**	15.22**	8.20*	
$\chi^2$ Combinado		226	23	<u>32.99**</u>	<u>14.79**</u>	<u>7.71**</u>	
Heterogeneidade				0.35	0.43	0.49	

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

plantas com raízes fissuradas: 1 planta com raiz normal; (2) para as plantas  $F_1$  que originaram estas famílias (Tabela 10) são propostos os seguintes genótipos:  $Rc_1Rc_1rc_2rc_2Rc_3rc_3$ ,  $Rc_1Rc_1Rc_2rc_2rc_3rc_3$ ,  $Rc_1rc_1rc_2rc_2Rc_3Rc_3$ ,  $Rc_1rc_1Rc_2Rc_2rc_3rc_3$ ,  $rc_1rc_1Rc_2rc_2Rc_3Rc_3$  ou  $rc_1rc_1Rc_2Rc_2Rc_3rc_3$ . Porém, as famílias de números 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 9 que também se ajustaram à proporção 54:10 seriam, portanto, provenientes de plantas com genótipos  $Rc_1rc_1Rc_2rc_2Rc_3rc_3$ ; (3) as progênes  $F_3$  (Tabela 11) e  $Rc_1F_2$  (Tabela 12) que também se ajustaram às proporções 3:1 ou 54:10, vêm reforçar a hipótese da existência dos três pares de genes responsáveis pela condição raiz fissurada.

A Tabela 16 contém o resumo dos resultados relativos ao estudo do caráter raiz fissurada vs raiz normal, envolvendo as gerações  $F_2$ ,  $F_3$  e  $Rc_1F_2$ , resultantes dos cruzamentos Yugo-A x DPL-16R e DPL-16A x DPL-16R. Os dados obtidos desses cruzamentos, durante o estudo do caráter, foram avaliados pelo teste de qui-quadrado, com base nas seguintes proporções: 3 plantas com raízes fissuradas: 1 planta com raiz normal; 13 plantas com raízes fissuradas: 3 plantas com raízes normais e 54 plantas com raízes fissuradas: 10 plantas com raízes normais. De acordo com a hipótese de um par de genes de WEAVER & WEAVER (1979) a relação esperada na  $F_2$  é sempre de 3 plantas com raízes fissuradas: 1 planta com raiz normal. Para a hipótese de dois pares de genes de MEYER (1975) a segregação esperada na  $F_2$  pode ser de 1 fissurada: 0 normal; 3 fissuradas: 1 normal ou de 13 fissuradas: 3 normais. Porém,

Tabela 16 - Resumo dos Resultados Decorrentes do Estudo do Caráter Raiz Fissurada vs Raiz Normal Envolvendo as Gerações  $F_2$ ,  $F_3$  e  $RC_1F_2$  Provenientes de Dois Cruzamentos Diferentes. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Cruzamento	Geração	Total de Plantas	Total de Famílias	Número de Famílias que mais se ajustam às relações de:		
				3:1	13:3	54:10
Yugo-A x DPL-16R	$F_2$	282	10	10	10	8
DPL-16A x DPL-16R	$F_2$	206	6	5	6	6
Yugo-A x DPL-16R	$F_3$	708	8	6	7	7
DPL-16A x DPL-16R	$F_3$	270	4	1	2	4
Yugo-A x $F_1$ (Yugo-A x DPL-16R)	$RC_1F_2$	745	5	4	2	2
DPL-16A x $F_1$ (DPL-16A x DPL-16R)	$RC_1F_2$	249	3	0	1	2
Total		2460	36	26	28	29

de acordo com a hipótese de 3 pares de genes, proposta por SILVA (1977), relativa a herança dos genes restauradores de fertilidade, esperam-se, na  $F_2$ , várias relações de segregação, inclusive: 3 fissuradas: 1 normal; 15 fissuradas: 1 normal ou 54 fissuradas: 10 normais. A Tabela 16 mostra que das 36 famílias estudadas (2460 plantas), 29 se ajustaram à proporção de 54:10, 28 ajustaram-se à proporção de 13:3 e 26 ajustaram-se a proporção de 3:1. Diante destes dados, embora observe-se uma maior tendência à proporção 54:10 (de acordo com a hipótese de 3 pares de genes), segundo SILVA (1977), não se pode, contudo, deixar de admitir a possibilidade de que a condição raiz fissurada possa ter um mecanismo de herança semelhante ao proposto por MEYER (1975), para a restauração de fertilidade ou, ainda, que seja semelhante ao que propuseram WEAVER & WEAVER (1979), para a condição de raiz fissurada em algodão "Upland".

A Tabela 17 mostra os dados referentes ao  $\chi^2$  total,  $\chi^2$  combinado, heterogeneidade e as famílias que mais se ajustam às relações de 1 planta com raiz fissurada: 1 planta com raiz normal; 5 plantas com raízes fissuradas: 3 plantas com raízes normais e 3 plantas com raízes fissuradas: 5 plantas com raízes normais, resultantes do estudo do caráter raiz fissurada x raiz normal, em progênies obtidas dos retrocruzamentos citados acima.

No retrocruzamento Yugo-A x  $F_1$  (Su-0450 x DPL-16R) foram analisadas 5 famílias com um total de 136 plantas. Deste total, 76 plantas apresentaram raízes fissuradas e 60 raízes

Tabela 17 - Dados Referentes ao  $\chi^2$  Total,  $\chi^2$  Combinado, Heterogeneidade e Número de Famílias que mais se Ajustam às Proporções de 1:1, 5:3 e 3:5, Decorrentes da Análise do Caráter Raiz Fissurada vs Raiz Normal em Progenies Resultantes de Retrocruzamentos (RC<sub>1</sub>). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Retrocruzamento	Total de Fam.	1 : 1				5 : 3				3 : 5			
		$\chi^2$ Tot.	$\chi^2$ Comb.	Heter.	Nº Fam. Ajust.	$\chi^2$ Total	$\chi^2$ Comb.	Heter.	Nº Fam. Ajust.	$\chi^2$ Total	$\chi^2$ Comb.	Heter.	Nº Fam. Ajust.
Yugo-A x F <sub>1</sub> (Su-0450 x DPL-16R)	5	6.53	1.88	4.65	4	7.51	2.54	4.97	5	24.53**	19.61**	4.92	2
Yugo-A x F <sub>1</sub> (Allen 333/57 x DPL-16R)	6	1.85	0.01	1.84	6	12.21	10.21**	2.00	6	13.21*	11.27**	1.94	5
DPL-16A x F <sub>1</sub> (Reba B-50 x DPL-16R)	2	1.25	0.24	1.01	2	7.86*	6.79**	1.07	1	3.59	2.53	1.06	2
DPL-16A x F <sub>1</sub> (Allen 333/57 x DPL-16R)	3	0.92	0.12	0.80	3	4.25	3.40	0.85	3	7.44	6.59*	0.85	2

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

normais. Os dados provenientes deste cruzamento foram submetidos ao teste de qui-quadrado, onde foram analisadas proporções de segregação com 1 planta com raiz fissurada: 1 planta com raiz normal; 5 plantas com raízes fissuradas: 3 plantas com raízes normais e 3 plantas com raízes fissuradas: 5 plantas com raízes normais. Das 5 famílias estudadas, 4 se ajustaram à relação de 1 fissurada: 1 normal, porém os dados das 5 famílias concordaram com a proporção de 5 fissuradas: 3 normais. Apesar dos resultados encontrados não é possível definir o número de genes da característica.

As 6 famílias provenientes do retrocruzamento Yugo-A x  $F_1$  (Allen 333/57 x DPL-16R) ajustaram-se a relação de 1 planta com raiz fissurada: 1 planta com raiz normal e à relação de 5 plantas com raízes fissuradas: 3 plantas com raízes normais. A análise da população total (161 plantas das quais 81 com raízes fissuradas e 80 com raízes normais) também forneceu valores de qui-quadrado não significativos.

Os dados resultantes do retrocruzamento DPL-16A x  $F_1$  (Reba-B-50 x DPL-16R), também foram submetidos à análise do qui-quadrado. As 2 famílias com um total de 66 plantas (das quais 31 tinham raízes fissuradas e 35 tinham raízes normais) ajustaram-se melhor às proporções de 1:1 e 3:5.

As 3 famílias originadas do retrocruzamento DPL-16A x  $F_1$  (Allen 333/57 x DPL-16R) são constituídas de 73 plantas, sendo 38 com raízes fissuradas e 35 com raízes normais. A análise das famílias pelo qui-quadrado, de acordo com as rela

ções de segregação de 1 planta com raiz fissurada: 1 planta com raiz normal, 5 plantas com raízes fissuradas: 3 plantas com raízes normais ou de 3 plantas com raízes fissuradas: 5 plantas com raízes normais, forneceu valores não significativos. Diante destes resultados é possível que a hipótese de SILVA (1977) de três pares de genes seja correta. Admitindo-se que o mecanismo da herança da raiz fissurada é semelhante ao proposto por SILVA (1977) para explicar o mecanismo da restauração de fertilidade em algodão "Upland", pode-se estabelecer para as progênes resultantes de retrocruzamentos, as proporções de segregação de 1 fissurada: 1 normal; 5 fissurada: 3 normais, ou ainda, 3 fissuradas: 5 normais. Os dados obtidos dos cruzamentos citados na Tabela 17 estão de acordo com a hipótese de três pares de genes discutida no presente estudo.

A análise do número total das famílias  $F_2$ ,  $F_3$  e  $RC_1F_2$  que mais se ajustam às proporções de 3 plantas com raízes fissuradas: 1 plantas com raiz normal; 13 plantas com raízes fissuradas: 3 plantas com raízes normais e 54 plantas com raízes fissuradas: 10 plantas com raízes normais (Tabela 16) e das famílias resultantes de retrocruzamentos (Tabela 17) não permite rejeitar nenhuma das hipóteses comentadas anteriormente, porém, os dados apresentados nas Tabelas 13 (para a família  $F_3$ ), 14 e 15 estão mais de acordo com a hipótese de três pares de genes proposta por SILVA (1977).

### 3. Associação entre Restauração de Fertilidade e Presença de Fissuras nas Raízes

A associação entre restauração de fertilidade e presença de fissuras nas raízes sugere duas possíveis explicações: ligamento genético ou pleiotropia. Se o(s) gene(s) da restauração de fertilidade estiver(em) ligado(s) àquele(s) da raiz fissurada será possível recuperar tipos recombinantes, isto é, plantas macho-férteis com raízes normais e plantas macho-estéreis com raízes fissuradas. Se estes tipos recombinantes não forem recuperados é provável que a característica raiz fissurada seja o resultado de um efeito pleiotrópico do(s) gene(s) restaurador(es) de fertilidade. Resultados semelhantes também poderiam ser explicados por uma ligação muito próxima entre os genes condicionadores dos dois citados caracteres.

Para o estudo daquela associação utilizaram-se plantas das gerações  $F_2$  e  $RC_1$  (retrocruzamento). As 282 plantas  $F_2$  resultantes do cruzamento entre Yugo-A (linha macho-estéril com raiz normal) x DPL-16R (linha restauradora de fertilidade com raiz fissurada) apresentaram as seguintes segregações: 214 plantas macho-férteis com raízes fissuradas; 4 plantas macho-férteis com raízes normais; 2 plantas macho-estéreis com raízes fissuradas; 62 plantas macho-estéreis com raízes normais (Tabela 18). A frequências das 4 classes fenotípicas observadas desviou da proporção esperada 9:3:3:1, isto é, 9 plantas macho-férteis com raízes fissuradas; 3 plan

Tabela 18 - Número de Plantas Segregando para Genes Restauradores de Fertilidade e Raiz Fissurada na  $F_2$  do Cruzamento entre a Linha Macho-Estéril com Raiz Normal Yugo-A x Linha Restauradora de Fertilidade com Raiz Fissurada DPL-16R. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Família nº	Total de Pl.	Fértil R.Fis.	Fértil R.Normal	Estéril R.Fis.	Estéril R.Normal	Prob. para Qui-Quadrado (esp.9:3:3:1)
1	12	10	0	0	2	(0.02-0.05)
2	16	12	0	0	4	(< 0.001)
3	11	8	0	0	3	(< 0.001)
4	18	13	0	0	5	(< 0.001)
5	38	30	0	1	7	(< 0.001)
6	28	21	0	0	7	(< 0.001)
7	33	24	0	0	9	(< 0.001)
8	33	23	0	0	10	(< 0.001)
9	57	47	1	1	8	(< 0.001)
10	36	26	3	0	7	(< 0.001)
Total	282	214	4	2	62	(< 0.001)

tas macho-férteis com raízes normais: 3 plantas macho-estéreis com raízes fissuradas: 1 planta macho-estéril com raiz normal, numa  $F_2$  segregando independentemente para dois pares de genes. Os dois tipos parentais ocorreram em frequências muito altas e os dois tipos recombinantes em frequências muito mais baixas do que seria esperado com base na segregação mendeliana. A partir dos dados da  $F_2$ , o cálculo da recombinação pelo Método dos Produtos (FISHER & BALMUKAND, 1928) forneceu um valor de 2.08% (Tabela 19).

A Tabela 20 apresenta o número de plantas segregantes para os genes restauradores de fertilidade e raiz fissurada, em progênies originadas do retrocruzamento Yugo-A x  $F_1$  (Yugo-A x DPL-16R). Das 472 plantas, 466 foram iguais aos tipos parentais (271 macho-férteis com raízes fissuradas e 195 macho-estéreis com raízes normais) e 6 foram dos tipos recombinantes (sendo 5 macho-férteis com raízes normais e 1 macho-estéril com raízes fissuradas). A frequência das 4 classes fenotípicas observadas desviou da proporção esperada de 1:1:1:1 (isto é: 1 planta macho-fértil com raiz fissurada: 1 planta macho-fértil com raiz normal: 1 planta macho-estéril com raiz fissurada: 1 planta macho-estéril com raiz normal) no retrocruzamento. Os resultados do qui-quadrado sugerem que os genes da restauração de fertilidade e raiz fissurada não segregaram independentemente. Os dados provenientes do retrocruzamento forneceram um valor de recombinação de 1.27% (Tabela 19). Esta Tabela mos-

Tabela 19 - Análise de Qui-Quadrado para Independência e Estimativa da Percentagem de Recombinação entre os Genes para Raiz Fissurada vs Raiz Normal e os Genes para Macho-Esterilidade vs Fertilidade em Populações RC<sub>1</sub> (retrocruzamento) e F<sub>2</sub> de algodão. Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

População	Nº de Fam.	Total de Pl.	Fértil R.Fis.	Fértil R.Normal	Estéril R. Fis.	Estéril R.Normal	Prob. para Qui-Quadrados	% de Recomb.
(esp.1:1:1:1)								
RC <sub>1</sub> :								
Yugo-A x F <sub>1</sub> (Yugo-A x DPL-16R)	17	472	271	5	1	195	(< 0.001)	1.27
Yugo-A x F <sub>1</sub> (Allen 333/57 x DPL-16R)	6	161	81	3	0	77	(< 0.001)	1.86
Yugo-A x F <sub>1</sub> (Su-0450 x DPL-16R)	5	136	76	2	0	58	(< 0.001)	1.47
DPL-16A x F <sub>1</sub> (DPL-16A x DPL-16R)	14	373	277	3	5	88	(< 0.001)	2.14
DPL-16A x F <sub>1</sub> (Reba B-50 x DPL-16R)	2	66	30	1	1	34	(< 0.001)	3.03
DPL-16A x F <sub>1</sub> (Allen 333/57 x DPL-16R)	3	73	37	1	1	34	(< 0.001)	2.73
(esp.9:3:3:1)								
F <sub>2</sub> :								
Yugo-A x DPL-16R	10	282	214	4	2	62	( 0.001)	2.08
DPL-16A x DPL-16R	6	206	173	0	2	31	( 0.001)	-

Tabela 20 - Número de Plantas Segregantes para Genes Restauradores de Fertilidade e Raiz Fissurada no Retrocruzamento entre a Linha Macho-Estéril Yugo-A x F<sub>1</sub> (Yugo-A x DPL-16R). Fortaleza, Ceará, Brasil. 1979.

Família nº	Total de Plantas	Fértil R.Fis.	Fértil R.Normal	Estéril R.Fis.	Estéril R.Normal	Prob. para Qui-Quadrado (esp.1:1:1:1)
1	45	18	2	0	25	(< 0.001)
2	21	15	0	0	6	(< 0.001)
3	22	11	0	0	11	(< 0.001)
4	39	21	2	0	16	(< 0.001)
5	38	25	0	0	13	(< 0.001)
6	21	13	0	0	8	(< 0.001)
7	24	11	0	0	13	(< 0.001)
8	46	24	0	0	22	(< 0.001)
9	21	12	1	1	7	(< 0.001)
10	24	13	0	0	11	(< 0.001)
11	36	30	0	0	6	(< 0.001)
12	21	13	0	0	8	(< 0.001)
13	21	8	0	0	13	(< 0.001)
14	34	23	0	0	11	(< 0.001)
15	20	13	0	0	7	(< 0.001)
16	18	8	0	0	10	(< 0.001)
17	21	13	0	0	8	(< 0.001)
Total	472	271	5	1	195	(< 0.001)

tra os dados provenientes da análise do qui-quadrado para independência e a estimativa da percentagem de recombinação entre os genes para raiz fissurada e os genes restauradores de fertilidade, em populações  $RC_1$  e  $F_2$ . As populações  $RC_1$  resultantes de 6 tipos de cruzamentos totalizaram 1281 plantas. Em todas estas populações, as relações de segregação observadas desviaram da proporção esperada 1:1:1:1 de um retrocruzamento, sugerindo, portanto, que os genes da restauração da fertilidade estão provavelmente ligados aos genes da raiz fissurada. Os cálculos da recombinação para cada população  $RC_1$  forneceram valores de recombinação variando de 1.27 a 3.03%. Estes valores indicam que os citados genes estão provavelmente situados muito próximos, num mesmo cromossomo. O valor de recombinação para a população  $F_2$  resultante do cruzamento Yugo-A x DPL-16R foi de 2.08%. O cálculo da recombinação pelo Método dos Produtos não pôde ser efetuado para a população  $F_2$ , resultante do cruzamento DPL-16A x DPL-16R, uma vez que sô foi recuperado um tipo recombinante (macho-estéril com raiz fissurada).

Os dados de WEAVER & WEAVER (1979) indicam uma ligação próxima entre o(s) gene(s) restaurador(es) de fertilidade e o(s) gene(s) da raiz fissurada, com valores observados de recombinação variando de 6.7 a 14.5% (para populações  $RC_1$  e  $F_2$ ). Os dados do presente estudo indicam uma ligação muito estreita entre os citados genes, com valores de recombinação entre 1.27 a 3.03% (para populações  $RC_1$  e  $F_2$ ).

#### 4- Associação da Murcha Fusariana com a Presença de Fissuras nas Raízes

Uma amostra das plantas doentes foi coletada e analisada pelo Laboratório de Fitopatologia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. Após o exame histológico de tecidos das raízes, o mal foi diagnosticado como "Murcha Fusariana".

Algumas das plantas cultivadas no campo foram atacadas pela Murcha Fusariana. Esta doença é caracterizada pela redução do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, murcha das folhas e cápsulas, amarelecimento das folhas e morte das plantas. Ela é provocada por um fungo que, penetrando por um ferimento qualquer da raiz, se aloja nos vasos provocando a sua obstrução e conseqüente morte da planta.

Durante a retirada das plantas  $F_2$  e  $RC_1$  (retrocruzamento) do solo, notou-se uma estreita relação entre a ocorrência da citada doença com a presença de fissuras nas raízes. Como esta observação só foi feita após a retirada de centenas de plantas, não foi possível coletar dados suficientes com referência a estas duas gerações. Os dados apresentados na Tabela 21 são referentes às gerações  $F_3$  e  $RC_1F_2$ . Esta Tabela mostra a associação da Murcha Fusariana com a presença de fissuras nas raízes. Os dados foram provenientes de duas progênies  $F_3$  e 3 progênies  $RC_1F_2$ , totalizando 2517 plantas. Nas 5 progênies, o número de plantas com raízes fissuradas atacadas pela citada doença é sempre superior ao número de plantas atacadas que possuem raízes normais. Num total de

1775 plantas com raízes fissuradas, 21,6% foram atacadas pela Murcha Fusariana, enquanto que das 742 plantas com raízes normais, apenas 2,3% apresentaram a citada moléstia.

A partir dos dados apresentados acima é possível concluir o seguinte:

- A susceptibilidade à Murcha Fusariana deve ser geneticamente determinada, ocorrendo tanto nas plantas com raízes fissuradas, como naquelas que possuem raízes normais.

- O(s) gene(s) da susceptibilidade à Murcha Fusariana e aquele(s) que condiciona(m) a presença de fissuras devem estar provavelmente ligados, uma vez que as plantas atacadas quase sempre tem raízes fissuradas, enquanto que as plantas com raízes normais raramente apresentam a doença. Isto poderia ser explicado, ainda, pelo fato de as plantas sendo susceptíveis e portadora de raízes normais, a penetração do vírus seria dificultada, enquanto que as fissuras nas raízes facilitariam a penetração do agente causador da Murcha Fusariana.

- O melhoramento visando a obtenção de sementes híbridas  $F_1$  utilizando a macho esterilidade citoplasmática, envolve o uso de três linhas: A, B e R. A obtenção das linhas R por retrocruzamentos sucessivos a partir do material original, deveria, portanto, recair naqueles tipos segregantes que apresentassem o(s) gene(s) restaurador(es) de fertilidade e raízes normais, uma vez que os restauradores com raízes fissuradas poderiam induzir um nível de susceptibilidade à Murcha Fusariana, a ponto de torná-las impraticáveis do ponto de vista econômico.

Tabela 21. Associação da Murcha Fusariana (M. F.) com a Característica da Raiz Fissurada em Plantas de Al -  
godão de Progenies  $F_3$  e  $RC_1F_2$  (autofecundação de retrocruzamento). Fortaleza. Ceará. Brasil.1979

Progenies	Cruzamento	Total de pl.	Nº pl. com R. Fis.	Nº pl. com R. Norm.	Nº pl. com M. F.	Nº plantas com:		% plantas com:	
						M. F. + R.Fis.	M. F. + R.Norm.	M. F. + R.Fis.	M. F. + R.Norm.
$F_3$	Yugo-A x DPL-16R	708	578	130	151	145	6	25.1	4.6
$F_3$	DPL-16A x DPL-16R	742	328	414	35	35	0	10.7	0.0
$RC_1F_2$	Yugo-A x $F_1$ (Yugo-A x DPL-16R)	745	587	158	181	170	11	29.0	7.0
$RC_1F_2$	Yugo-A $F_1$ (Allen 333/57 x DPL-16R)	73	56	17	6	6	0	10.7	0.0
$RC_1F_2$	DPL-16A x $F_1$ (DPL-16A x DPL-16R)	249	226	23	27	27	0	11.9	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>2517</b>	<b>1775</b>	<b>742</b>	<b>400</b>	<b>383</b>	<b>17</b>	<b>21.6</b>	<b>2.3</b>

## RESUMO E CONCLUSÕES

A herança da restauração de fertilidade em algodão (Gossypium spp.) ainda não está totalmente definida. Informações sobre ela poderão ser úteis na transferência desta característica para linha melhoradas de algodão, com a finalidade de desenvolver pais machos restauradores utilizados na produção de algodão híbrido. A ocorrência de um caráter estreitamente ligado aos genes restauradores de fertilidade poderá ser proveitoso ao melhorista, pois serviria como marcador genético, facilitando o trabalho de formação das linhas restauradoras de fertilidade.

Os estudos da herança da restauração de fertilidade, herança da raiz fissurada e ocorrência de ligamento genético entre os citados caracteres foram investigados a partir das gerações  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $RC_1$  (retrocruzamento) e  $RC_1F_2$  (autofecundação de retrocruzamento). Foram utilizadas as linhas-A macho-estéreis Yugo-A e DPL-16A e a linha restauradora de fertilidade de DPL-16R, todas liberadas por MEYER (1973b), além de 3 variedades cultivadas no Nordeste brasileiro, denominadas Allen 333/57, Su-0450 e Reba B-50. Vários cruzamentos foram analisados e as proporções de segregação foram testadas pelo qui-quadrado.

Embora relações de segregação como 3:1 e 13:3 também tenham ocorrido na  $F_2$ ,  $F_3$  e  $RC_1F_2$ , a de 54:10 foi, no entanto, a mais frequentemente observada nas referidas populações, tanto para o caráter restauração de fertilidade, como para o

caráter raiz fissurada. Baseadas na segregação de plantas macho-férteis para macho-estéreis e de plantas com raízes fissuradas para raízes normais, nestas gerações, a restauração da fertilidade e a condição da raiz fissurada em algodão macho-estéril citoplasmático parecem ser controladas por um mínimo de 3 genes dominantes, sendo que haverá no mínimo, um gene dominante em cada dois dos três loci. Esta hipótese é baseada naquela proposta por SILVA(1977), para explicar o mecanismo da restauração da fertilidade em algodão "Upland".

A análise da ligação entre os genes restauradores de fertilidade e os genes condicionadores de raiz fissurada foi realizada em plantas das gerações  $F_2$  e  $RC_1$ . Os dados indicam uma ligação muito estreita entre os citados genes, com valores de recombinação variando de 1.27 a 3.03%.

No decorrer do estudo observou-se uma associação da murcha fusariana com a presença de fissuras nas raízes. A maior incidência da murcha fusariana ocorreu em plantas com raízes fissuradas.

## LITERATURA CITADA

- EDWARDS, G. A., ENDRIZZI, J. E. & STEIN, R. Genoma DNA content and chromosome organization in Gossypium. Chromosoma. 17: 309 - 326, 1974.
- ENDRIZZI, J. E. & STEIN, R. Association of two marker loci with chromosome 1 in cotton. J. Hered. 66: 75 - 78, 1975.
- FEASTER, C. U. & TURCOTTE, E. L. Association of color, yield, and quality of lint in Pima cotton. Crop. Sci. 8: 197-199, 1968.
- FISHER, R. A. & BALMUKAND, B. The estimation of linkage from the offspring of selfed heterozygotes. J. Genet. 20: 79 - 92, 1928.
- HUTCHINSON, J. B. The genetics of cotton. Part X. The inheritance of leaf shape in Asiatic Gossypium. J. Genet. 26-317, 1934.
- LEWIS, C. F. Interaction of genes for round leaf and frego bract in cotton. J. Hered. 48: 169-172, 1957.
- MEYER, V. G. & MEYER, J. R. Cytoplasmically controlled male sterility in cotton. Crop. Sci. 5: 444-448, 1965.
- . Environmental effects on the differentiation of abnormal cotton flowers. Amer. J. Bot. 10: 976-980, 1966.
- . An association between male sterility and fiber strength in hybrids of Upland cotton. Gossypium hirsutum L. Crop Sci. 8: 117-118, 1968.
- . Some effects of genes cytoplasm, and environment

on male sterility of cotton (Gossypium). Crop. Sci. 9: 237-242, 1969.

\_\_\_\_\_.Development of B-lines for two cytoplasmically controlled male sterilities of cotton. Crop Sci. 10: 720 - 721, 1970.

\_\_\_\_\_.Cytoplasmic effects on anther numbers in interspecific hybrids of cotton. II. Gossypium herbaceum and G. harknessii. J. Hered. 62: 77-78, 1971.

\_\_\_\_\_.Cytoplasmic effects on anther numbers in interspecific hybrids of cotton. III. Gossypium longicalyx. J. Hered. 63: 33-34, 1972.

\_\_\_\_\_.Fertility-restorer genes for cytoplasmic male-sterility from Gossypium harknessii. Beltwide Cotton Prod. Res. Conf. Proc. 65, 1973a.

\_\_\_\_\_.Registration of sixteen germoplasm lines of Upland cotton. (Reg. No. GP<sub>3</sub> to GP<sub>18</sub>). Crop. Sci. 13: 778, 1973b.

\_\_\_\_\_.Male sterility from Gossypium harknessii. J. Hered. 66: 23-27, 1975.

QUISENBERRY, J. E. & KOHEL, R. J. A leaf abnormality for the identification of a genetic male sterile in Gossypium hirsutum L. Crop. Sci. 8: 369-370, 1968.

RHYNE, C. L. Duplicated linkage groups in cotton. J. Hered. 48: 59-62, 1957.

\_\_\_\_\_.Linkage studies in Gossypium. I. Altered recombination in allotetraploid G. hirsutum L. following linkage group

- transference from related diploid species. *Genetics*. 43: 822-834, 1958.
- \_\_\_\_\_. Linkage studies in *Gossypium*. II. Altered recombination values in a linkage groups of allotetraploid *G. hirsutum* L. as a result of tranferred diploid species genes. *Genetics*. 45: 673-681, 1960.
- \_\_\_\_\_. Indehiscent anther in cotton. *Cott. Gr. Rev.* 48: 194-199, 1971.
- \_\_\_\_\_. & RHYNE, P. Linkage of indehiscent anthers and lack of leaf nectaries in *Gossypium hirsutum* L. *Cott. Gr. Rev.* 49: 57-60, 1972.
- RICHMOND, T.R. & KOHEL, R. J. Analysis of completely male-sterile character in American Upland cotton. *Crop. Sci.* 1: 397-401, 1961.
- SARVELLA, P. Environmental influences on sterility in citoplasmic male-sterile cottons. *Crop. Sci.* 6:361-364, 1966.
- SAUNDERS, J. H. Changes in recombination and genetic disturbance on tranferring the  $H_2Lc_2$  linkage group from *Gossypium tomentosum* to *G. barbadense* and *G. hirsutum* *Genet. Res.* 13: 1 - 15, 1969.
- SILOW, R. A. Evidence on chromosome homology and gene homology in the amphidiploid New World cotton. *J. Genet.* 47:213-220 1946.
- SILVA, F. P. Genetic study of fertility restoration for citoplasmic male-sterile cotton originating from *Gossypium harknessii* Brandagee x *Gossypium hirsutum* L. Ph. D. Dissertation University of Arizona, Tucson, 1977.

- STEPHENS, S. G. The internal mechanism of speciation in Gossypium Botan. Rev. 16: 115-149, 1950.
- \_\_\_\_\_. Linkage in Upland cotton. Genetics. 40: 903 - 917, 1955.
- TAYEL, M. A. F., BIRD, L. S. & SMITH, J. D. Linkage between blight resistance and yellow pollen color genes in cotton. J. Hered. 64: 208-212, 1973.
- WEAVER, D. B. & WEAVER, J. B. Jr. Inheritance of pollen fertility restoration in cytoplasmic male-sterile Upland cotton. Crop. Sci. 17: 497-499, 1977.
- WEAVER, J. B. Jr. & WEAVER, D. B. Cracked root mutant in cotton: inheritance and linkage with fertility restoration. Crop. Sci. 19: 307-309, 1979.
- WILSON, J. T. An analysis of repetitive DNA sequences in five species of Gossypium. Unpub. Ph.D. Dissertation. Committee on Genetic the University of Arizona. Tucson. Arizona. 86 pages, 1974.
- YU. C. P. The inheritance and linkage relations of yellow seedling, a lethal gene in Asiatic cotton. J. Genet. 39: 61-68, 1939a.
- YU, C. P. The inheritance and linkage relations of curly leaf and virescent bud, two mutants in Asiatic cottons. J. Genet. 39: 69-77, 1939b.