

II. GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS

MELHORAMENTO DO ALGODOEIRO PARA RESISTÊNCIA MÚLTIPLA A DOENÇAS, NEMATÓIDES E BROCA-DA-RAIZ EM CONDIÇÕES DE CAMPO ⁽¹⁾

IMRE LAJOS GRIDI-PAPP ^(2,7), EDIVALDO CIA ^(2,7), MILTON GERALDO FUZATTO ⁽²⁾,
EDERALDO JOSÉ CHIAVEGATO ^(2,7), CHRISTINA DUDIENAS ⁽³⁾,
MARIA ANGELICA PIZZINATTO ^(3,7), JOSÉ CARLOS SABINO ⁽⁴⁾,
ANTONIO PEREIRA DE CAMARGO ^(5,7) e MÁRIO PÉRCIO CAMPANA ⁽⁶⁾

RESUMO

Um modelo de seleção e teste de linhagens de algodoeiro para resistência múltipla a doenças e pragas, adotado pelos melhoristas da Seção de Algodão do Instituto Agronômico, é descrito e discutido com base nos dados obtidos no período de 1981 a 1991. Consideraram-se as murchas de *Fusarium* e de *Verticillium*, a ramulose, a mancha angular, os nematóides e a broca-da-raiz como fatores adversos. Foram sugeridos índices relativos de resistência apropriados a cada fator e um índice de resistência múltipla para a avaliação global dos resultados. Discutem-se as evoluções desses índices durante o período, assim como as correlações observadas anualmente entre os índices. Houve, no período, tendência para nível crescente de resistência para todos os fatores, com exceção da ramulose, cujo índice médio de resistência oscilou ao redor de 70% da testemunha resistente, no conjunto das linhagens promissoras obtidas anualmente. As correlações entre os índices de resistência aos fatores variaram ao redor de zero, de maneira casual de ano para ano, atingindo raras vezes o nível de significância de 5%. Apareceram correlações negativas significativas, no final do período, entre ramulose, de um lado, e *Verticillium* e mancha angular do outro, cuja importância e consequência são discutidas. O índice médio de resistência múltipla cresceu de 56,7% no período, chegando a 0,776 no final, sendo que o valor 1,000 representaria a reunião de todos os genes disponíveis de resistência numa mesma linhagem.

Termos de indexação: algodoeiro, resistência a doenças e pragas, resistência múltipla, *Fusarium*, *Verticillium*, ramulose, mancha angular, nematóides, broca-da-raiz.

⁽¹⁾ Trabalho com suporte financeiro da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e do Contrato com a Agropecuária Maeda S.A. (AGROPEM) e com a Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa Agropecuária (FUNDEPAG). Recebido para publicação em 2 de agosto de 1993 e aceito em 14 de janeiro de 1994.

⁽²⁾ Seção de Algodão, Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas (SP).

⁽³⁾ Seção de Fitopatologia, IAC.

⁽⁴⁾ Estação Experimental de Tietê, IAC.

⁽⁵⁾ Estação Experimental de Piracicaba, IAC.

⁽⁶⁾ Estação Experimental de Jaú, IAC.

⁽⁷⁾ Com bolsa de pesquisa do CNPq.

ABSTRACT

COTTON IMPROVEMENT FOR MULTI-RESISTANCE TO DISEASES AND PESTS IN FIELD CONDITIONS

A model of selection and cotton line tests for multi-resistance to diseases and pests is described and discussed. It was adopted by breeders of the Cotton Section of Instituto Agronômico at Campinas, State of São Paulo, Brazil, *Fusarium* and *Verticillium* wilts, ramulosis (*Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides*) bacterium (*Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum*), nematodes and stem-borer (*Eutinobothrus brasiliensis*) were considered. Relative resistance indices, appropriate to each adversity factor, and a multi-resistance index are suggested to evaluate the material's performance. Data obtained from 1981 to 1991 are presented. All the resistance indices increased during the period, except for ramulosis, that oscilated around 70% of the corresponding control's resistance. Correlation between the indices of the adversity factors varied on a casual way, around zero, rarely reaching the 5% level of significance. However, in the last years, negative correlations rouse between ramulosis on one side and *Verticillium* and bacterium on the other. Its importance and consequences are discussed. The average multi-resistance index increased steadily during the period, by 56.7% reaching the final value of 0.776. The value of 1.000 would mean that all the available genes for resistance were added in a same line.

Index terms: cotton, disease resistance, multi-resistance, *Fusarium*, *Verticillium*, ramulosis, *Xanthomonas*, nematodes, stem-borer.

1. INTRODUÇÃO

Com a seleção de cultivares de alta produtividade, próprios para cultura em grandes áreas, os melhoristas depararam com uma frequência crescente de ocorrências epidêmicas de doenças e de perdas alarmantes de produção causadas por pragas. A seleção para resistência às doenças mais importantes das culturas tornou-se uma das principais atividades dos melhoristas. Os problemas eram abordados em geral à medida que apareciam. Essa abordagem resultou numa espécie de programação estratificada em que cada fator adverso era considerado objetivo específico de melhoramento, na seqüência da sua gravidade. Estudaram-se exaustivamente os agentes causais, os mecanismos de infecção e de parasitismo, as relações entre hospedeiro, patógeno e ambiente e os mecanismos de resistência do hospedeiro (McNew, 1960).

Correlações positivas encontradas entre os comportamentos da planta em face de várias doenças levaram cientistas como Nelson (1977), a admitir a possibilidade de selecionar genótipos

resistentes aos principais agentes patogênicos de determinada cultura, isto é, dotados de resistência múltipla. Especificamente no caso do algodoeiro, tais correlações foram estudadas para cinco doenças por Bird (1966), que verificou a ocorrência de valores positivos significativos conforme o material utilizado e as condições dos testes, concluindo que a resistência múltipla não deve ser difícil de obter.

No Instituto Agronômico, em Campinas, as primeiras preocupações com a resistência genética do algodoeiro à doença surgiram após o aparecimento da ramulose, por volta de 1938, com o programa de teste da coleção de germoplasma e seleção por inoculação artificial, no campo, formulado por Costa (1941). Em seguida veio o programa de hibridação descrito por Neves et al. (1969), que visava obter resistência à mancha-angular, entre outras características. Seleção em condições de campo, para resistência à ramulose, voltaram a ser realizadas por volta de 1960, quando essa doença afetou violentamente a produção dos campos do cultivar suscetível IAC-11.

Com a introdução da murcha de *Fusarium* no Estado de São Paulo, em 1957 (Silveira, 1965), os pesquisadores da Seção de Algodão do Instituto Agrônômico começaram intenso programa de seleção e hibridação, visando obter variedade paulista resistente à murcha (Gridi-Papp et al., 1984). Mais tarde, em 1965, programa semelhante foi iniciado naquela Seção, objetivando a resistência à bactéria causadora da mancha-angular. Em 1966 teve começo a seleção sistemática para resistência à broca-da-raiz e, também, a nematóides. Nesse último caso, visaram-se, principalmente, os nematóides *Meloidogyne incognita* Chitwood e *Rotylenchulus reniformis* Linf. & Oliv., assim como seus complexos bastante freqüentes com *Pratylenchus brachyurus* Goodey e *Helicotylenchus* sp. As espécies mais importantes para o algodoeiro, no Estado, são as duas primeiras, ambas causadoras de pequenas manchas cloróticas nos limbos foliares, denominadas "carijó". A resistência à murcha de *Verticillium* veio a constituir mais um objetivo para os melhoristas do Instituto Agrônômico a partir de 1968. Esses fatores adversos chegaram a constituir projetos específicos na seqüência do seu agravamento no Estado e começaram demandar muita mão-de-obra e recursos não disponíveis.

Diante da importância crescente e generalizada dessas doenças e pragas, no Estado, e da diminuição da mão-de-obra auxiliar disponível, os melhoristas da Seção de Algodão mudaram a estratégia de atuação a partir de 1975, reunindo todos os trabalhos de seleção para resistência genética num programa organizado e sistemático, de caráter contínuo. Organizou-se um modelo de seleção para resistência múltipla a doenças e pragas cuja descrição, avaliação e discussão constituem o assunto da presente publicação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

O material utilizado para avaliar, em cada ano, os resultados desse modelo, constituiu-se de linhagens de terceira geração, a partir das

respectivas plantas, selecionadas com base nas gerações anteriores. A base genética do material foi bastante ampla, pela origem das linhagens. Algumas vieram de resseleção de cultivares, como IAC 17, IAC 18, IAC 19, IAC 20 e Acala Del Cerro. Outras vieram de seleção em populações híbridas adiantadas, envolvendo variedades paulistas, norte-americanas, Mocó, *Gossypium hirsutum* v. *yucatanense* e *G. herbaceum* v. *africanum*. Foram considerados os anos de colheita de 1981 até 1991. Entraram no presente estudo, por ano, doze linhagens que se mostraram promissoras para resistência múltipla e demais caracteres econômicos no ano anterior. Note-se que, dessas doze linhagens, em geral, uma minoria descendeu de planta selecionada em teste de resistência, provindo, a maior parte, de outras áreas de seleção e de diversos projetos. Desse modo, os testes de linhagens de terceira geração, para os fatores adversos, representaram um ponto de convergência de material, de todo o programa de melhoramento da Seção de Algodão.

As testemunhas resistentes utilizadas foram as seguintes:

IAC RM3: para *Fusarium*, *Verticillium* e broca-da-raiz;

IAC 17: para ramulose;

IAC 18: para mancha angular;

IAC 74/518: para nematóides.

Houve mudanças de testemunhas no início e no final do período. Em tais casos, corrigiram-se os índices do respectivo fator e ano, pela proporção dos índices das testemunhas posterior e anterior obtidos no mesmo teste.

2.2 Métodos

2.2.1 Tipo de resistência

Dados apresentados por Van Der Plank (1968), na forma de curvas de evolução de doenças na presença de resistência vertical e horizontal, mostraram um atraso na evolução de cerca de 20 dias com a presença de resistência vertical, e de 40-50 dias, com resistência hori-

zontal. O autor salientou que esse último tipo de resistência se baseia em grande número de genes, resultando, geralmente, de pressão de seleção em condições de campo. Segundo Nelson (1977), devem estar envolvidos genes menores e modificadores que retardam e reduzem, respectivamente, a produção de inóculos e a esporulação, em se tratando de doenças. Esse autor, como Russell (1978), prognosticou que grande número de genes deve conduzir a uma estabilidade maior e durabilidade da resistência conferida do que um ou poucos genes. Russell (1978) observou ainda que, de maneira geral, a resistência a pragas apresenta mecanismos semelhantes aos verificados no caso de doenças.

Considerando essas observações e conclusões, optou-se, no presente trabalho, pela resistência horizontal, que foi admitida como objetivo das seleções, mais durável e vantajosa para os produtores de algodão. Conseqüentemente, os trabalhos se basearam na seleção em condições de campo e na avaliação quantitativa.

2.2.2 Fatores adversos considerados e métodos de avaliação

É importante, principalmente em testes de campo, que a avaliação da gravidade da infecção ou da infestação se baseie num índice (parâmetro) tal que reflita mais o comportamento diferencial das linhagens testadas do que o grau de virulência ou agressividade do agente causal ou grau de favorecimento das condições do ambiente. A porcentagem de plantas afetadas, por exemplo, constitui um parâmetro pouco conveniente, pois expressa mais a intensidade de ocorrência do fator adverso do que aspectos genéticos diferenciais, podendo chegar, quando perto de 100%, a perder por completo o poder discriminatório em condições muito desfavoráveis ao hospedeiro. Abaixo são citados os fatores adversos considerados e os respectivos métodos de avaliação adotados:

a) Murcha de *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. *vasinfectum* Snyder & Hansen)

Índice de resistência (Gridi-Papp et al., 1970):

$$I_R = \frac{n}{s}$$

onde:

n = número de plantas sem sintoma interno no caule (vasos escurecidos), verificado no final do ciclo por meio de corte em bisel, logo acima do colo das plantas;

s = número de plantas deixadas no desbaste (estando inicial).

b) Murcha de *Verticillium* (*Verticillium dahliae* Kleb) e *V. albo atrum* Reinke & Berth.

Índice de avaliação idêntico ao de *Fusarium*.

c) Mancha-angular (*Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum* Dye)

Avaliação mediante uma escala de notas de 1 a 5 (Cia et al., 1978):

Nota 1: planta sem sintoma;

Notas 2-3-4: manchas necrosadas crescentes em tamanho, chegando a 3 mm, sem coalescência, nas folhas;

Nota 5: planta com manchas angulares grandes nas folhas, de 3 mm ou mais, frequentemente coalescentes.

A nota de uma parcela foi a média das notas de dez plantas tomadas ao acaso.

Em alguns anos, mesmo com inoculação artificial, a infecção foi baixa devido à falta de condições ambientes favoráveis. Nesses casos, as notas foram atribuídas às parcelas pela inspeção visual global, por mais de uma pessoa, considerando-se as respectivas médias.

d) Ramulose (*Colletotrichum gossypii* South. v. *cephalosporioides* (Costa)

Avaliação por uma escala de notas de 1 a 5 (Cia et al., 1982b):

Nota 1: planta sem sintoma;

Nota 2: planta com folhas do ponteiro apresentando manchas necrosadas pequenas ("manchas estreladas");

Nota 3: planta com redução dos internódios no ponteiro, além de manchas pequenas;

Nota 4: planta com superbrotamento no ponteiro, além das manchas, mas sem redução acentuada do porte;

Nota 5: planta com superbrotamento, manchas e redução acentuada do porte.

As notas foram atribuídas a todas as plantas das parcelas e a média aritmética constituiu a nota da parcela. Também nesse caso houve ano desfavorável à doença, quando as notas foram dadas globalmente às parcelas, por mais de uma pessoa.

e) Nematóides

Avaliação por escala de notas de 1 a 5 (Cia et al., 1982a):

Nota 1: planta sem sintoma;

Nota 2: planta com uma ou duas folhas tendo manchas cloróticas ("carijó"), em qualquer posição na planta, menos no ponteiro;

Nota 3: planta com mais de duas folhas com manchas cloróticas, em qualquer posição, menos no ponteiro;

Nota 4: planta com folhas de ponteiro apresentando manchas cloróticas, sem redução acentuada do porte;

Nota 5: plantas com folhas de ponteiro com manchas cloróticas e com redução acentuada de porte e da produção.

Em anos de baixa infestação, as notas foram dadas globalmente às parcelas, por mais de uma pessoa.

f) Broca-da-raiz (*Eutinobothrus brasiliensis* Hambl.). Índice de resistência (Gridi-Papp et al., 1982b):

$$I_R = \frac{\sum \left(\frac{1}{y+1} \right)}{s}$$

onde:

y = número de furos observados no corte, em bisel, da região hipertrofiada do caule (na altura do colo). Número acima de 10 foi computado igual a 10;

s = número de plantas deixadas no desbaste (estando inicial).

2.2.3 Uniformização das avaliações

Foram utilizadas transformações dos dados de notas objetivando a uniformização das avaliações, para obter parâmetros variando de 0 (morte da planta) a 1 (imunidade) para todos os fatores adversos (Gridi-Papp et al., 1982a). Essa uniformização é indispensável para permitir comparações de níveis de resistência e progressos alcançados entre fatores diferentes, assim como para avaliação global da resistência múltipla. Dessa maneira, o valor 0,70 (ou 70%) representa o mesmo grau de resistência a qualquer dos fatores.

- No caso de escala de notas de 1 a 5, computou-se:

$$I_R = 1 - \frac{\sum (\text{nota individual}) - n}{n(N-1)}$$

onde:

n = número de indivíduos examinados na população da parcela;

N = 5 (número de notas da escala)

- Quando a avaliação foi global nas parcelas:

$$I_R = 1 - \frac{(\text{nota da parcela}) - 1}{N-1}$$

2.2.4 Delineamento, locais e condução dos testes

A importância do ambiente no melhoramento para resistência a fatores adversos é óbvia e reconhecida por todos os que estudaram os mecanismos envolvidos. O ambiente influi na mutabilidade ou adaptação do agente causal, na fisiologia do hospede, na intensidade dos prejuízos

causados às plantas. Segundo Christiansen & Lewis (1982), o melhorista, para garantir o progresso genético, deve testar o seu material em condições extremas de estresse, para a raça mais virulenta do agente, por exemplo, quando visa à resistência horizontal. Stakman & Harrar (1957) concluíram que a expressão da resistência, em campo, depende das condições de local e pode ser considerada como uma espécie de probabilidade. Atribuíram a esse fato que resultados alcançados em testes de laboratório ou em casa de vegetação nem sempre se repetem quando o material selecionado é plantado no campo. Mas há outros fatores a considerar quando se planejam testes em condições de campo, como disponibilidade de sementes, possibilidade de assegurar um bom nível de ocorrência da doença ou praga e com a maior uniformidade possível na área.

Com base em tais considerações, optou-se pelo delineamento em parcelas de fileira única, de 5 m de comprimento e 25 plantas após o desbaste, com testemunhas resistente e suscetível intercaladas, no máximo, a cada dez fileiras, e com duas a quatro repetições, conforme a disponibilidade de sementes e a irregularidade da área do teste. Houve um teste para cada fator adverso por ano, reunindo todas as linhagens promissoras da programação, o qual foi repetido todos os anos.

No caso das murchas, de nematóides e da broca, foram escolhidas áreas de alta infestação natural, e que, quando houve colaboração dos agricultores, se tornaram locais "permanentes" de teste. A necessidade de rotação num mesmo local foi considerada e programada, mas não se realizou no período abrangido pelo presente trabalho. A manutenção da população do agente causal ou de inóculos foi assegurada pelo roçamento e incorporação dos restos das plantas no final de cada ciclo. No caso da broca, a parte aérea das plantas foi removida da área do teste. Nos casos da mancha-angular e da ramulose, as plantas receberam inoculações artificiais, até três vezes nas épocas adequadas, conforme técnicas descritas por Cia et al. (1975)

e Cia et al. (1982b) respectivamente. Todos os testes receberam adubação e foram tratados segundo recomendação técnica normal da cultura.

2.2.5 Índices relativos e índices de resistência múltipla

Embora de difícil avaliação estatística, valores relativos dos índices de resistência foram computados para o julgamento das linhagens. Essa foi a maneira prática de minimizar a influência do microambiente nos índices, cuja variação considerável tornava sem sentido as médias dentro de um mesmo teste. Entre duas testemunhas resistentes contíguas, dividiram-se os índices de resistência das parcelas pela média aritmética dos índices de ambas as testemunhas, obtendo-se os índices relativos de resistência para cada parcela. Dessa forma, os índices ficaram comparáveis dentro dos testes e entre testes de diferentes anos. Admitiu-se que, dentro dos testes, os gradientes de infestação eram sensivelmente lineares e que o comportamento relativo das linhagens e testemunhas, dentro dos limites de infestação observados, era regular, sem distorções.

A caracterização do nível de resistência de cada linhagem baseou-se nos seus índices relativos médios anuais.

A interpretação global dos resultados exige a reunião dos índices assim obtidos para cada fator num único parâmetro, num índice de resistência múltipla. Consideraram-se, para tanto, dois pontos importantes. Primeiro, valores relativos, frações, quando reunidos cumulativamente, comportam-se de maneira multiplicativa, à semelhança de probabilidades e de correlações. Em segundo lugar, o índice múltiplo deve refletir, além do comportamento médio, o grau de dispersão dos índices individuais.

Com base nessas considerações, optou-se pela média geométrica dos índices relativos e sua padronização, dividindo essa média por $(1 + s)$, onde s é o desvio padrão dos índices relativos que compõem o índice múltiplo. Dessa maneira, quando os índices componentes tendem

a ser iguais, "s" tende a zero e o índice múltiplo tende à média geométrica daqueles índices. A resistência múltipla se mediu por:

$$I_{RM} = \frac{\sqrt[n]{\bar{I}_{R1} \cdot \bar{I}_{R2} \cdots \bar{I}_{Rn}}}{1 + s}$$

onde:

$\bar{I}_{R1}, \bar{I}_{R2} \dots \bar{I}_{Rn}$ são os índices relativos médios de determinada linhagem para os fatores adversos 1, 2...n.

2.2.6 Métodos de seleção

Em geral, as doenças e pragas tornam-se objeto de estudos no melhoramento de determinada cultura, à medida que lhe causam prejuízos inesperados. Esse foi o caso, também, do Instituto Agrônômico, como foi descrito na Introdução. Cada doença ou praga foi enfrentada dentro de um programa ou projeto específico. Bird et al. (1968) concluíram, trabalhando para a obtenção de linhagens MAR ("multi adversity resistance"), com resistência múltipla a adversidades, que era mais fácil ter progresso selecionando simultaneamente para todos os fatores adversos considerados, do que tratando cada um separadamente, para uma reunião posterior. Esse parecer foi compartilhado por Nelson (1977). Deve-se notar que Bird procurou introduzir no mesmo teste vários fatores adversos. Os melhoristas da Seção de Algodão optaram por uma solução intermediária, ou seja, ciclos de seleção de dois anos para cada fator adverso (seleção de plantas, testes das suas progênies, seleção massal nas melhores progênies e estudo das seleções massais) e, paralelamente, testes anuais de todas as linhagens em estudo a partir do terceiro ano (geração) até a fase de estudos regionais das melhores. O modelo adquiriu um aspecto de continuidade, porquanto todas as fases do trabalho foram desenvolvidas anualmente. As linhagens que não confirmaram os níveis de resistência do ano anterior (segunda geração), foram descartadas dos estudos e resselecionadas anualmente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes de resistência a *Fusarium* foram desenvolvidos nos municípios de Caiabu, Urânia e Osvaldo Cruz; os de *Verticillium*, em Aguaí, Leme e, posteriormente, na Estação Experimental de Jaú (IAC). Os testes de ramulose foram iniciados em Santa Helena (GO), sem inoculação, e não deram resultados confiáveis, passando, a partir de 1982/83, para a Estação Experimental de Piracicaba, onde se fez, anualmente, inoculação artificial. Os testes de nematóides foram realizados nos municípios de Ituverava e Guaíra; de mancha-angular, no Centro Experimental de Campinas (IAC) com inoculação artificial, e os de broca-da-raiz, na Estação Experimental de Tietê.

Os seis testes foram programados e instalados todos os anos. Entretanto, em 1980/81, o teste de ramulose não deu bom resultado, como mencionado, e o de bactéria foi perdido pela chuva de granizo na época da avaliação. Em 1981/82, nenhum teste deu resultados aceitáveis, por causas variadas: chuva de granizo, seca das plantas na época da avaliação, falta de infestação e não-evolução da doença onde se fez inoculação artificial. Em 1983/84, no teste de mancha-angular, não houve infecção suficiente. Finalmente, em 1985/86, não se conseguiu boa infecção nem no teste de mancha-angular nem no de ramulose.

3.1 Evolução da resistência por fator adverso

As figuras 1 a 6 apresentam a evolução das médias anuais dos índices relativos, por fator adverso. Essas médias foram padronizadas, à semelhança dos índices de resistência múltipla, para que possam expressar, também, a dispersão do comportamento das linhagens em cada ano. Os gráficos contêm como referência o nível de resistência relativa do cultivar IAC 12-2 verificado no início do período (quatro anos). Esse cultivar esteve em plantio comercial, no Estado de São Paulo, até 1970; foi um IAC 12 melhorado para qualidade da fibra, sem ter sido trabalhado, especificamente, para nenhum dos fatores considerados no presente trabalho (Neves et al., 1969).

Verifica-se, pelo quadro 1 - que contém valores numéricos padronizados daquelas médias - e pelas figuras, que houve progresso durante o período, no nível geral de resistência das linhagens para *Fusarium*, *Verticillium*, mancha-angular, nematóides e broca-da-raiz. A resistência à ramulose se manteve basicamente estacionária, ao redor de 70%, nível considerado mínimo para exploração econômica da cultura. Note-se que isso não significa que não tenham sido obtidas linhagens de alta resistência a essa doença. Pelo contrário, todo ano foram estudadas linhagens com índice relativo de resistência acima de 1, para cada fator adverso, assim como outras que não confirmaram a resistência demonstrada no ano anterior. Poucas, porém, apresentaram todos os índices próximos da unidade. Essa qualidade indica o acúmulo de genes de resistência para os diversos fatores numa mesma linhagem e corresponde ao ideal de linhagem multirresistente.

As oscilações dos valores do quadro 1, através dos anos, de um mesmo fator adverso, resultaram, principalmente, das mudanças anuais de linhagens, como foi descrito em Material, e refletem o maior ou menor acerto havido na seleção das linhagens para resistência aos fatores, de um ano para outro.

3.2 Evolução dos índices de resistência múltipla

O quadro 2 apresenta os índices de resistência múltipla obtidos por ano e a respectiva média anual (aritmética). As linhagens não são identificadas, porquanto, a cada ano, foram estudadas linhagens obtidas como promissoras. A figura 7 visualiza a evolução do índice múltiplo médio durante o período. Apesar da oscilação anual, a curva é ascendente e demonstra o progresso alcançado no material como um todo.

Deve-se levar em consideração que, paralelamente aos testes de resistência, as linhagens foram estudadas e julgadas anualmente, sofrendo eleições e descartes, quanto à produção, aspectos agronômicos, qualidade da fibra, do fruto e das sementes. Logo, o progresso verificado representa o melhoramento genético para resistência múltipla do chamado "material do melhorista", de onde poderão sair os futuros cultivares, já com todas as características estudadas.

3.3 Evolução das correlações entre fatores

Os coeficientes de correlação simples, verificados entre os fatores adversos no material de cada ano, constam do quadro 3.

Quadro 1. Médias padronizadas dos índices relativos de resistência por fator adverso e por ano

Ano	<i>Fusarium</i>	<i>Verticillium</i>	Ramulose	Mancha-angular	Nematóides	Broca-da-raiz
1981	0,748	0,593	-	-	0,648	0,404
1982	Eliminado	-	-	-	-	-
1983	0,787	0,664	0,593	0,397	0,776	0,626
1984	0,808	0,613	0,666	-	0,830	0,962
1985	0,856	0,795	0,802	0,511	0,830	0,895
1986	0,855	0,782	-	-	0,829	0,695
1987	0,525	0,753	0,695	0,570	0,750	0,689
1988	0,662	0,708	0,811	0,678	0,937	0,807
1989	1,028	0,821	0,482	0,620	0,825	0,861
1990	0,806	0,806	0,675	0,610	0,808	0,986
1991	0,829	0,914	0,851	0,714	0,863	0,738

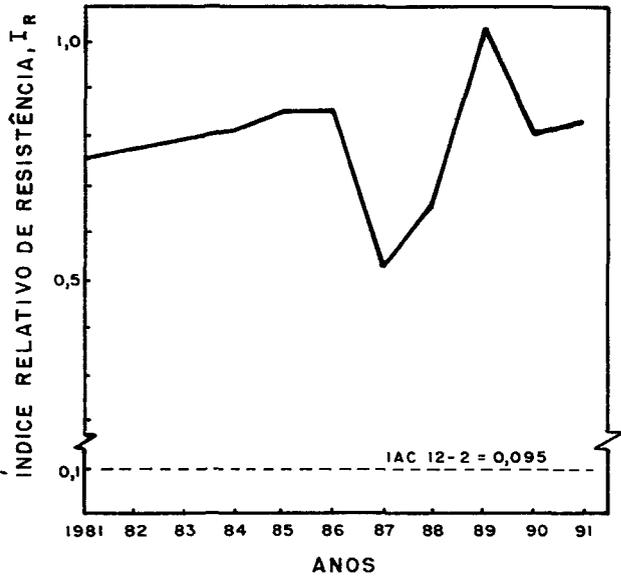


Figura 1. Evolução da média dos índices relativos de resistência à murcha de *Fusarium* das linhagens de algodoeiro estudadas no período de 1981-91

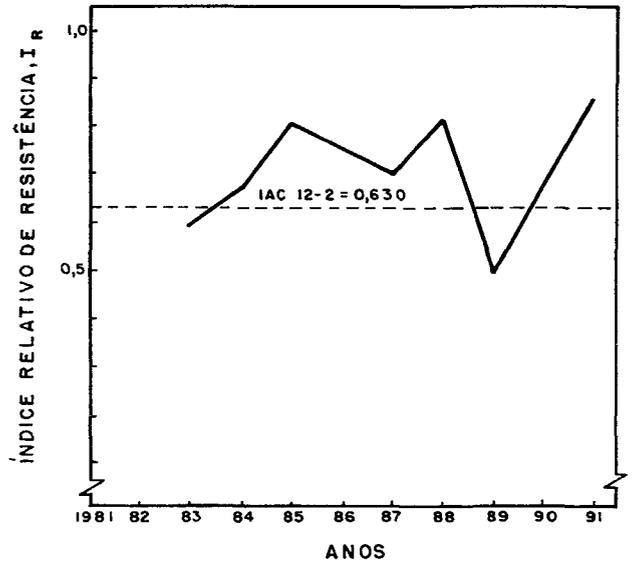


Figura 3. Evolução da média dos índices relativos de resistência à ramulose das linhagens de algodoeiro estudadas no período de 1981-91

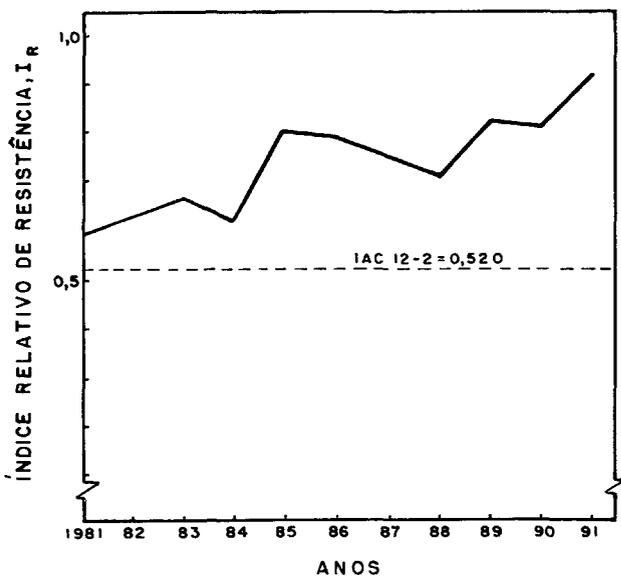


Figura 2. Evolução da média dos índices relativos de resistência à murcha de *Verticillium* das linhagens de algodoeiro estudadas no período de 1981-91

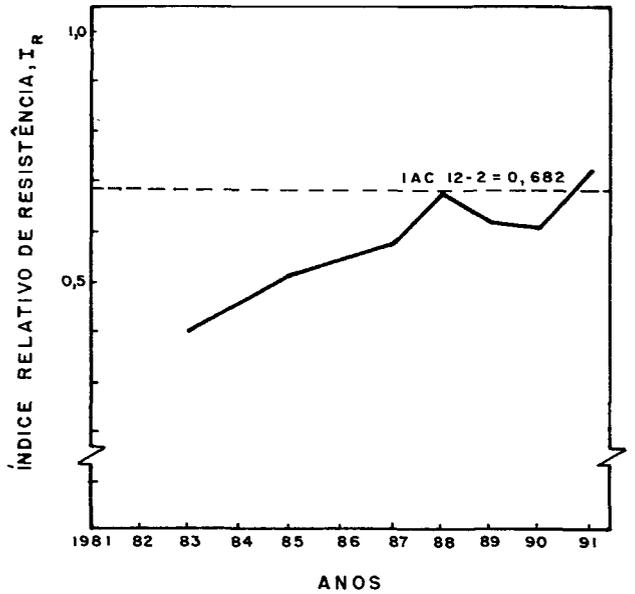


Figura 4. Evolução da média dos índices relativos de resistência à mancha-angular das linhagens de algodoeiro estudadas no período de 1981-91

Quadro 2. Índices de resistência múltipla obtidos por linhagem e por ano, e médias anuais

Linhagem	1981	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
1	0,722	0,498	0,484	0,793	0,677	0,117	0,191	0,838	0,891	0,836
2	0,530	0,686	0,732	0,682	0,798	0,586	0,794	0,708	0,703	0,682
3	0,414	0,367	0,552	0,825	0,731	0,694	0,750	0,691	0,727	0,735
4	0,475	0,626	0,664	0,365	0,747	0,683	0,697	0,816	0,718	0,768
5	0,486	0,756	0,658	0,691	0,703	0,690	0,683	0,539	0,681	0,787
6	0,492	0,551	0,162	0,463	0,665	0,672	0,861	0,659	0,731	0,794
7	0,519	0,637	0,554	0,651	0,863	0,192	0,689	0,674	0,646	0,704
8	0,478	0,618	0,805	0,653	0,673	0,662	0,651	0,619	0,832	0,830
9	0,453	0,537	0,705	0,559	0,856	0,574	0,750	0,632	0,730	0,847
10	0,432	0,399	0,599	0,845	0,729	0,546	0,685	0,647	0,781	0,860
11	0,415	0,576	0,437	0,872	0,822	0,906	0,617	0,666	0,578	0,691
12	0,520	0,478	0,733	0,456	0,671	0,548	0,599	0,543	0,540	—
Média	0,495	0,561	0,590	0,655	0,745	0,573	0,664	0,669	0,713	0,776

Nota: Os números de linhagem representam mera listagem sem função de identificação através dos anos. Em 1990/91 havia somente onze linhagens em estudo.

Quadro 3. Coeficientes de correlação simples anuais entre os índices relativos de resistência aos fatores adversos estudados

r	1981	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
F x V	0,576*	0,180	-0,203	0,086	-0,302	0,107	-0,064	-0,512	0,178	-0,031
F x R	0,416	0,437	-0,130	0,150	—	0,261	0,248	-0,398	-0,725*	-0,438
F x M	—	0,486	—	-0,770*	—	0,165	0,196	-0,063	0,558	0,144
F x N	-0,301	0,464	0,530	-0,260	0,404	0,597*	0,427	0,380	0,462	-0,073
F x B	-0,269	-0,217	-0,085	-0,254	-0,024	0,249	-0,584*	-0,227	0,189	-0,138
V x R	0,304	0,557	-0,009	-0,400	—	-0,380	0,420	-0,112	-0,662*	-0,437
V x M	—	0,287	—	-0,010	—	0,319	0,462	0,455	0,712*	0,666*
V x N	0,082	-0,118	0,092	0,139	0,117	-0,352	0,113	-0,396	0,554	0,531
V x B	-0,182	0,071	0,408	-0,019	-0,281	-0,328	0,379	0,221	0,600*	-0,012
R x M	—	0,088	—	-0,021	—	0,093	0,031	-0,196	-0,919*	-0,617*
R x N	-0,059	-0,162	0,112	-0,742*	—	0,890*	-0,254	0,009	0,613*	-0,360
R x B	-0,289	0,140	0,210	-0,075	—	0,310	0,148	0,159	-0,372	0,031
M x N	—	0,580*	—	-0,076	—	0,130	0,574	-0,498	0,626*	0,321
M x B	—	-0,506	—	0,232	—	-0,030	-0,288	-0,065	0,274	0,003
N x B	-0,164	-0,421	0,277	0,212	0,136	0,362	-0,315	-0,111	0,269	-0,545

* = Significativo no nível de 5%. F = *Fusarium*; V = *Verticillium*; R = ramulose; M = mancha-angular; N = nematóides; B = Broca-da-raiz.

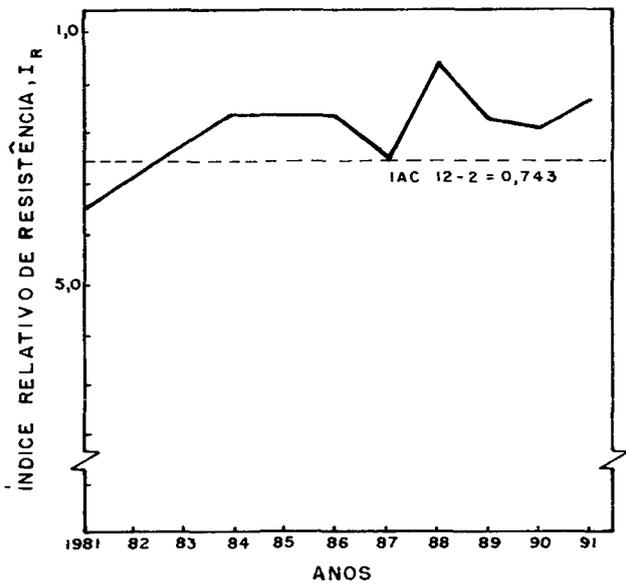


Figura 5. Evolução da média dos índices relativos de resistência a nematóides das linhagens de algodoeiro estudadas no período de 1981-91

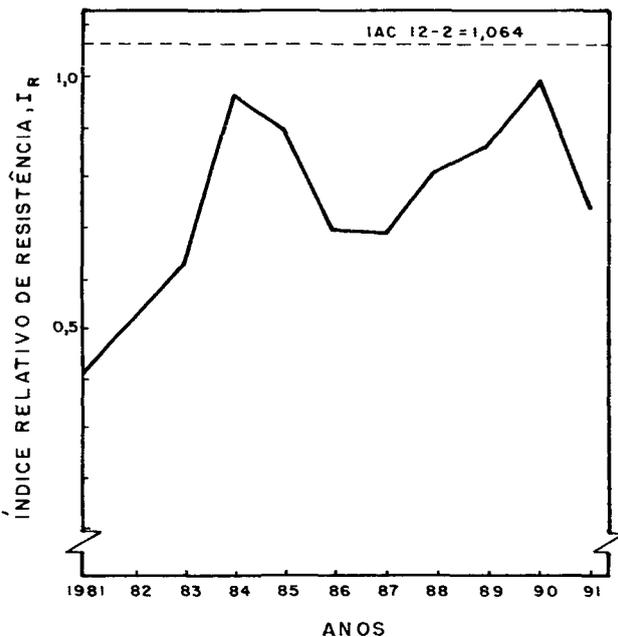


Figura 6. Evolução da média dos índices relativos de resistência à broca-da-raiz das linhagens de algodoeiro estudadas no período de 1981-91

De maneira geral, não se configurou nenhuma tendência de aumento dos diversos coeficientes durante o período. Os valores significativos, ao nível de 5%, foram assinalados. Ressalta-se, dos dados, entretanto, que houve, nos últimos três anos, formação nítida de correlações entre resistência a *Verticillium*, mancha-angular e ramulose. Estabeleceu-se correlação positiva entre *Verticillium* e mancha-angular, e resistência à ramulose correlacionou-se negativamente com ambos. Deve-se notar, também, que as correlações variaram, aparentemente, de modo casual através dos anos, adquirindo, raras vezes, valores significativos, exceto no caso acima mencionado. Considerando-se a mudança anual de identidade das linhagens, os dados parecem indicar que houve em jogo grande número de genes, de origens diversas, formando complexos para resistência que não eram compartilhados integralmente pelas diferentes linhagens.

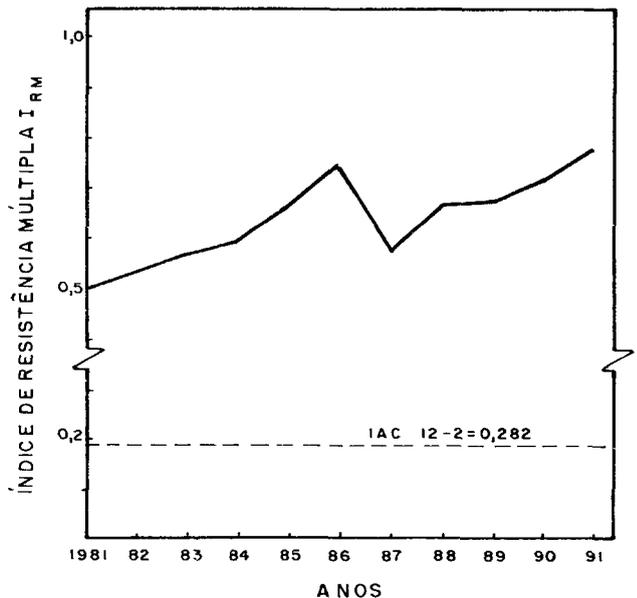


Figura 7. Evolução dos índices médios de resistência múltipla a doenças e pragas das linhagens de algodoeiro estudadas no período de 1981-91

4. Discussão geral e conclusão

A correlação negativa mencionada da resistência à ramulose explica porque essa resistência não acusou tendência de aumento durante o período, contrariamente aos demais fatores. Isso mereceu, posteriormente, atenção especial por parte dos melhoristas, pois a ramulose é uma doença de grande ameaça em potencial mesmo para os algodoads do Estado de São Paulo. Os dados de correlação também não confirmam a idéia de Nelson (1977) de que a resistência múltipla, uma vez obtida, leva a um mesmo grupo de genes, conferindo resistência aos fatores adversos. Se esse fosse o caso, as correlações deveriam ter aumentado gradativamente durante o período, chegando a níveis significativos. É possível que tal situação ocorra quando todas as linhagens têm uma mesma origem restrita.

A eficiência do modelo delineado foi comprovada pelo aumento gradual, no período, do índice de resistência múltipla, que passou de 0,495 para 0,776 e, também, pela evolução da grande maioria dos índices relativos de resistência aos fatores considerados. Índices múltiplos muito baixos indicaram que o bom comportamento de algumas linhagens, verificado nos testes da segunda geração, não se confirmou na geração seguinte, com respeito a determinados fatores, o que vem conferir especial importância aos testes de resistência realizados nas terceiras gerações, para a comprovação da base genética da resistência selecionada.

Em relação ao antigo cultivar IAC 12-2, houve ganho de resistência para as murchas de *Fusarium* e de *Verticillium*, para nematóides e para ramulose. As linhagens se aproximaram, no final do período, dos níveis de resistência daquele cultivar para mancha-angular e broca-da-raiz.

Bird et al. (1968) preconizaram a seleção simultânea para vários fatores, forçando-lhes a ocorrência nos mesmos testes. Já Brinkerhoff et al. (1978) sugeriram buscar a homozigose dos genes de resistência, selecionando e fazendo massais de progênies em casa de vegetação e

com inoculação artificial, levando para testes de campo somente material já multirresistente. Essas posições são discutíveis. De um lado, em determinado local dificilmente há condições para que todos os fatores adversos ocorram com agressividade crítica, no mesmo ano. Mas aqueles que têm condições para ocorrer juntos têm que ser testados juntos. Os locais dos testes do presente modelo foram escolhidos de maneira a assegurar a presença intensa de um dos fatores, sem, contudo, excluir a de outro, se houvesse condições favoráveis. Por outro lado, em testes de casa de vegetação poderiam ser selecionados grupos de genes que resultariam, nos testes de campo, em correlações negativas entre os diversos fatores, necessitando, posteriormente, mais tempo para ser quebrados. No modelo apresentado, cada fator foi alvo de seleção para resistência, separadamente, mas os testes simultâneos, reunindo todas as linhagens obtidas promissoras, permitiram que tais correlações negativas pudessem ser reconhecidas à hora mesmo da sua formação e eliminadas pela eleição das linhagens realmente promissoras para resistência múltipla. A quebra de correlação negativa, observada por Cia et al. (1978) no "material do melhorista", decorrente da pressão de seleção simultânea para resistência a mais de um fator, ocorreu no presente trabalho de maneira sistemática.

O modelo descrito constitui ferramenta importante para o melhorista e deve assumir um caráter contínuo. Como observou Van Der Plank (1968), em se tratando de resistência horizontal, a pressão de seleção para os fatores adversos deve acompanhar todos os trabalhos do melhorista; caso contrário, a resistência pode-se desfazer e ser perdida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração na condução dos testes e a cessão dos respectivos terrenos e mão-de-obra em sua propriedade, aos senhores Emil Wirth, do município de Osvaldo Cruz; Francisco Xavier Ribeiro da Luz, de Leme; Hans Thomas Uebele, de Caiabu; à Sra. Noemia J. Rehder, de Aguai; à Agropecuária Maeda, de Ituverava, e à Empresa Brazcot, de Guaíra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIRD, L.S. Interrelation of resistance and escape of cotton from five major diseases. *Proceedings Cotton Disease Council*, Memphis, **26**:92-107, 1966.
- BIRD, L.S.; EL-ZINK, K.M.; FREE, E. & ARNOLD, R. Concepts and procedures for developing cottons with multiple disease resistance. *Proceedings Cotton Disease Council*, Hot Springs, **28**:158-162, 1968.
- BRINKERHOFF, L.A.; VERHALEN, L.M. & JOHNSON, W.M. Synthesis of resistance to four major Upland cotton diseases. In: BELTSWIDE COTTON PRODUCTION RESEARCH CONFERENCE, 29., Atlanta, 1977. *Proceedings*. Memphis, National Cotton Council, 1978. p.232.
- CHRISTIANSEN, M.N. & LEWIS, C.F. *Breeding plants for less favorable environments*. New York, John Wiley & Sons, 1982. 460p.
- CIA, E.; FERRAZ, C.A.M.; GRIDI-PAPP, I.L. & SOAVE, J. Melhoramento do algodoeiro *Gossypium hirsutum* L. para resistência a *Xanthomonas malvacearum* (E.F. Smith) Dowson. *Summa Phytopathologica*, Piracicaba, **1**:177-186, 1975.
- CIA, E.; FUZZATTO, M.G.; GRIDI-PAPP, I.L. & CHIAVEGATO, E.J. Melhoramento do algodoeiro visando a resistência a nematóides. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 2., Salvador, 1982. *Resumos*. Campina Grande, EMBRAPA-CNPA, 1982a. p.242.
- CIA, E.; FUZZATTO, M.G.; GRIDI-PAPP, I.L.; SOAVE, J. & CIONE, J. Avaliação da incidência de ramulose do algodoeiro através de inoculação artificial. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 2., Salvador, 1982. *Resumos*. Campina Grande, EMBRAPA-CNPA, 1982b. p.241.
- CIA, E.; GRIDI-PAPP, I.L. & FERRAZ, C.A.M. Correlações entre respostas de resistência apresentadas por linhagens de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) a três agentes patogênicos. *Summa Phytopathologica*, Piracicaba, **4**:111-121, 1978.
- COSTA, A.S. *Investigações sobre a ramulose*. Campinas, Instituto Agrônomico, 1941. 44p. (Datilografado)
- GRIDI-PAPP, I.L.; CIA, E. & FUZZATTO, M.G. Uniformização de índices de avaliação em programas de melhoramento para resistência múltipla a fatores adversos. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 2., Salvador, 1982. *Resumos*. Campina Grande, EMBRAPA-CNPA, 1982a. p.236.
- GRIDI-PAPP, I.L.; CIA, E.; FUZZATTO, M.G.; CAVALERI, P.A.; CHIAVEGATO, E.J.; FERRAZ, C.A.M.; SABINO, N.P.; KONDO, J.I.; SOAVE, J. & BORTOLETTO, N. Melhoramento do algodoeiro no Estado de São Paulo: obtenção da variedade IAC 18. *Bragantia*, Campinas, **44**(2):645-658, 1985.
- GRIDI-PAPP, I.L.; CIA, E.; FUZZATTO, M.G.; VEIGA, A.A. & SABINO, J.C. Avaliação de variedades e linhagens de algodoeiro para resistência à broca-da-raiz. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 2., Salvador, 1982. *Resumos*. Campina Grande, EMBRAPA-CNPA, 1982b. p.75.
- GRIDI-PAPP, I.L.; FUZZATTO, M.G.; CAVALERI, P.A.; CIA, E.; SILVA, N.M.; FERRAZ, C.A.M.; SCHMIDT, W.; NEVES, O.S.; RODRIGUES FILHO, F.S.O.; CHIAVEGATO, E.J.; SABINO, N.P.; MARTINELLI, E.S.; LAZZARINI, J.F. & CORRÊA, F.A. Melhoramento do algodoeiro no Estado de São Paulo: obtenção das variedades IAC RM₃, IAC RM₄, IAC 16 e IAC 17. *Bragantia*, Campinas, **43**(2):405-423, 1984.
- GRIDI-PAPP, I.L.; FUZZATTO, M.G.; FERRAZ, C.A.M. & CIA, E. Seleção do algodoeiro para resistência à fusariose em área onde ocorre doença semelhante em plantas de labelabe (*Dolichos lablab* L.). *Bragantia*, Campinas, **29**:67-72, 1970.
- McNEW, G.L. The nature, origin and evolution of parasitism. In: HORSFALL, J.G. & DIMOND, A.E., eds. *Plant pathology: an advanced treatise*. New York, Academic Press, 1960. v.2, p.19-69.
- NELSON, R.R. *Breeding plants for disease resistance: concepts and applications*. University Park, Pennsylvania State University Press, 1977. 401p.
- NEVES, O.S.; CAVALERI, P.A.; GRIDI-PAPP, I.L. & FERRAZ, C.A.M. Melhoramento das variedades paulistas de algodão: criação da IAC 12. *Bragantia*, Campinas, **28**:291-306, 1969.
- RUSSELL, G.E. *Plant breeding for pest and disease resistance*. London, Butterworths, 1978. 485p.
- SILVEIRA, A.P. Moléstias: fungos e bactérias. In: CULTURA E ADUBAÇÃO DO ALGODOEIRO. São Paulo, Instituto Brasileiro de Potassa, 1965. cap.9, p.417-433.
- STAKMAN, E.C. & HARRAR, J.G. *Principles of plant pathology*. New York, Ronald Press, 1957. 581p.
- VAN DER PLANK, J.E. *Disease resistance in plants*. New York, Academic Press, 1968. 206p.