

ANÁLISE DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO ALGODOEIRO NO PARANÁ: UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA A VARIEDADE IAC-17¹

AMADOR VILLACORTA², ANDREW PAUL GUTIERREZ³, WALTER JORGE DOS SANTOS⁴
e MARINA ÂNGELA PIZZAMIGLIO⁵

RESUMO - Um modelo de simulação para a variedade de algodoeiro IAC-17 (*Gossypium hirsutum* L.) é apresentado e testado com êxito quando comparado com dados de campo. O modelo é da forma estocástica e representa um considerável avanço com respeito a prévios modelos determinísticos. É examinado também o efeito das condições meteorológicas ocorridas durante a safra 1982-83 para Londrina, PR, sobre a produção do algodoeiro.

Termos para indexação: modelagem de plantas, modelo estocástico, dinâmica populacional.

AN ANALYSIS OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF COTTON IN PARANÁ STATE: A SIMULATION MODEL FOR THE VARIETY IAC-17

ABSTRACT - A simulation model for the Brazilian cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Variety IAC-17 is reported and tested successfully against an extensive set of field data. The model is stochastic in form and is considerable improvement over prior deterministic models. The effects of the 1982-83 weather conditions for Londrina, PR, on observed cotton yield is also examined.

Index terms: plant modeling, stochastic model, population dynamics.

INTRODUÇÃO

O uso de análise de sistema tem produzido considerável desenvolvimento na agricultura, de forma especial nos Estados Unidos da América e na Europa (Huffaker 1980). O maior progresso tem sido realizado provavelmente com a cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), cultura que, historicamente, tem recebido o maior número de aplicações de praguicidas (Smith & Falcon 1973). A produção do algodoeiro no Brasil também não foge à regra e depende, grandemente, da utilização de praguicidas para o controle de pragas importantes, tais como a lagarta-rosada (*Pectinophora gossypiella* Saunders), o percevejo-rajado (*Horcias nobilellus* Berg), a broca-do-algodoeiro (*Eutinobothrus brasiliensis* Hambleton), o curuquerê (*Alaba-*

ma argillacea Huebn.) ácaros e tripes. Bleicher et al. (1981) apresentam uma relação completa das pragas do algodoeiro no Brasil. Frequentemente, os surtos de insetos-pragas, em distintas regiões do mundo onde se cultiva algodão, são induzidos pelas aplicações de inseticidas (Bosch 1978); por tal razão deve-se conhecer bem cada praga, se se deseja realizar algum progresso no manejo integrado de pragas (Huffaker 1980).

No Paraná, as pragas mais nocivas ao algodoeiro são a lagarta-rosada e a broca-do-algodoeiro e, com o aparecimento recente do bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boh.) no Estado de São Paulo, o problema do manejo de pragas do algodão no Paraná poderá se tornar mais difícil.

Este trabalho relata o desenvolvimento de um modelo estocástico para simulação do crescimento e desenvolvimento do algodoeiro IAC-17.

¹ Aceito para publicação em 16 de janeiro de 1985.

Trabalho financiado pelo IAPAR; as viagens, pelo Convênio IICA-EMBRAPA; e o desenvolvimento do modelo, pela USDA Grant nº 200040 e NSF/DEB 7725260.

² Eng. - Agr., Ph.D., Entomologista. IAPAR, Caixa Postal 1331, CEP 86100 Londrina, PR.

³ Biólogo, Ph.D., Ecologista. Division of Biological Control. University of California Berkeley, CA. 94720, USA.

⁴ Eng. - Agr., M.Sc., Entomologista. IAPAR, Londrina, PR.

⁵ Bióloga, IAPAR, Londrina, PR.

Modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento do Algodoeiro

O algodoeiro é uma planta de crescimento indeterminado, isto é, continua desenvolvendo-se até que este crescimento se torne limitado pelas condições meteorológicas ou por outros fatores físicos ou biológicos. Existem vários modelos para simular o crescimento e desenvolvimento do algodoeiro; dentre estes, os apresentados por Duncan (1971), Duncan et al. (1971), Stapleton & Meyers (1971),

Wilson et al. (1972), Stapleton et al. (1973), McKinion et al. (1974), Gutierrez et al. (1977). Estes modelos são todos determinísticos, isto é, são grupos de partes de uma planta (Ex.: botões florais) que aparecem no mesmo dia (t_0) e envelhecem conjuntamente num mesmo tempo t (Fig. 1). Tal suposição freqüentemente apresenta disparidade, quando se compara com dados de campo coletados para validar o modelo. Além do mais, a maioria destes modelos não têm um embasamento nem matemático nem demográfico (Getz & Gutierrez 1982). Exceção é o modelo determinístico proposto por Gutierrez et al. (1975) e aperfeiçoado por Wang et al. (1977). Estes autores usaram modelos desenvolvidos para demografia animal (Leslie 1945, Foerster 1959) para modelar a planta do algodoeiro, e trataram a cul-

tura como uma população de plantas de idade uniforme com subpopulações de partes da planta, isto é, folhas, caules, raízes e frutos com diferentes idades.

Esta publicação aperfeiçoa o modelo do algodoeiro de Gutierrez e Wang porque inclui envelhecimento e desenvolvimento estocástico. Neste modelo, grupos de botões florais que aparecem no mesmo dia (t_0) envelhecem e crescem com taxas diferentes; portanto, no tempo t teremos parte desse grupo ainda em botão floral e parte já em flor. A distribuição retardada por envelhecimento está representada na Fig. 1b. A Fig. 2 é o fluxograma para o modelo utilizado, que, com pequenas modificações, é parecido com o apresentado por Gutierrez et al. (1975); porém os detalhes matemáticos são apresentados em Gutierrez et al.

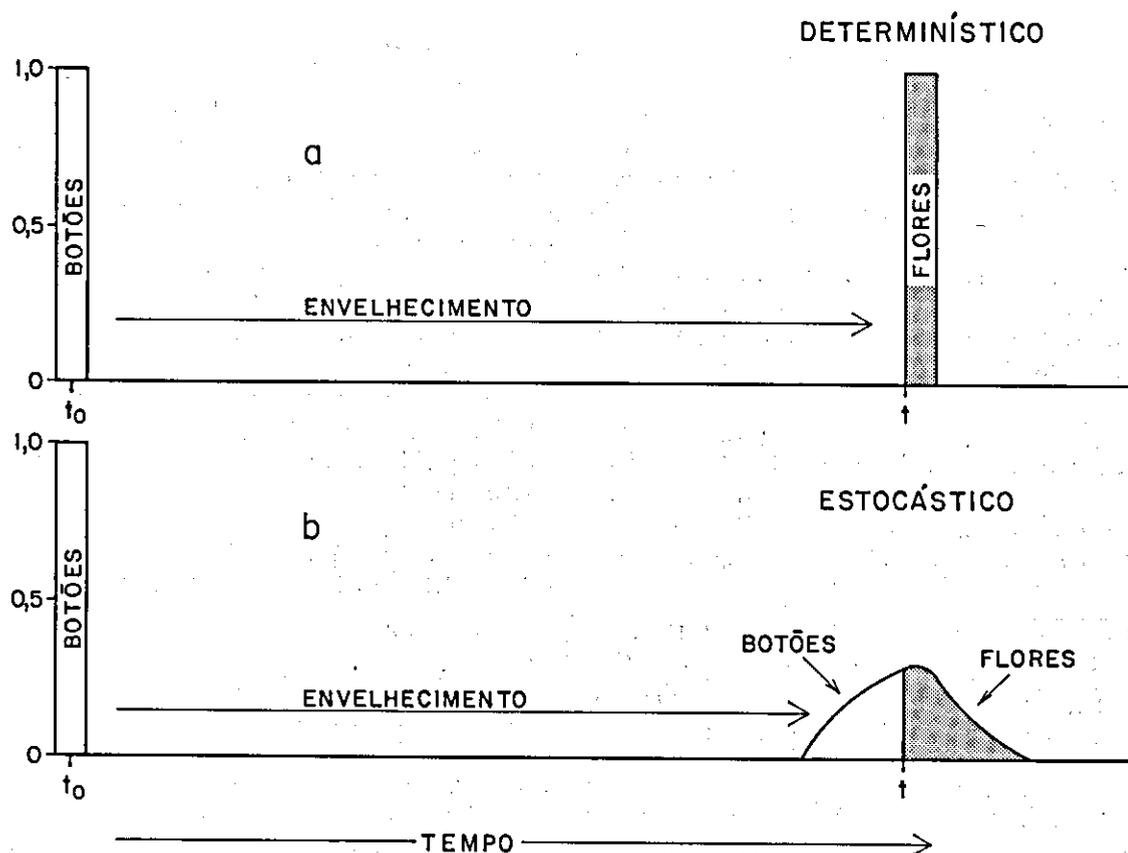


FIG.1. Desenvolvimento determinístico (a) e estocástico (b) de uma coorte de botões que nascem a tempo t_0 e vão a tempo t .

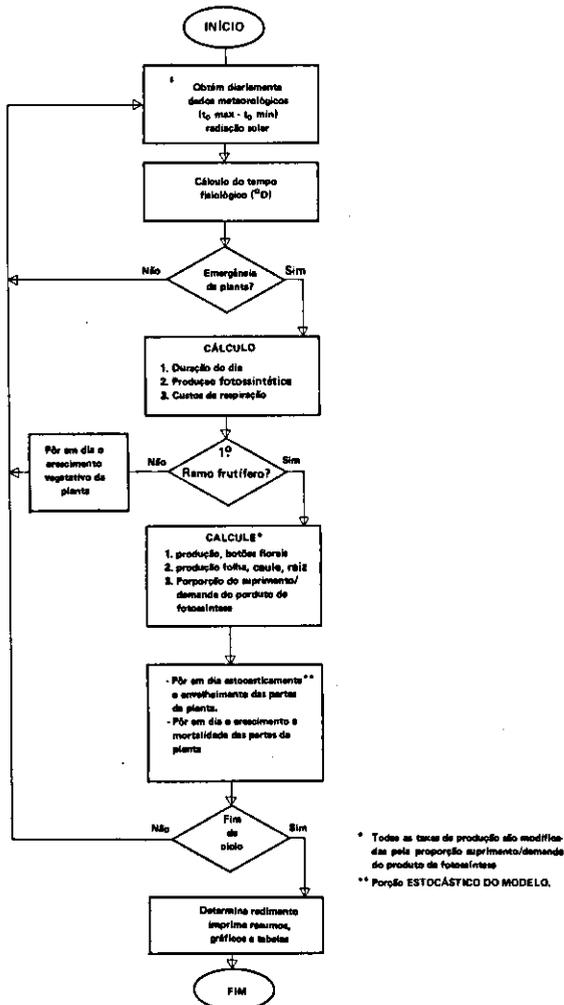


FIG. 2. Operação do computador para o modelo estocástico algodoeiro.

(1984). As bases fisiológicas do modelo, assim como as interações, densidade-dependente da população de plantas do algodoeiro, permanecem como foram idealizadas por Gutierrez et al. (1975). Os parâmetros do modelo foram estimados a partir de um dos dois grupos de dados descritos em material e métodos.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se duas parcelas de 20 x 200 m da variedade IAC-17, que é uma seleção da variedade americana

Auburn 56. Trabalhou-se com uma densidade de seis plantas por metro linear, espaçamento entre linhas de 1,0 m no CE-Londrina, PR. A sementeira foi realizada em 25 de outubro de 1982; isto foi feito para diminuir os riscos de "damping-off" causado por condições climáticas, já que se procurou definir o estande a partir dos dez dias de idade das plantas. As duas parcelas foram instaladas em Latossolo Roxo, com declive suave e niveladas de forma a evitar ondulações. Originalmente, uma parcela foi plantada em condições de ser irrigada caso necessário (Parcela 1), e a outra, para não ser irrigada (Parcela 2). No entanto, durante o ciclo da cultura as chuvas foram intensas e não houve necessidade de irrigação. O solo da parcela 2 é mais bem estruturado por ter produzido matéria verde anteriormente e não ter sido mecanizado durante dois anos. As duas parcelas receberam aplicações de inseticidas quando necessário, a fim de minimizar os danos ocasionados pelas pragas, já que o objetivo foi estimar os padrões de desenvolvimento do algodoeiro livre de pragas.

Vários foram os dados coletados segundo a metodologia descrita por Gutierrez et al. (1975), ou seja: a) dados fenológicos; b) contagem dos frutos por idade; c) matéria seca, separando as diferentes partes de desenvolvimento da planta; d) dados de matéria seca acumulada em frutos individuais, até a maturação e; e) tempo de desenvolvimento, expresso em graus dias ($^{\circ}D$). Os pecíolos foram incluídos como matéria seca do caule, e a matéria seca das radículas não foi considerada, já que muitas foram perdidas durante a retirada das amostras. Quatro plantas foram coletadas ao acaso, em dias alternados, durante todo o ciclo da cultura, de cada parcela. As plantas foram selecionadas somente dentro de um metro linear que continha exatamente seis plantas. Os frutos foram categorizados como botões florais; e as maçãs, como pequenas, grandes e abertas. As partes das plantas foram separadas em folhas, caule, raízes e frutos e secadas em estufa a 60°C, durante quatro dias e, posteriormente, pesadas. Os dados foram usados para testar o modelo, e somente aqueles do início do ciclo da Parcela 1 foram usados para estimar o tempo de formação do primeiro ramo frutífero, proporções de folhas, e caule + raízes (C + R).

Um experimento à parte foi usado para estimar o tempo de desenvolvimento dos frutos. E 700 flores brancas foram isoladas e marcadas no mesmo dia, dez delas coletadas em dias alternados, até todas atingirem a maturação; as amostras de dias alternados foram secadas em estufa a 60°C, e pesadas. Estes dados foram usados para estimar as taxas de crescimento e envelhecimento das maçãs.

A área foliar foi determinada usando-se medidas de área tomadas através de um medidor de área automático, fotoeletrônico (Modelo ACC-400 Hayashi Denkoh, CO., Japão). Dados climáticos diários, incluindo temperaturas máxima e mínima e radiação solar ($\text{cal}/\text{cm}^2/\text{dia}$), foram obtidos na Estação Meteorológica do IAPAR Londrina, e usados para orientar o modelo. Os graus dias ($^{\circ}D$ = tempo fisiológico) foram computados usando o método de Frazer & Gilbert (1976), de fácil utilização em

programas de computadores, considerando-se a temperatura base de 12°C, temperatura esta que também foi usada por Gutierrez et al. (1975). Os dados são apresentados em dias do ano; no entanto, os dados são computados, no modelo, em graus dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vários critérios foram usados para testar o modelo. Dentre estes critérios temos a fenologia de crescimento da cultura, o padrão e a magnitude do crescimento, e o desenvolvimento das diferentes partes da planta.

Parâmetros de crescimento da planta (vide Tabela 1)

Índice de área foliar (IAF) - A relação entre a área foliar (cm²) e a matéria seca (g) da folha é mostrada na Fig. 3 ($r^2 = 0,98$, 51 graus de liberdade). A

reta de regressão deve passar pela origem dos eixos, visto que massa foliar zero deve ser proveniente de área foliar zero. A IAF foi computada no modelo como segue:

IAF (t) = área foliar em t/área ocupada pela planta.

Tempo (t) no modelo em graus dia (°D). As estimativas de IAF no modelo são usadas para computar a percentagem de luz incidente absorvida pela planta na produção de produtos da fotossíntese (para maior informação, vide Duncan et al. 1971).

Relação da matéria seca acumulada pelas diferentes partes da planta - A matéria seca, como produto da fotossíntese, é produzida nas folhas e alocada nas próprias folhas, no caule, na raiz e no crescimento do fruto, de acordo com o esquema da prioridade apresentado por Gutierrez et al. (1975) e Wang

TABELA 1. Parâmetros da variedade de algodão IAC 17.

1. Tempo de desenvolvimento médio	Taxa de crescimento
A. Botão floral (472 °D)	0,000684 g/°D
B. Flor (30 °D)	0,000684 g/°D
C. Maçã (550 °D)	0,01445 g/°D
2. Nós do primeiro ramo frutífero (PRF) para 6 plantas/m ² é 8,5, ao passo que o tempo (t) desde a germinação da semente é de 415 °D = t _{PRF}	
3. Idade dos frutos que podem cair (shedding)	Graus de estresse*
A. Botões (0 - 75 °D)	S/D < 1
B. Maças (500 - 600 °D)	S/D < 0,5
4. Taxa de produção de gemas frutíferas (T _G) por planta por °D	
T _G = (1,8 exp (-2,143 - 0,01062 densidade)/°D (S/D), onde S/D ∈ [0,1]	
5. Taxas de crescimento vegetativo	
T _{FL} = Taxa de crescimento da folha	1,3 (exp (-1,93 + 0,0054 Δt) exp (0,0054/Δt) - 1), para t < t _{PRF} **
T _C = Taxa de crescimento do caule	0,0085 Δt (4,87 - 1,487 - 1,476 log _e densidade, para t _{PRF} < t
	0,8 (exp (-1,55 + 0,0061 Δt) exp (0,0061 Δt) - 1), para t < t _{PRF}
	1,65 T _{FL} (t > t _{PRF})
Taxa de crescimento da raiz T _R	= 0,1 T _C

* S/D = proporção do suprimento/demanda do produto de fotossíntese.

** as taxas de crescimento mudam porque a planta inicia posteriormente, por exemplo a formação de novos ramos.

et al. (1977), segundo os quais havendo nutrientes suficientes, estes serão distribuídos na seguinte ordem de prioridade: 1) os custos metabólicos associados com a obtenção e manutenção de produtos de fotossíntese; 2) os custos de respiração e o crescimento de alguns ou de todos os frutos; 3) no caso de existirem ainda nutrientes no reservatório, poderá ocorrer crescimento vegetativo de folhas, raízes e caules; e 4) nutrientes para reserva (para maiores esclarecimentos vide o apêndice, Fig. 11). A Fig. 4 mostra que, durante os primeiros 55 dias após emergência, a matéria seca foi distribuída igualmente para folhas, caule + raiz, porém, posteriormente, a acumulação sofreu incrementos a uma taxa maior no caule + raiz. O aparente aumento na taxa de acúmulo de matéria seca no caule + raiz após 55 dias poderia ser atribuído, em

parte, à perda de folhas pela cultura, como também pelo fato de a planta estar produzindo ramos laterais após 30 dias, como consequência do aparecimento do primeiro ramo frutífero. Com o andamento do desenvolvimento da planta, a perda de folhas se acelera, e no entanto, caule e raiz ficam lenhosos. Os pecíolos podem, ou não, desprender-se com as folhas. A média de longevidade da folha foi de 700 °D.

A acumulação de matéria seca nos frutos é comparada à de folhas + caule + raiz (Fig. 5) e mostra claramente a mudança em alocação de matéria seca. No modelo, considerar os frutos por idade é muito importante, porque a população de maçãs imaturas pode requerer de 10 até 16 vezes mais quantidade de produtos de fotossíntese que o mesmo número de botões florais, tal como foi mostra-

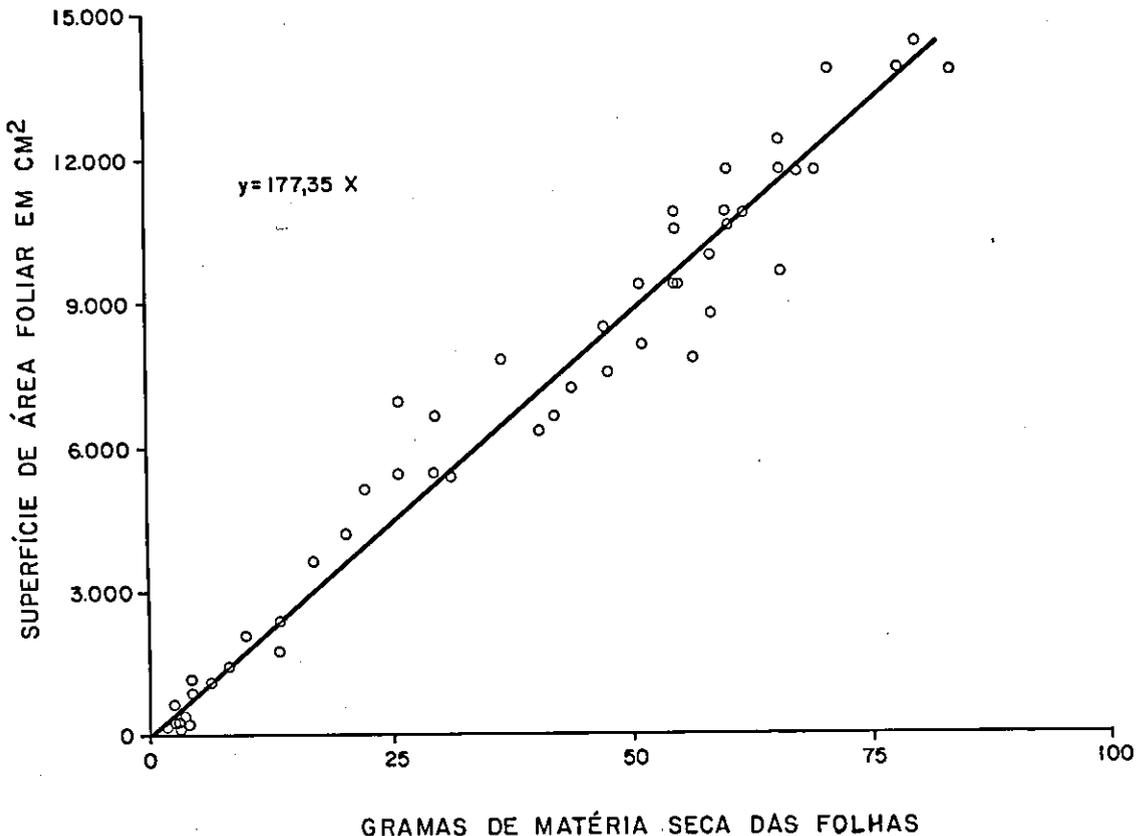


FIG. 3. Relação entre área foliar e peso seco das folhas (-pecíolo) da variedade de algodão IAC-17, Londrina, PR, 1982/83.

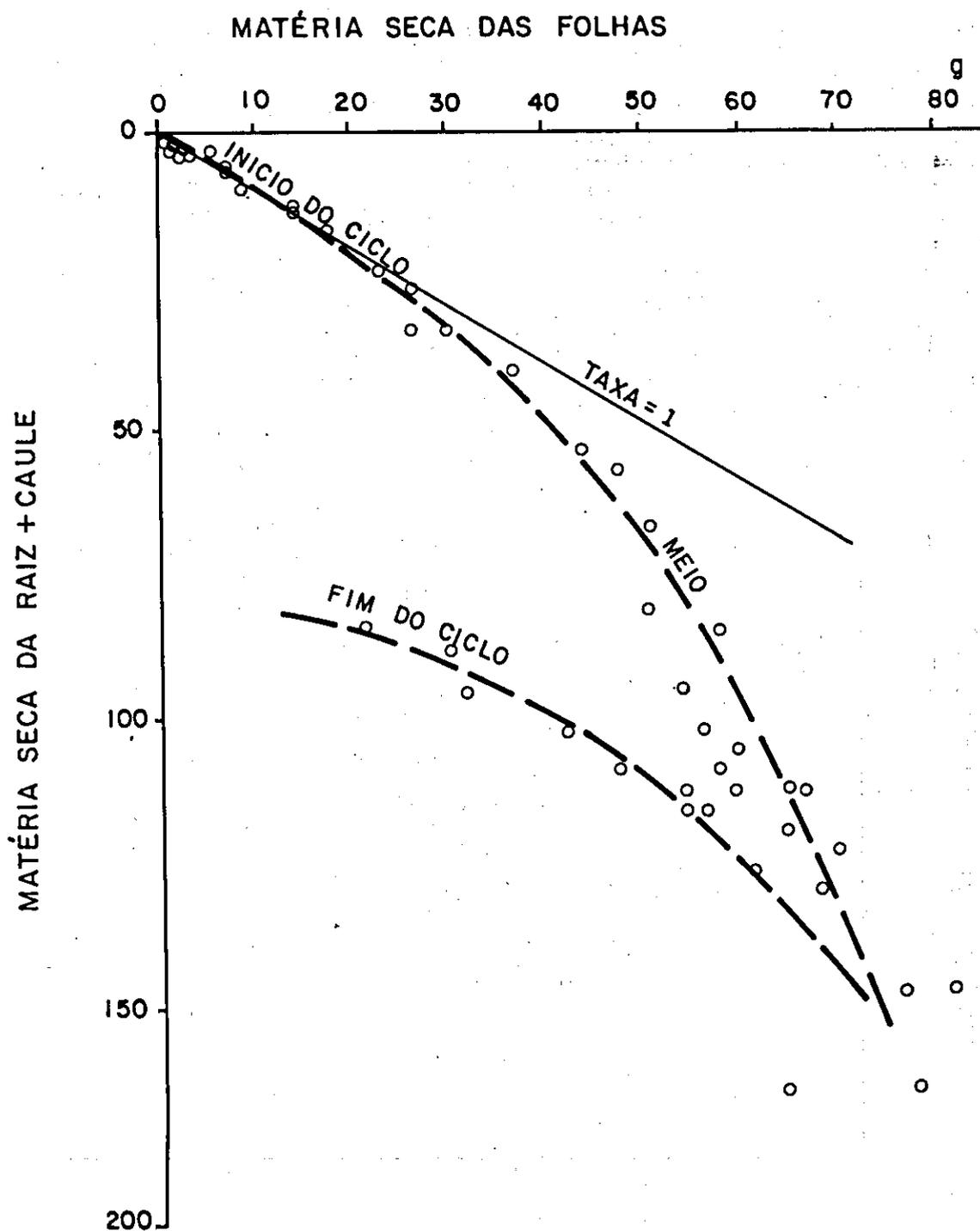


FIG. 4. Alocação de matéria seca nas folhas comparada com a matéria seca alocada no caule + raiz por 4 plantas, durante o ciclo (Parcela 1).

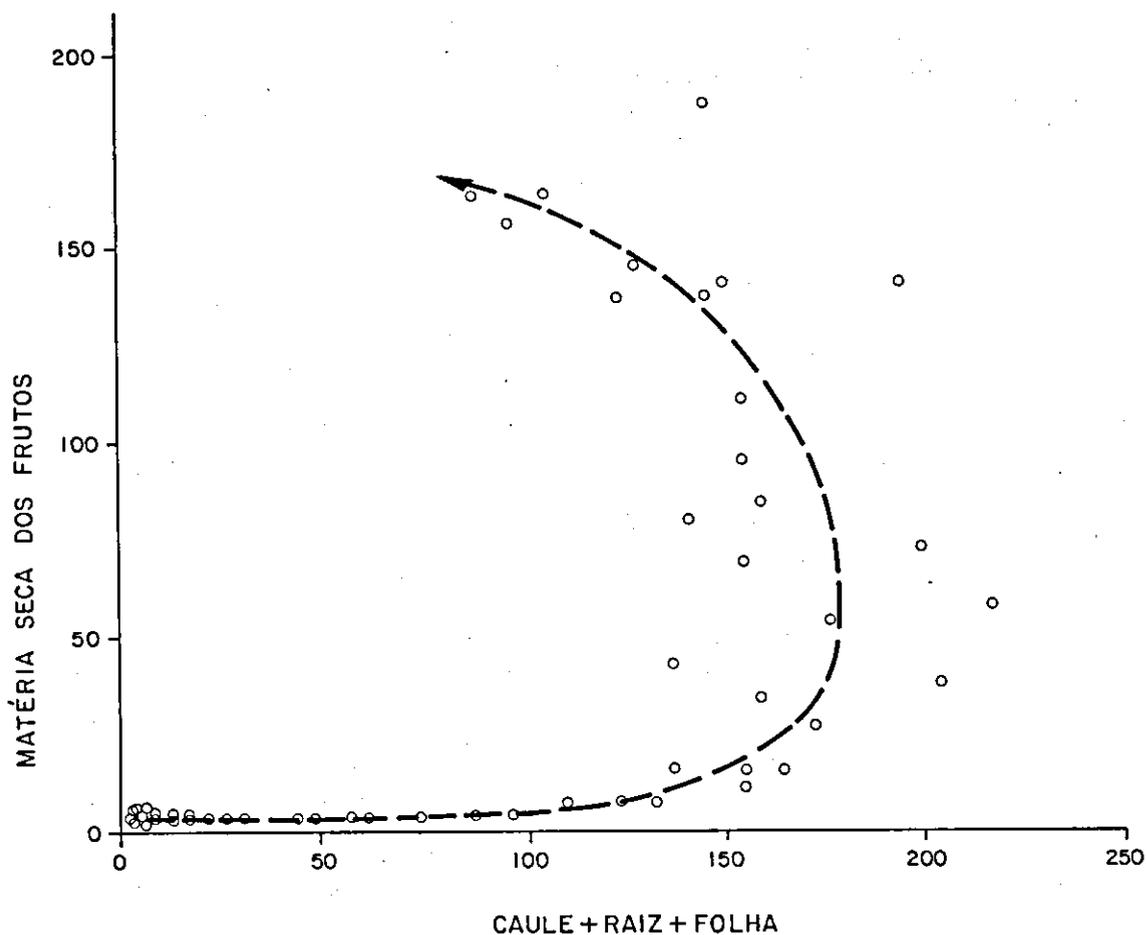


FIG. 5. A alocação de matéria seca nos frutos e no caule + raiz + folhas por 4 plantas da variedade IAC-17, através do ciclo da cultura (Parcela 1).

do por Gutierrez et al. (1975). A interrelação entre o suprimento de produtos fotossintetizados e a demanda para o crescimento e respiração por todas as partes da planta controla todas as taxas de crescimento, o desenvolvimento fenológico, e a queda de frutos de determinada idade induzida pelo estresse de carboidratos. Portanto, se a maioria dos frutos está no estágio de maçã, a demanda é quase sempre maior que o suprimento, reduzindo o crescimento vegetativo, como seria o caso de reduzir a matéria seca acumulada em folhas, caules e raiz, produção de novos botões florais, entrenós no caule principal, e queda de pequenos botões florais (menores de 10 dias de idade). Se o estresse é

severo, será suficiente para produzir a queda de maçãs pequenas (com menos de 10 dias de idade). O tempo de desenvolvimento médio de botões florais e maçãs foi de 472 e 55 °D, respectivamente. O padrão médio da matéria seca acumulada desde a fecundação até a maturação das maçãs da variedade IAC-17 é mostrado na Fig. 6. O tamanho das maçãs de IAC-17 é ligeiramente menor que as maçãs de ACALA SJ II, variedade de algodão cultivada na Califórnia.

Outros parâmetros - O momento do aparecimento do primeiro ramo frutífero (t_{PRF}) foi estimado como o intervalo desde a germinação até a formação do primeiro botão floral (415 °D). A taxa de

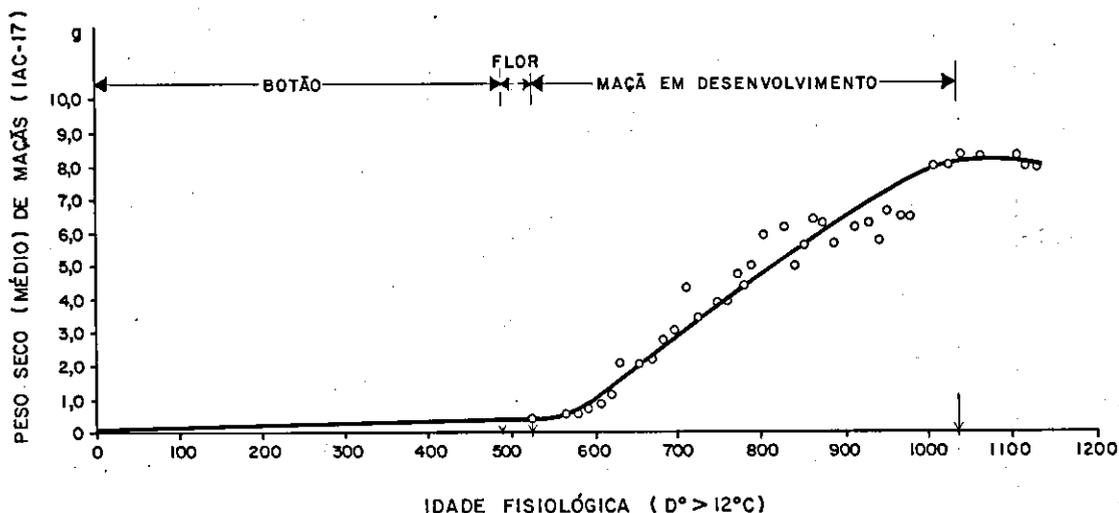


FIG. 6. O padrão médio de matéria seca acumulada em maçãs (marcadas) variedade IAC-17 em função do tempo fisiológico ($D^{\circ} > 12^{\circ}C$).

produção de gemas frutíferas é a mesma que a observada para a variedade ACALA SJ II, assim como os efeitos de densidade-dependente (plantas por metro linear) sobre as taxas de crescimento das folhas, caules e raiz e produção de gemas florais e o tempo para o aparecimento do primeiro ramo frutífero são os mesmos reportados por Gutierrez et al. (1975). A produção foi estimada assumindo que 34% da matéria seca de suas "maçãs" se torna semente de algodão, sendo a produção expressa em fardos de 480 lb.

Dados de campo - Os dados obtidos nas duas parcelas referentes à matéria seca acumulada em gramas por amostra de quatro plantas, de folha (A), caule + raiz (B) e frutos (C) está representado na Fig. 7, e o padrão numérico de botões (A), maçãs (B), e maçãs abertas (C), na Fig. 8. Os padrões são similares em ambas as parcelas, porém na parcela 2 apresenta valores mais altos para todas as categorias, exceto para o número de maçãs maduras abertas. Os dados de campo têm vários fatores não controláveis, que, conseqüentemente, incrementam a variância, tais como: as diferenças entre o espaçamento entre plantas — que sempre existem, apesar de se tentar obter um espaçamento uniforme —, as diferenças causadas pela competição entre plantas por causa do espaçamento, as peque-

nas diferenças nas épocas de emergência das plantas, e um ou outro de amostragem. No entanto, têm sido amostradas plantas selecionadas somente dentro de um metro linear que continha exatamente seis plantas. É possível que a maioria das constantes diferenças entre as parcelas 1 e 2 sejam devidas à estrutura do solo. O solo da parcela 2 era melhor estruturado pelo fato de ele ter sido utilizado para produção de adubo verde por três anos consecutivos e ter sofrido pouca movimentação provocada por implementos agrícolas. Operações de preparo do solo realizadas na parcela 1 resultaram em taxas de crescimento diferentes. Os efeitos dos nutrientes do solo no crescimento e desenvolvimento das plantas não foram incluídos em nossos modelos; mas, a despeito desta falha, o modelo de simulação retrata muito bem todos os aspectos dos dados de campo. Os resultados de simulação devem ser considerados valores médios, porque só a variância associada com o envelhecimento foi controlada.

Influência das condições meteorológicas no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro - A condição climática que ocorreu durante a condução do experimento (1982-83) em Londrina, PR, é mostrada na Fig. 9. As temperaturas aumentaram vagarosamente do

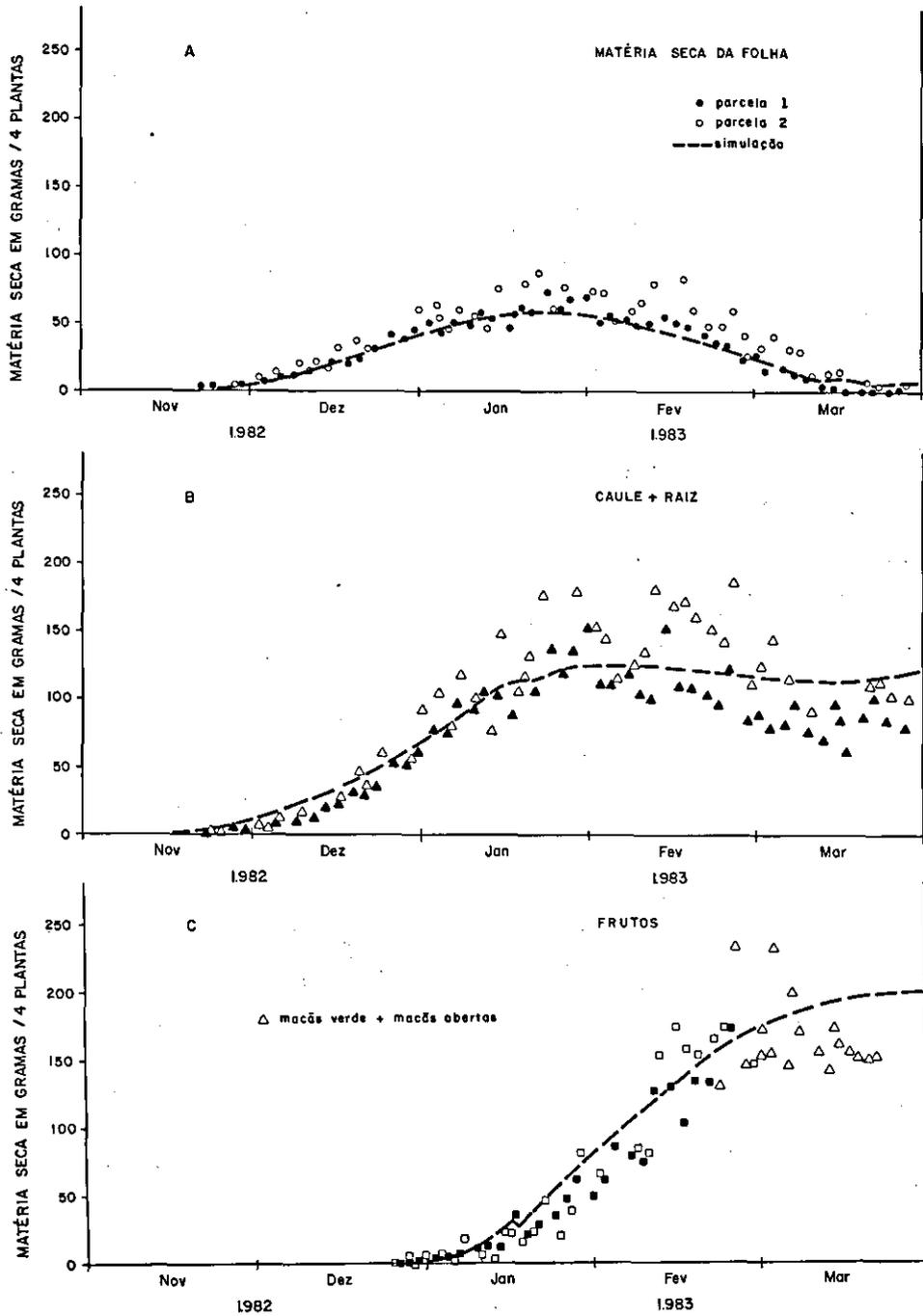


FIG. 7. Matéria seca acumulada observada e simulada no algodoeiro A, folhas B, caule + raiz e C, frutos durante 1982-83 em Londrina, PR.

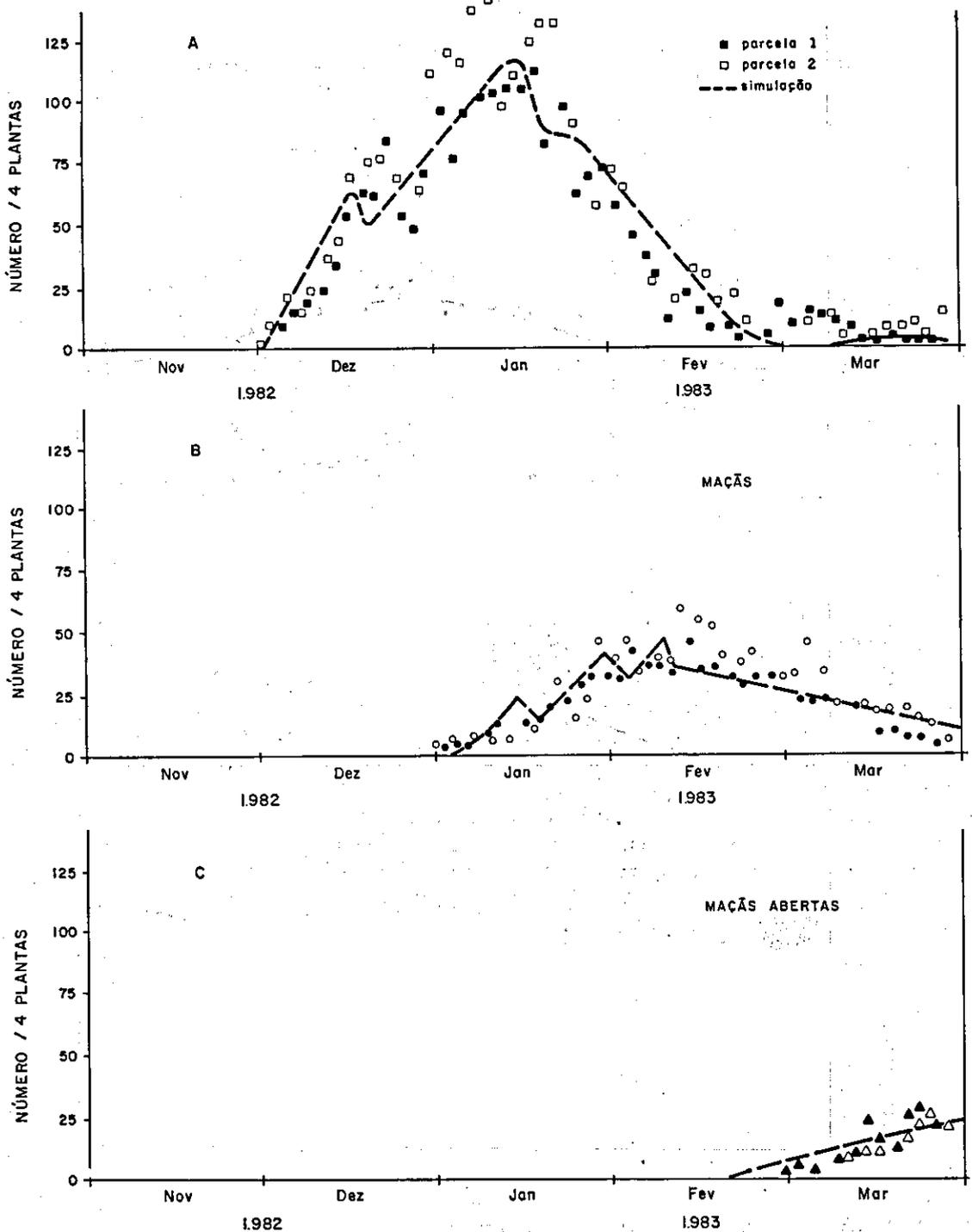


FIG. 8. Número observado e simulado de diferentes partes do algodoeiro: (A) botões; (B) maçãs; (C) maçãs abertas, durante 1982-83 em Londrina, PR.

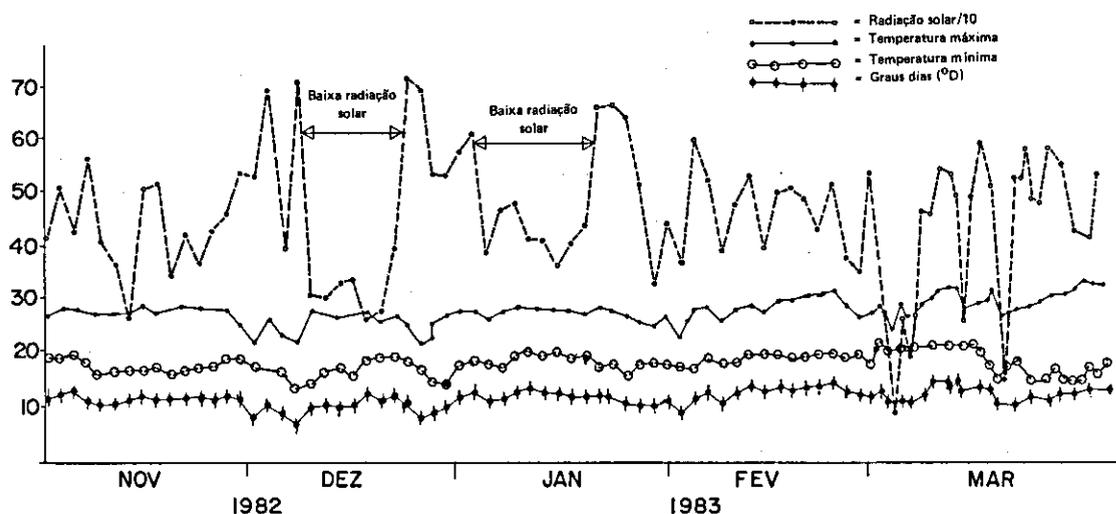


FIG. 9. Distribuição diária de radiação solar ($\times 10^{-1}$), temperatura máxima e mínima observadas durante o ciclo do algodoeiro em Londrina, PR, 1982-83.

início até a metade do ciclo, com pequenas variações. Os efeitos da temperatura sobre a planta são melhor ilustrados pela transformação diária da temperatura em graus dias. Em contraste, o padrão de radiação solar é bastante inconstante em período de poucos dias; cai bastante (dezembro e janeiro), por causa da presença de dias nublados e frequentes chuvas que ocorrem durante todo o ciclo. Esta inconstância da radiação solar afeta a produção de produtos de fotossíntese (suprimento), e as temperaturas estão mais ligadas à demanda para crescimento, reprodução e respiração. Por tal razão, a proporção suprimento/demanda é bastante influenciada pelo clima. Ao nível da planta, um estresse de carboidratos pode ocorrer rapidamente, durante períodos de baixa radiação solar, especialmente durante o período de maturação das maçãs associado a temperaturas consistentemente altas. No presente caso, a queda de botões florais (Fig. 8A) é prognosticada pelo modelo durante períodos de baixa radiação solar (Fig. 9) e é observada no campo com um retardamento em fins de dezembro e meados de janeiro (Fig. 8A, 8B). O modelo está em harmonia com os dados de campo, quanto ao crescimento e desenvolvimento, ajustando-se com os dados da parcela 1, por serem os dados que originaram os parâmetros do modelo.

O modelo é útil para examinar os efeitos dos fatores climáticos sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura. Por exemplo, se reduzirmos em 10% a temperatura observada em todo o ciclo (1982-1983), o ciclo da cultura é prolongado, e o total de matéria seca no fruto maduro será reduzido em aproximadamente 40%; e se incrementarmos a temperatura em 10%, o rendimento aumentará somente 1%. No primeiro caso, a diminuição da temperatura encurta o ciclo, reduzindo-se o tempo para a planta compensar (S/D), e leva a faixa de baixa radiação solar (Fig. 9) a um período não favorável para o desenvolvimento da planta, provocando um período de formação de botões florais mais cedo. No segundo caso, os custos de respiração são bem altos; esta alta respiração é compensada com o deslocamento do padrão de formação de partes frutíferas mais cedo no ciclo e também fazendo o ciclo mais longo em termos de dias.

Retirando as mudanças bruscas do padrão de radiação solar com uma média para cada cinco dias, a forma da curva de frutificação é alterada, causando um pico de botões florais bem cedo no ciclo, porém isto tem pouca influência nos rendimentos.

Efeitos na densidade das plantas - Os fitotecnistas

conhecem há muito tempo a importância da densidade de plantio na produção de uma cultura, razão pela qual realizam ensaios de campo para determinar a densidade ótima de plantas por hectare de uma variedade. Os efeitos de densidade-dependente estão incorporados no modelo; por esta razão, pode-se usar o modelo para fazer experimentos de simulação com o fim de determinar a densidade ótima, usando o clima do ciclo correspondente a 1982-83. A Fig. 10 mostra os resultados da simulação executada, e os resultados sugerem que dez plantas por metro linear seria a densidade ótima de plantas para esta variedade, nas condições da safra 1982-83, e não a densidade de seis plantas por metro linear que foi usada nos ensaios de campo. Porém, pode-se dizer que os resultados dos ensaios de campo e do modelo são influenciados pelo padrão climático; por tal razão, se se utilizarem as condições meteorológicas de outro ano, os resultados podem ser diferentes. Por esta razão, agrônomos simulam experimentos de densidade em vários anos. A vantagem de validar o modelo é que os ensaios podem ser realizados mais rapidamente e com um nível maior de precisão e com custo mínimo, utilizando a simulação. Os resultados, porém, necessitam ser simulados paralelamente com ensaios de campo, para se ter certeza de que os dados reais se ajustam aos dados simulados. Em síntese, a simulação pode ser usada para desenvolver uma razoável orientação sobre o que está realmente acontecendo no campo, da mesma forma que os ensaios de campo não podem ser extrapolados diretamente de um ano para outro ou para outras localidades.

O modelo do algodoeiro aqui descrito representa um avanço técnico considerável sobre modelos do algodoeiro anteriores, já que retrata os dados de campo com um alto grau de fidelidade. Porém, necessita, ainda, dentre outras coisas, incorporar informações sobre o uso da água e do nitrogênio pela cultura, para ser capaz de representar as diferenças observadas nas duas parcelas experimentais aqui relatadas. Não obstante existirem tais deficiências, o modelo tem considerável utilidade para examinar de forma mais realística o crescimento e o desenvolvimento da cultura e os problemas causados pelas pragas.

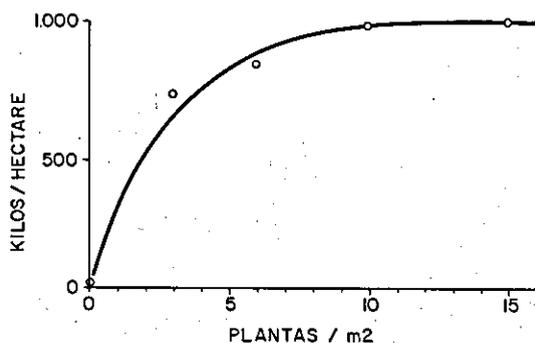


FIG. 10. Produção simulada de algodão com diferentes densidades de plantas/m², usando dados climáticos de 1982-83 para Londrina, PR.

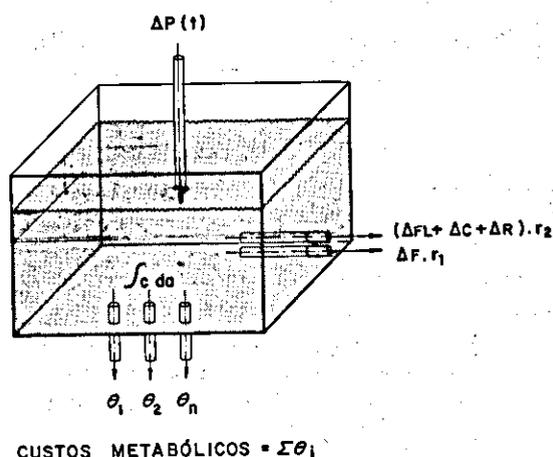


FIG. 11. Esquema de prioridades na alocação de carboidratos (= matéria seca) para o crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. (Tomado de Wang et al. 1977).

REFERÊNCIAS

- BLEICHER, E.; SILVA, A.L. da; SANTOS, W.J. dos; GRAVENA, S.; NAKANO, O. & FERREIRA, L. Manual de manejo integrado das pragas do algodoeiro. Campina Grande, EMBRAPA-CNPA, 1981.
- BOSCH, R. van den. The pesticide conspiracy. New York, Doubleday, 1978. 223p.
- DUNCAN, W.G. Simcot, a simulator of cotton growth and yield. In: WORKSHOP ON TREE GROWTH DYNAMICS AND MODELING, 1971. Proceedings... s.l., Duke Univ., 1971. p.115-8.

- DUNCAN, W.G.; BAKER, D.N. & HESKETH, J.D. Simulation of growth and yield in cotton. III. A computer analysis of the nutritional theory. In: BELTWISE COTTON PROD. RES. CONF., 1971. Proceedings. . . s.l., s.ed., 1971. p.78.
- FOERSTER, H. von. Some remarks on changing populations. In: STOHLMAN JUNIOR, F., ed. The kinetics of cellular proliferation. New York, Grune & Stratton, 1959.
- FRAZER, B.D. & GILBERT, N.E. Coccinellids and aphids, a qualitative study of the impact of adult lady birds (*Coleoptera: Coccinellidae*) preying on field populations of pea aphids (*Homoptera: Aphididae*). *J. Entomol. Soc. B.C.*, 73:33-56, 1976.
- GETZ, W.M. & GUTIERREZ, A.P. A perspective on systems analysis in crop production and insect pest management. *Annu. Rev. Entomol.*, 27:447-66, 1982.
- GUTIERREZ, A.P.; BUTLER JUNIOR, G.D.; WANG, Y. & WESTPHAL, D. The interaction of pink bollworm (*Lepidoptera: Gelechiidae*), cotton and weather; a detailed model. *Can. Entomol.*, 109:1457-68, 1977.
- GUTIERREZ, A.P.; FALCON, L.A.; LOEW, P.A.; LEIPZIG, P.A. & BOSH, R. van den. An analysis of cotton production in California; a model for Acala cotton and the effects of defoliators on its yields. *Environ. Entomol.*, 4:125-36, 1975.
- GUTIERREZ, A.P.; PIZZAMIGLIO, M.A.; SANTOS, W. J.; TENNEYSON, R. & VILLACORTA, A. A general distributed delay time varying life talbe plant population model; cotton (*Gossypium hirsutum* L.) growth and development as an example. *Ecol. Model.*, 26, 1984.
- HUFFAKER, C.B., ed. New technology of pest control. New York, J. Wiley & Sons, 1980. 500p.
- LESLIE, P.H. On the uses of matrices in certain population mathematics. *Biometrika*, 33:183-212, 1945.
- MCKINION, J.M.; JONES, J.W. & HESKETH, J.D. Analysis of simcot; photosynthesis and growth. In: BELTWISE COTTON PROD. RES. CONF. Proceedings. . . Memphis, s.ed., 1974. p.116-24.
- SMITH, R.F. & FALCON, L.A. Insect control for cotton in California. *Cotton Grow. Rev.*, 50:15-27, 1973.
- STAPLETON, H.N. & MEYERS, R.P. Modeling subsystems for cotton; the cotton plant simulation. *Trans. ASAE.*, 14:950-3, 1971.
- STAPLETON, H.N.; BUXTON, D.R.; WATSON, F.L.; NOLTING, D.L. & BAKER, D.N. Cotton; a computer simulation of cotton growth. *Ariz. Agric. Exp. Stn. Tech. Bull.*, (206), 1973.
- WANG, Y.; GUTIERREZ, A.P. & OSTER, G. A population model for plant growth and development coupling cotton - herbivore interactions. *Can. Entomol.*, 109:1359-74, 1977.
- WILSON, A.G.; HUGHES, R.D. & GILBERT, N. The response of cotton to pest attack. *Bull. Entomol. Res.*, 61:405-14, 1972.

APÊNDICE

Produção fotossintética

Produção fotossintética diária (P) no modelo a tempo $t (= {}^0D)$ é computado na mesma forma como foi descrito por McKinion et al. (1974).

Fotossíntese = P (t) é computada através dos seguintes parâmetros:

L = massa folia

a = idade da massa foliar

K = uma função que depende da idade da folha até que a mesma alcance a máxima eficiência fotossintética.

ϕ = efeito do sombreamento na planta em relação ao aumento no tamanho da mesma, $0 < \phi < 1$.

W = radiação solar em watt (W = radiação solar . 0,8942)

A computação de P(t) tem, essencialmente, dois passos:

- 1 - Estimar o crescimento da planta que é expresso no modelo como matéria seca (massa), a qual deverá ser convertida para área foliar (AFL); como isto determina-se a quantidade de W que é absorvida.

$$1110$$

$$AFL(t) = 1,2 \cdot \int_0^t K(a) \cdot L(t,a) \partial a$$

onde 1,2 = é uma constante ajustada que relaciona massa foliar (g) com área foliar (dm^2)

$$\phi(t) = 1 - 0,075 \cdot AFL(t - \Delta t), e \\ . 25 < \phi(t) < 1$$

$$K(a) = \begin{cases} 1 & \\ 1 - \exp(-7,9238 + 0,0095 \cdot (a - 555)) & 0 < a < 555 \\ 555 < a < 1110 & \end{cases}$$

- 2 - Estimar P(t) radiação solar (W) observada, ou pela estimativa de W que incide sobre a superfície foliar (AFL); isto foi esti-

mado usando métodos do quadrado mínimo (veja McKinion 1974), sendo que:

$$\hat{P}(t) = (2,3908 \cdot 10^{-3} + 1,37379 \cdot 10^{-3} \cdot W - 5,4139 \cdot 10^{-7} \cdot W^2).$$

$P(t)$ = produto de fotossíntese produzida por dm^2

$$P(t) = \hat{P}(t) \cdot AFL$$

$P(t)$ = produto de fotossíntese total produzida pela população de plantas.

Computação para a prioridade de alocação de carboidratos

Em determinados momentos, o conjunto de produtos da fotossíntese poderá não ser capaz de suprir a demanda de carboidratos. Em vista deste fenômeno, o sistema de controle fisiológico da planta estabelece uma escala de prioridades para a alocação. Este esquema de prioridades é mostrado esquematicamente na Fig. 11. As funções de demanda d_i , na equação balanceada:

$$dQ/dt = [\text{taxa de fotossíntese das folhas}] - [\text{taxas de respiração e crescimento dos tecidos da planta}]$$

Quando existe disponibilidade de carboidratos onde (S) = a demanda (D), a equação acima pode ser escrita como:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dP(t)}{dt} - \sum_{i=1}^7 d_i(t), \text{ ou também:}$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dS(t)}{dt} - \frac{dD(t)}{dt}$$

Na equação acima, a demanda pelo conjunto de carboidratos é dividida em três grupos. A primeira prioridade é suprir a demanda de carboidratos necessários para a respiração da planta. As funções desta primeira prioridade são d_1 (custo para colocar em operação a fotossíntese), d_2 (respiração para manutenção) e d_3 (respiração causada pela luz). O suprimento de produtos de fotossíntese após sa-

tisfeita a primeira prioridade - $dP(t)/dt - \sum_{i=1}^3 d_i = E$,

ficou disponível para crescimento do fruto, folhas e caules e raízes, sendo que o crescimento dos frutos é prioritário. A função $d_4 = EH(E) - E - d_4$. $H(E - d_4)$ desvia todo o excesso do fluxo de produtos de fotossíntese para o crescimento dos frutos, até que seja alcançado certo nível da taxa do fluxo, a qual é a taxa máxima que o fruto pode crescer. A primeira prioridade na relação suprimento/demanda (S/D), n_1 , é neste caso, igual a d_4/d_4 . Se o excesso E for maior que d_4 , o produto da fotossíntese será desviado para o crescimento das folhas, caule e raízes. Uma vez que folha, caule e raiz apresentam aproximadamente a mesma prioridade, o conjunto destas demandas por produtos da fotossíntese pode ser expresso como uma única demanda, através da equação - $\sum_{i=1}^7 d_i = d$.

Quando o valor de d na função:

$$d = (E - d_4) H(E - d_4) - (E - [d_4 + d]) H(E - [d_4 + d])$$

for maior que d_4 , o produto da fotossíntese será desviado para as folhas, caules e raízes, os quais apresentam uma taxa máxima para utilização de produtos da fotossíntese que caracterizamos como d .

A segunda prioridade (n_2), na relação suprimento/demanda (S/D), será, neste caso, d/d .

Em outras palavras, temos:

$$n_1 = \begin{cases} 0 & E < 0 \\ E/d_4 & 0 < E < d_4 \\ 1 & E > d_4 \end{cases}$$

$$= 1/d_4 \cdot [EH(E) - (E - d_4) H(E - d_4)]$$

$$n_2 = \begin{cases} 0 & E < d_4 \\ (E - d_4)/d & d_4 < E < (d + d_4) \\ 1 & E > (d + d_4) \end{cases}$$

$$= 1/d \cdot [(E - d_4) H(E - d_4) - E \cdot (d_4 + d) H(E - d_4 + d)]$$