1. Publicação nº	2. Versão	3. Data	5. Distribuição
INPE-3404-PRE/673		*Fev., 1985*	☐ Interna ☒ Externa
4. Origem *DSR*	Programa *SAFRAS*		☐ Restrita

6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es)
SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO ÀS CULTURAS AGRÍCOLAS
ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA
MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE

7. C.D.U.: *528.711.7:551.5:632*

8. Título *INPE-3404-PRE/673*

O PAPEL DA METEOROLOGIA NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS: UMA VISÃO AGRONÔMICA

10. Páginas: *15*

11. Última página: *14*

12. Revisada por

Ângela M. de Lima
Ângela Maria de Lima

9. Autoria *Getulio T. Batista*

Assinatura responsável

13. Autorizada por

Parada
Nelson de Jesus Parada
Diretor Geral

14. Resumo/Notas

Esta apresentação envolve uma discussão sobre os efeitos de variáveis ambientais específicas nos diversos processos de desenvolvimento da planta, dentro do contexto de sistemas diagnósticos da produção agrícola. Uma visão da planta de forma compartimentar, útil para modelos de simulação do crescimento, é proposta como referencial ao desenvolvimento de pesquisas na área de Fisiologia Vegetal e da Agrometeorologia. A utilização de dados espectrais incorporados a modelos agrometeorológicos e, especialmente, a recente experiência do INPE neste setor é apresentada e discutida como uma proposta de abordagem para futuros modelos de estimativa da produtividade agrícola. Características essenciais ao processo de diagnose da produção agrícola são discutidas e uma proposta conceitual de um modelo completo da estimativa de produção é apresentada. Finalmente, são feitas as considerações de que sistemas de previsão de safras devem ser baseados em fontes alternativas de dados (exemplo: satélite e campo) e que o erro amostral de sistemas amostrais (estratificação) justifica o ganho, em termos de custo.

15. Observações
Palestra proferida no III Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belo Horizonte (MG), 03 a 07 de dezembro de 1984.

O PAPEL DA METEOROLOGIA NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS: UMA VISÃO AGRONÔMICA

Getulio T. Batista

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico - CNPq
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos - SP

RESUMO

Esta apresentação envolve uma discussão sobre os efeitos de variáveis ambientais específicas nos diversos processos de desenvolvimento da planta, dentro do contexto de sistemas diagnósticos da produção agrícola. Uma visão da planta de forma compartimentar, útil para modelos de simulação do crescimento, é proposta como referencial ao desenvolvimento de pesquisas na área de Fisiologia Vegetal e da Agrometeorologia. A utilização de dados espectrais incorporados a modelos agrometeorológicos e, especialmente, a recente experiência do INPE neste setor é apresentada e discutida como uma proposta de abordagem para futuros modelos de estimativa de produtividade agrícola. Características essenciais ao processo de diagnose da produção agrícola são discutidas e uma proposta conceitual de um modelo completo da estimativa de produção é apresentada. Finalmente, são feitas as considerações de que sistemas de previsão de safras devem ser baseados em fontes alternativas de dados (exemplo: satélite e campo) e que o erro amostral de sistemas amostrais (estratificação) justifica o ganho, em termos de custo.

INTRODUÇÃO

A planta é ar. Embora ainda hoje esta sentença possa causar algum espanto, ela certamente teria um grande impacto no período de 1630 a 1750, considerado o período da busca do "princípio da vegetação". Russel (1973) apresenta alguns fatos históricos referentes a este período, os quais merecem referência dentro do contexto do papel da atmosfera no desenvolvimento da planta.

O Físico-químico Jan Baptiste van Helmont, (1577-1644), foi responsável pelo clássico experimento de Bruxelas, no qual colocou 200 libras de solo seco (em estufa) num vaso onde plantou uma muda de salgueiro que pesava 5 libras. Cinco anos depois de manter a planta adequadamente irrigada, ele pesou novamente o solo (seco em estufa) e verificou que este pesava 200 libras menos cerca de duas onças, enquanto a parte vegetativa do salgueiro pesava 169 libras. Assim, concluiu que 164 (169-5) libras foram originadas da água usada na irrigação do vaso e, portanto, a água era o princípio da vegetação.

O erro de van Helmont e de outros que o seguiram foi desprezar o papel do ar e das duas onças de solo faltantes.

Vários experimentos foram realizados posteriormente e concluiu-se que a água, ou o nitrato de potássio, ou as partículas do solo, era o princípio da vegetação.

Só mais tarde, no período entre 1750 e 1800, caracterizado pela procura dos nutrientes da planta, é que o papel da atmosfera no desenvolvimento da planta começou a ser identificado. O inglês Francis Home, por volta de 1775, editou um livro no qual defendia que o princípio da vegetação não era único e mostrava que o ar, a água, a terra, os sais, o óleo e o fósforo, conjuntamente, formavam o princípio de vegetação.

Jean Senebier, (1742-1809), filósofo e historiador suíço, observou que as plantas eram capazes de purificar o ar durante o dia e argumentou que o peso ganho pela árvore de salgueiro no experimento de van Helmont era resultante da fixação do ar. Assim, ficou definitivamente evidenciado o papel da atmosfera na própria constituição da planta.

Por volta de 1804, Theodore de Saussure demonstrou em Genebra que a planta absorve oxigênio e libera gás carbônico (processo de respiração). Em adição, mostrou que a planta absorve gás carbônico e libera oxigênio na presença da luz. Na ausência de gás carbônico a planta morre. O solo fornece apenas uma pequena quantidade dos nutrientes requeridos e o carbono das plantas é derivado do ar. Anos depois, Justus von Liebig, (1803-1873), químico alemão, considerado o "pai" da Química Agrícola, confirmou que a maior parte do carbono da constituição das plantas vem do CO_2 da atmosfera e que o hidrogênio e o oxigênio vêm da água.

Embora a participação da atmosfera na própria constituição da planta tenha sido identificada no início do século XIX, o entendimento de como variáveis ambientais específicas afetam os diversos processos de desenvolvimento da planta e de como estas variáveis se interagem tem um longo processo de investigação a ser levado a cabo.

Nesta apresentação introduz-se uma visualização da planta de forma compartimentar, muito útil para modelos de simulação de crescimento da planta. Apresenta-se um breve descrição dos esforços atuais do INPE para integrar variáveis espectrais em modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade e finalmente, discutem-se os princípios de modelagem visando a previsão ou a estimativa de safras e apresenta-se uma proposta conceitual de um modelo específico.

O FLUXO DE CARBONO NA PLANTA

A Figura 1 mostra de forma esquemática e simplificada os vários compartimentos (C) do sistema vegetativo de uma planta, assim como os vários processos fisiológicos envolvidos, representados

por válvulas reguladoras das taxas destes processos (T). Para simplificar, o sistema reprodutivo foi omitido neste diagrama.

A visualização compartimentar da planta nos seus vários subsistemas é muito útil no desenvolvimento de modelos de simulação de crescimento. Modelos de fluxo, similares ao apresentado na Figura 1, têm sido propostos por vários autores (Holt et alii, 1976; Wit et alii, 1971).

Os seis retângulos apresentados na Figura 1 correspondem aos carboidratos não-estruturais da folha, do caule e da raiz (C(1), C(2), e C(3), respectivamente) e aos tecidos celulares da folha, do caule e da raiz (C(4), C(5), e C(6), respectivamente), os quais incluem todos os constituintes exceto os carboidratos não-estruturais. A troca de materiais entre os compartimentos são representados por linhas sólidas. As setas nestas linhas indicam as possíveis direções do fluxo. As válvulas denominadas translocação (TRANSL.) representam as taxas do fluxo de troca entre os vários compartimentos da planta. As outras válvulas representam os processos fisiológicos que envolvem reações químicas responsáveis pela mudança na categoria dos constituintes.

O carbono é absorvido pela planta através do processo de fixação do CO_2, denominado fotossíntese. O CO_2 é então transformado e passa a constituir o carboidrato não-estrutural das folhas. Na Figura 1 observa-se que este carboidrato pode ser translocado para os caules, ou tornar-se parte integrante do tecido das folhas, ou ainda pode perder-se através da respiração (na Figura 1 foi apresentada apenas a respiração noturna). O carboidrato não-estrutural, uma vez atingindo o caule, pode tornar-se parte do tecido deste, ou perder-se por respiração, ou ser translocado. O carboidrato atingindo as raízes pode ser integrado ao tecido radicular, ou perder-se por respiração, ou prover de forma reversível materiais para a estrutura dos caules e das folhas, assim como servir de fonte de energia para estes subsistemas.

As taxas dos vários processos representados por válvulas na Figura 1 dependem das condições fisiológicas da planta e do ambiente físico no qual ela se desenvolve. A soma e a integração ao longo do tempo, das taxas de fluxo de materiais de um determinado compartimento determina a taxa de crescimento deste, expressa em termos de acumulação (ou perda) de matéria seca. Se todos os compartimentos forem considerados simultaneamente, o resultado será um modelo capaz de simular o crescimento da planta ao longo do seu desenvolvimento.

A visualização da planta de forma compatimentar, essencial para o desenvolvimento de modelos de simulação de crescimento, permite um entendimento claro de como o ambiente, neste caso específico a atmosfera, afeta a planta nos seus diferentes processos

Embora de difícil operacionalização, os modelos de simulação do crescimento são extremamente úteis para o entendimento do efeito específico de determinadas variáveis ambientais em processos de desenvolvimento da planta, assim como de grande valia para a de

finição e indicação de necessidades de pesquisa no setor da Fisiologia Vegetal e Agrometeorologia. Eles são na realidade complementares às outras alternativas mais simples de modelos de estimativa de produtividade (Baier, 1977).

Tendo participado nos últimos anos de vários encontros nacionais, nos quais o assunto estimativa de produtividade era objeto de discussão, julga-se oportuno apresentar a descrição da planta de forma compartimentar, com o objetivo de servir de proposta de pesquisa e referencial para o desenvolvimento de modelos de produtividade, onde as relações de causa-efeito são uma preocupação do modelador.

FATORES QUE AFETAM OS VÁRIOS PROCESSOS DA PLANTA

A título de ilustração, apresenta-se como o SIMED (Modelo de Simulação do Crescimento da Alfafa) calcula as taxas dos diferentes processos fisiológicos da planta, conforme proposição de Holt et alii (1975), com ênfase no efeito das variáveis ambientais.

FOTOSSÍNTESE

A taxa de fotossíntese (FTS), expressa em gramas de carboidrato ($CH_2=0$) por metro quadrado de terra por hora, é dada por:

$$FTS = 0,1 \times P_F \times \frac{I}{1,8} \times M_F \times A_F \times C_F ,$$

onde;

P_F = peso do tecido foliar ($g \cdot m^{-2}$),

I = radiação solar ($cal. \ cm^{-2} \cdot min.^{-1}$),

M_F = fator de maturidade da folha (0,0 - 1,0),

A_F = fator de área foliar (0,0 - 1,0),

C_F = fator de concentração de CH_2O na folha (0,0 - 1,0).

Os valores correspondentes a cada uma das variáveis anteriores são obtidos através da literatura, ou por intuição, ensaio e erro (calibração).

O fator I/1,8 pressupõe que a taxa de fotossíntese seja linearmente proporcional à intensidade da radiação solar em todo o intervalo de radiação existente no campo. Isto parece ser realista para a planta como um todo porque, enquanto as folhas do topo estão saturadas, as folhas mais abaixo, na copa, ainda não estão.

Como pode ser observado, a temperatura não é considerada no SIMED como um fator importante no controle da fotossíntese. De

fato, vários autores mostram que a temperatura entre 5 e 30° C tem pouco efeito na fotossíntese (Murata et alii, 1965; Thomas e Hill, 1949).

Similarmente, o potencial de água na folha também não foi considerado no SIMED como um fator influente na taxa de fotossíntese. Assume-se que o suprimento de água é sempre adequado, o que nem sempre é realístico.

Para o propósito deste trabalho, é importante ressaltar que a radiação solar na fotossíntese interage com outros fatores (efeito multiplicativo), conforme indica a equação anterior, proposta por Holt et alii (1975) para o SIMED.

OUTROS PROCESSOS FISIOLÓGICOS

Diferentemente da fotossíntese, os outros processos (respiração, crescimento e translocação) sofrem influência significativa da temperatura do ar (processos na folha e no caule) e do solo (na raiz). A radiação também afeta o processo de respiração, principalmente nas folhas. A água afeta principalmente os processos de crescimento e de translocação de matéria entre os compartimentos da planta.

A Figura 2 apresenta de forma esquemática o efeito das variáveis ambientais nos vários processos fisiológicos da planta (Holt, 1978).

A título de ilustração a Figura 3 mostra como o efeito da temperatura na taxa de translocação de carboidratos entre folhas e caules é modelado no SIMED (Holt et alii, 1975).

Novamente é importante ressaltar que vários outros fatores tais como o nível de carboidratos e o teor de água nas folhas e caules são modelados conjuntamente e, por sua vez, interagem com outros fatores ambientais e próprios da planta ao longo do seu ciclo vegetativo.

A seguir, são discutidas algumas características essenciais dos sistemas de estimativa de produção agrícola.

CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS DE ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

A primeira etapa de qualquer proposta de modelagem de estimativa da produção agrícola deverá incluir uma consulta a pelo menos cinco ou seis usuários potenciais da informação a ser gerada, visando definir as características do sistema diagnóstico ou prognóstico.

A resolução temporal e espacial do sistema tem de ser um dado de entrada. A frequência e a época da disponibilidade da informação, assim como o nível do levantamento (nacional, estadual, regional, municipal ou estabelecimento, i.e, destilaria, cooperativa, propriedade, etc) têm de ser definidos a priori pelo usuário.

O sistema ao ser implantado deve ter qualificação determinada, isto é, a precisão e a exatidão da estimativa têm de ser verificadas.

A base teórica do modelo deve ser agronomicamente coerente, simples e fundamentada em variáveis estimadas de dados disponíveis com a qualidade requerida.

Os custos têm de ser uma preocupação constante no desenvolvimento destes sistemas, pois facilmente podem assumir valores inviabilizantes.

O sistema tem de ser flexível, dado o dinamismo dos processos agrícolas, e também confiável, ou seja, deve ser capaz de fornecer a informação na época prevista. Assim, devem-se prever fontes alternativas de dados capazes de garantir sua operação ininterruptamente.

Wigton (no prelo) apresenta considerações gerais e específicas sobre a problemática de estimativa de safras agrícolas e enfoca, em particular, a utilização de dados de satélites para tal finalidade.

Analisando as características dos sistemas de estimativa de safras agrícolas, identifica-se claramente o potencial dos dados de satélites, hoje disponíveis, tanto os de observação da terra (exemplo: LANDSAT/MSS-TM) como os ambientais (exemplo: NOAA-AVHRR), para a estimativa da área e de produtividade.

VARIÁVEIS ESPECTRAIS E MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS

Dados do MSS do satélite LANDSAT têm sido amplamente utilizados na identificação e avaliação de áreas plantadas com culturas (Bauer, 1975; MacDonald e Hall, 1980; Batista, 1981; Mendonça et alii, 1984). Mais recentemente, dados espectrais transformados em "índices vegetativos"[1] têm sido propostos como indicadores da variação na produtividade agrícola (Wiegand et alii, 1979; Richardson et alii, 1982; Thompson e Wehmanen, 1979; Barnett e Thompson, 1982; Chen e Spiguel, 1984).

---

[1] Índices vegetativos são transformações de duas ou mais bandas espectrais que visam refletir as condições da vegetação (biomassa, índice de área foliar, etc.) com base no pressuposto de que a vegetação apresenta alta reflectância na faixa espectral correspondente ao infravermelho próximo e alta absorção na região do vermelho (visível).

Uma experiência recente do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), nesta área, envolveu a utilização do modelo agrometeorológico proposto por Doorenbos e Kassan (1979), aplicado à estimativa da produtividade da cana-de-açúcar no oeste do Estado de São Paulo. Neste modelo, o decréscimo da produtividade da cultura em relação à produtividade máxima (cultura bem adaptada ao local e sem nenhuma restrição "tecnológica" ou climática) é proporcional ao decréscimo da evapotranspiração real em relação à evapotranspiração máxima, conforme a equação:

$$(1 - \frac{PR}{PM}) = k_p \ (1 - \frac{ETR}{ETM}) \ ,$$

onde:

PR = Produtividade ou rendimento,

PM = Produtividade Máxima,

ETR= Evapotranspiração Real,

ETM= Evapotranspiração Máxima,

k_p = Fator de resposta da cultura ao déficit hídrico.

Doorenbos e Kassan (1979) propõem métodos de estimativa de todos os parâmetros da equação acima, perfeitamente adaptáveis às condições brasileiras, e assim a produtividade pode ser estimada colocando a equação na seguinte forma:

$$PR = PM \left| 1 - k_p \ (1 - \frac{ETR}{ETM}) \right|$$

Pode-se verificar neste modelo que, se ETR = ETM, não há penalização, e a produtividade é igual à produtividade máxima e, se ETR < ETM a produtividade máxima será penalizada proporcionalmente levando em consideração o fator k_p para o período do ciclo vegetativo considerado.

Este modelo na estimativa de produtividade da cana-de-açúcar da safra 1983/84 nos municípios de Araçatuba e Guararapes (SP), mostrou excelentes resultados (Batista et alii, 1984). Entretanto, pode-se verificar que este modelo não leva em consideração outras fontes de variação da produtividade, tais como nutrientes, tratos culturais, controle fitossanitário, densidade de plantio, etc. Assim sendo, o INPE hoje está no processo de integrar dados MSS do satélite LANDSAT no modelo proposto por Doorenbos e Kassan (1979). Os resultados preliminares indicam que tais dados poderão melhorar significamente a capacidade diagnóstica deste modelo (Rudorff, 1984), especialmente em locais onde os efeitos não levados em consideração pelo modelo agrometeorológico são mais significativos.

Ide (no prelo) usou um modelo de regresão tendo como variável independente a relação entre a evapotranspiração real e a máxima, definida de forma similar à proposta por Doorenbos e Kassan

(1979), e obteve excelentes resultados para a estimativa da produtividade de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo para seis safras agrícolas. Entretanto, para as safras de 1979/80 e 1982/83 os resultados foram relativamente mais discrepantes em relação aos dados obtidos pelo PLANALSUCAR/IAA. O autor atribui este resultado à ocorrência de geada nestes dois anos safras.

Os resultados obtidos vêm reforçar a necessidade de introduzir em modelos de estimativa de safras outras variáveis além das direta e rotineiramente observadas variáveis meteorológicas.

A experiência adquirida permite indicar que, em futuro próximo, ter-se-ão modelos de estimativa de produtividade baseados não somente em dados agrometeorológicos, mas também em variáveis espectrais transformadas em "índices vegetativos". Colwell (1979) apresenta uma proposta de utilização integrada de dados meteorológicos e espectrais para a estimativa de produtividade, assim como discute as vantagens desta abordagem.

MODELO DE PRODUÇÃO

O conceito básico desta proposta para a estimativa de safras agrícolas (área e produtividade) é apresentado na Figura 4.

Inicialmente o sistema prevê a estimativa da área plantada com a cultura, principalmente utilizando imagens de satélite de observação da Terra com suporte em dados de avião e de campo. A área estimada é multiplicada pela "produtividade máxima" (PROD MAX) e por um fator climático (FMET), cujo valor varia entre zero e um, estimado de forma a penalizar a produtividade máxima em função de ocorrência de condições climáticas adversas ao desenvolvimento normal da cultura.

A "produtividade máxima" representa o potencial de rendimento da cultura sem nenhuma restrição climática. Conceitualmente este termo do modelo incorpora todas as variáveis não-controladas como, por exemplo, qualidadade das sementes, variedades, etc. Esta variável pode ser estimada de forma simples, com base em dados históricos da produtividade. Entretanto, nem sempre estes dados são disponíveis de forma confiável e assim a produtividade máxima tem de ser estimada com base em dados de solos, clima, tecnologia local e na análise de imagens orbitais.

A medida que outros fatores fossem adequadamente estimados, eles poderiam ser incorporados ao modelo (exemplo: fatores episódicos de manejo ou econômico-políticos). Entretanto é preciso que se faça uma análise criteriosa da interdependência destes fatores antes de introduzí-los ao modelo. Conforme discutido na seção anterior, índices vegetativos derivados de dados de satélites apresentam um grande potencial para estimar variações na produtividade não manifestadas pelo monitoramento de variáveis meteorológicas.

Duas características básicas deste conceito de modelagem proposto são: 1) a flexibilidade que ele permite (o sistema pode entrar em operação com pequeno esforço inicial e posteriormente ser implementado a medida que novas variáveis passam a ser controladas); 2) a resolução final do sistema, ou seja, a área física mínima para a qual o sistema gerará uma informação de produção é definida pela interação entre os fatores de melhor resolução.

As alternativas para a estimativa de cada um dos fatores propostos neste sistema (Figura 4) englobam grande número de abordagens, cuja discussão vai além do objetivo desta apresentação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro do tema geral "O papel da Meteorologia na produção de alimentos" procurou-se mostrar a importância do entendimento do efeito de variáveis meteorológicas específicas nos diversos processos de desenvolvimento da planta, dentro de um contexto amplo de sistemas de estimativa de produção agrícola.

Sistemas diagnósticos da produção agrícola que forneçam informações confiáveis em tempo oportuno e a custos razoáveis são essenciais a todo processo de tomada de decisão no sistema produtivo de um país. É oportuno lembrar que os sistemas convencionais de previsão ou mesmo estimativa de safras atualmente utilizados no Brasil carecem de maior objetividade. Atualmente, dados de satélites, tanto os de observação da Terra (exemplo, o LANDSAT MSS e TM) como os ambientais (principalmente o TIROS-N com o sensor AVHRR), apresentam grande potencial de contribuição para os sistemas de estimativa de safras, fornecendo informações tanto de área como de produtividade. Para que um sistema seja confiável é preciso que ele permita a utilização de fontes alternativas de dados para garantir sua operação ininterruptamente.

A experiência tem mostrado que estes sistemas devem ser amostrais com a utilização de métodos de estratificação (imagens de satélite), pois o pequeno erro amostral incorrido justifica plenamente o ganho em termos de custo do sistema.

REFERÊNCIAS BIBILIOGRÁFICAS

BAIER, W. Crop-weather models and their use in yield assessments. Genebra, WMO, 1977. (WMO nº 458, Technical note nº 151).

BARNETT, T.L., Thompson, D.R.; The use of large-area spectral data in wheat yield estimative. Remote Sensing of Environment, 12:509-518.1982.

BATISTA, G.T. Study of corn and soybean LANDSAT-MSS data classification performance as a function of scene characteristics. Ph. D. Thesis. West Lafayette, IN, Purdue University, 1981.

BATISTA, G.T.; LIMA, A.M. de; TARDIN, A.T.; RUDORFF, B.F.T.; MENDONÇA, F.J.; PINTO, S.A.F.; CHEN, S.C.; DUARTE, V. Desenvolvimento e teste de um sistema de fiscalização das operações de crédito agrícola ao nível de município e de propriedades agrícolas utilizando técnicas de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, 1984. (INPE-3239-RPE/462).

BAUER, M.E. The role of remote sensing in determining the distribution and yield of crops. Advances in Agronomy, 27: 271-304. 1975.

CHEN, S.C.; SPIGUEL, M.C. Evaluation of the possibility of using Landsat- MSS data for sugarcane yield estimation. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 3., Rio de Janeiro, 28-30 Nov.; 1984.

COLWELL, J.E. Possible future directions in crop yield forecasting. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT; Ann Arbor, MI, 1979. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1979, p.1781-1788.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. Yield response to water. Rome, FAO, ONU, 1979 (FAO-Irrigation and Drainage Paper nº 33).

HOLT, D.A. Class notes of the course: Environmental Physiology of Crops - AGRY625, West Lafayette, IN, Purdue University, 1978.

HOLT, D.A.; BULA, R.J.; MILES, G.E.; SCHREIBER, M.M.; PEART, R. M. Environmental physiology, modeling and simulation of alfalfa growth; I. Conceptual Development of SIMED. West Lafayette, IN, Agric. Exp. Station, Purdue University, 1975 (Research Bull. 907).

HOLT, D.A.; MILES, G.E.; BULA, R.J.; SCHREIBER, M.M.; PEART, R.M. SIMED. A crop simulation model as a tool for teaching crop physiology. Journal of Agronomic Education, 5:53-56, 1976.

IDE, B.Y. Comportamento climático e o rendimento agrícola de cana-de-açucar no Estado de São Paulo, em seis safras. Piracicaba, Centro de Tecnologia Coopersucar, no prelo.

MACDONALD, R.B.; HALL, R. Global crop forecasting. Science, 208:670-679. 1980.

MENDONÇA, F.J.; BATISTA, G.T.; TARDIN, A.T. Projeto CANASATE: Sensoriamento remoto aplicado ao levantamento da cultura canavieira. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 3., Rio de Janeiro, 28-30 Nov., 1984.

RICHARDSON, A.J.; WIEGAND, C.L.; ARKIN, G.F.; NIXSON, P.R.; GERBERMANN, A.H. Remotely-sensed spectral indications of sorghum development and their use in growth modeling. Agricultural Meteorology, 26:11-23. 1982.

RUDORFF, B.F.T. Dados do Landsat na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. Dissertação Preliminar, São José dos Campos, SP, INPE, 1984.

RUSSELL, Sir E.J. Soil conditions and plant growth. 10.ed. London, Longmans, Green, 1973.

THOMAS, M.C.; HILL, G.R. Photosynthesis under field conditions. In: Frank, J.; LOOMIS, W.E.; ed. Photosynthesis in plants. Iowa, Iowa University Press, Ames, Iowa, 1949.p.

THOMPSON, D.R.; WEHMANEN, O.A. Using Landsat digital data to detect moisture stress. Photogrammetric Engineening and Remote Sensing, 45:201-207. 1979.

WIEGAND, C.L.; RICHARDSON, A.J.; KANEMASU, E.T. Leaf area index estimates for wheat from Landsat and their implications for evapotranspiration and crop modeling. Agronomy Journal, 71: 336-342. 1979.

WIGTON, W. Production of agricultural statistics using satellite data. Roma. FAO, ONU, no prelo.

WIT, C.T. de; BROUWER, R.; PENNING de VRIES, F.W.T. A dynamic model of plant and crop growth. In: WAREING, P.P.; COOPER, J.R.; ed. Potential crop production, a case study. London, Heinemann Education Books, 1971.

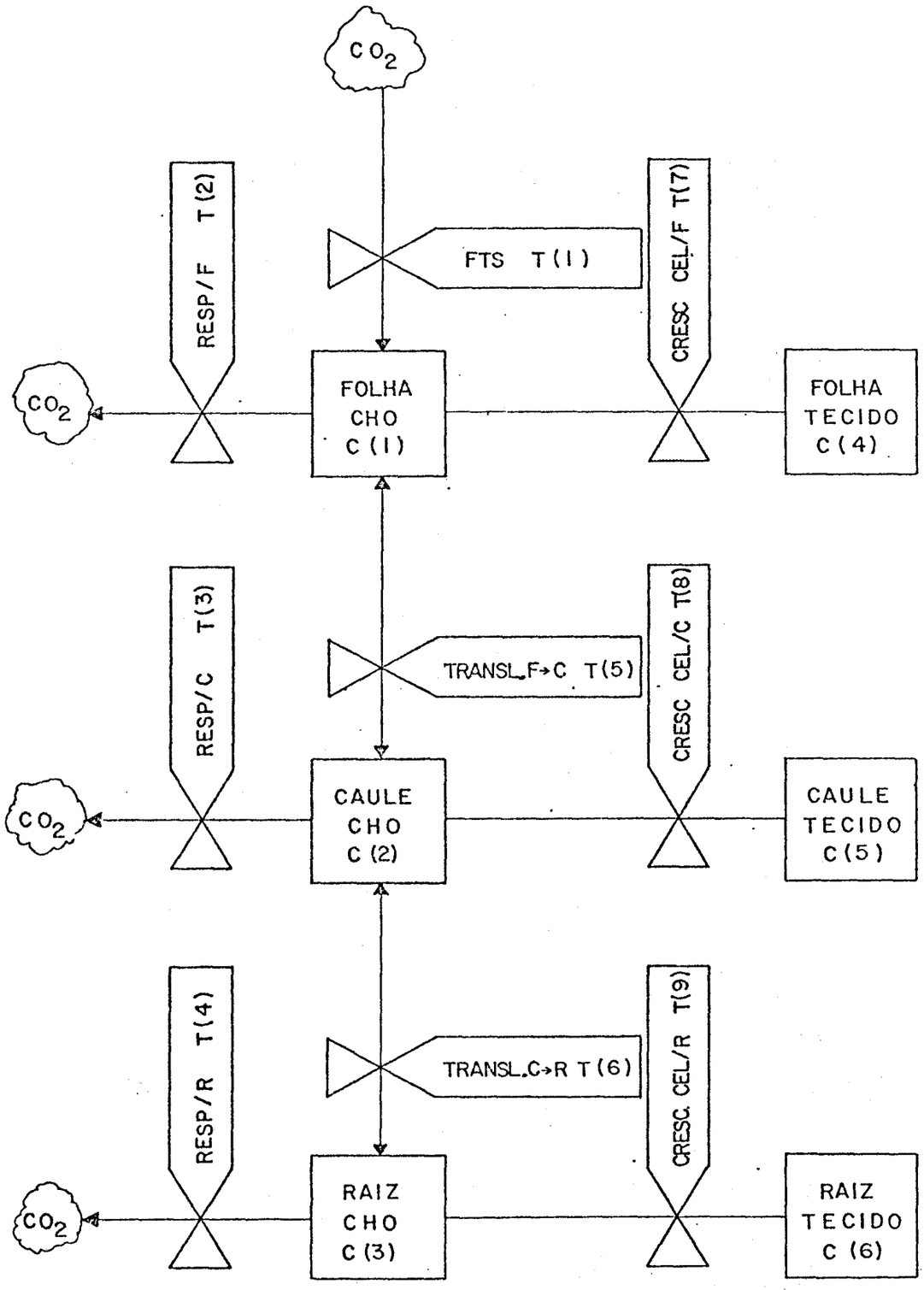

FIGURA 1 - Modelo de fluxo de material no sistema vegetativo de uma planta.

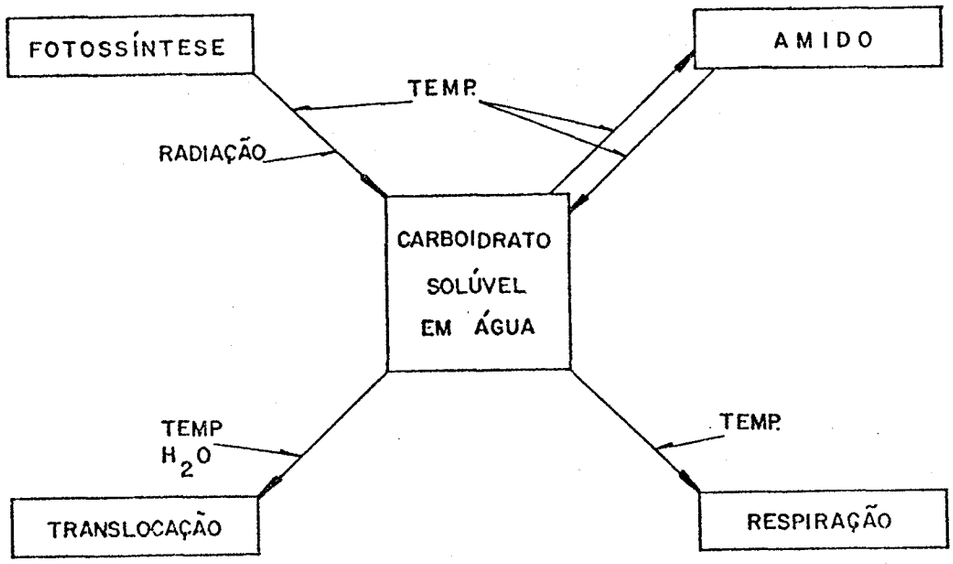

FIGURA 2 - Esquema das principais variáveis ambientais que afetam os diversos processos fisiológicos da planta.

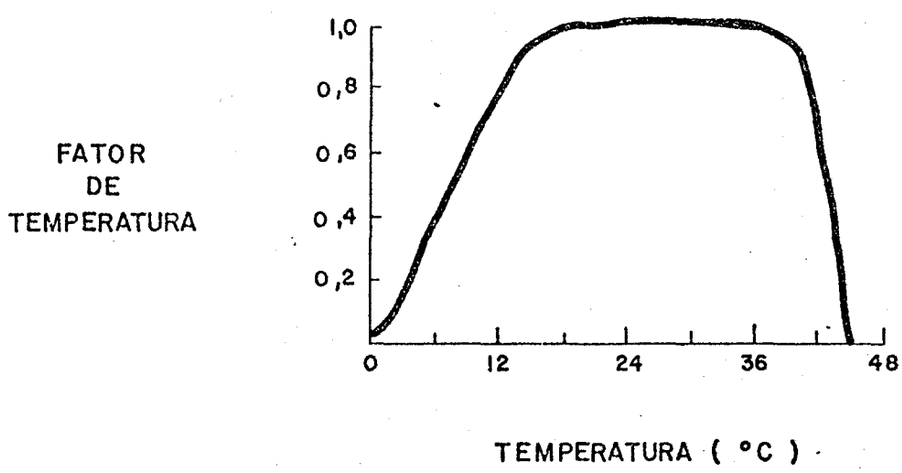

FIGURA 3 - Efeito da temperatura na taxa de transloçação entre folhas e caules, conforme modelado no SIMED. FONTE: Holt et alii (1975).

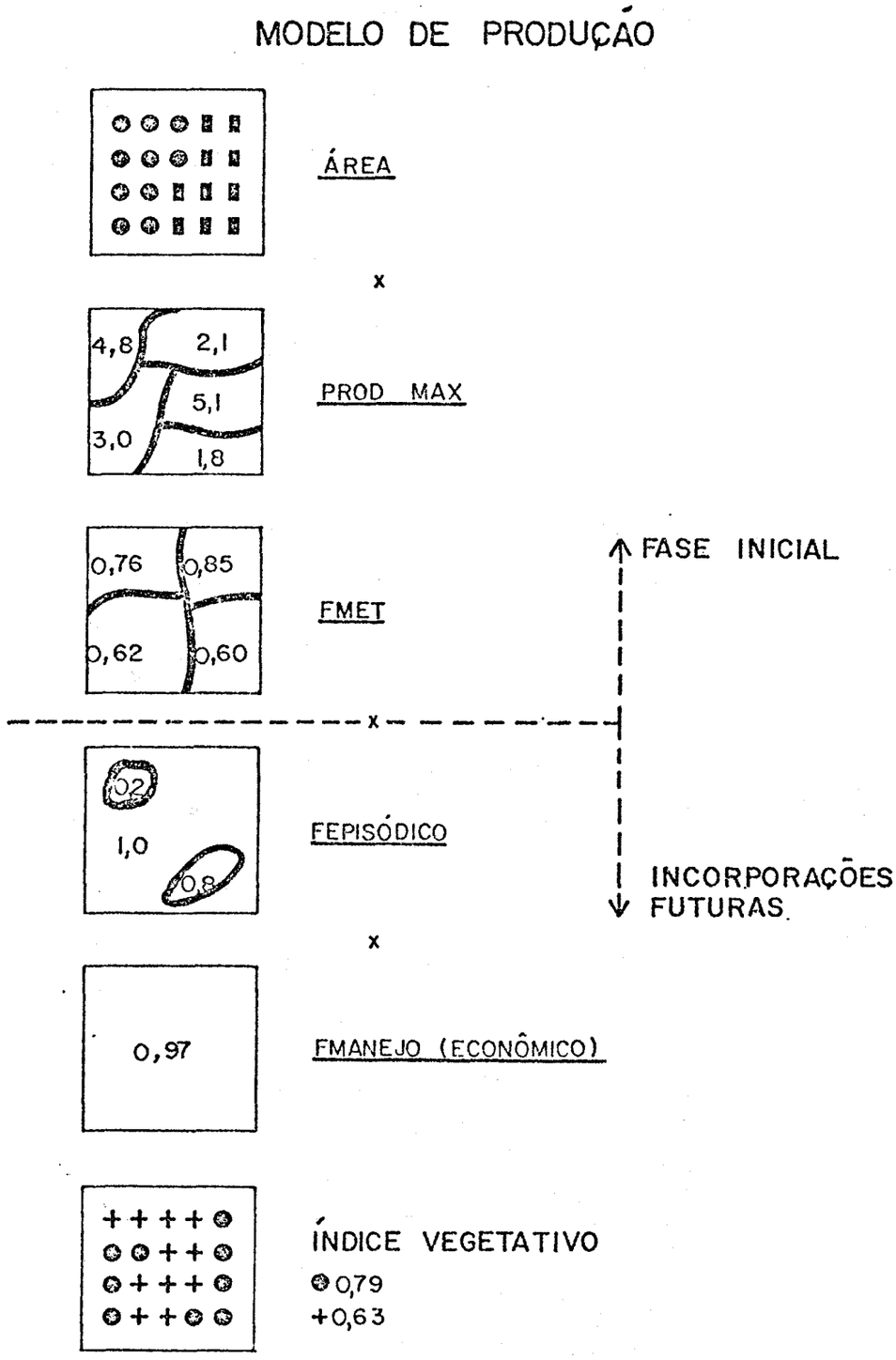

FIGURA 4 - Esquema de um modelo de estimativa de produção agrícola.