

1. Publicação nº <i>INPE-2255-PRE/037</i>	2. Versão	3. Data <i>Nov., 1981</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSE/DES</i>	Programa <i>MEDEP</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>MODELOS DE SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO ESTIMAÇÃO DE PRODUTIVIDADE</i>			
7. C.D.U.: <i>631.165:62</i>			
8. Título <i>PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE UMA CULTURA VISANDO ESTIMAÇÃO DE PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA</i>		10. Páginas: <i>14</i>	
		11. Última página: <i>13</i>	
		12. Revisada por	
9. Autoria <i>Carlos Alberto Cappelletti José Roberto Reis Luiz Antonio Nogueira Lorena Nívea Teixeira Dias Lourdes Bernardete F. da Cruz Paião Acioli Antonio de Olivo Samuel Roberto Ximenes Costa</i>		<i>Derli C.M. da Silva</i> Derli C.M. da Silva	
Assinatura responsável <i>José Roberto Reis</i>		13. Autorizada por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Nelson de Jesus Parada Diretor	
14. Resumo/Notas <i>O trabalho propõe a construção de um modelo de simulação do crescimento de uma cultura para estimar sua produtividade, levando-se em consideração fatores climatológicos, fisiológicos, físicos, tecnológicos e sócio-econômicos. As etapas de elaboração do modelo incluem a definição de variáveis correspondentes aos fatores destacados, a identificação de relações entre elas, a estratificação da área cultivada com a cultura de interesse, a composição e a validação do modelo. Apresenta-se ainda uma revisão bibliográfica das diversas abordagens do problema a nível internacional.</i>			
15. Observações <i>Este trabalho foi aceito para apresentação na II Escola Nacional de Pesquisa Operacional (II ENPO), que será realizada de 03 a 05 de novembro de 1981, em Campina Grande, PB devendo, após, ser publicado.</i>			

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A MODELAGEM
DO CRESCIMENTO DE UMA CULTURA VISANDO ESTIMAÇÃO
DE PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA

Carlos Alberto Cappelletti
José Roberto Reis
Luiz Antonio Nogueira Lorena
Nívea Teixeira Dias
Lourdes Bernardete Fonseca da Cruz Paião
Acioli Antonio de Olivo
Samuel Roberto Ximenes Costa

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

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A necessidade de informações sobre o volume da produção de determinados produtos agrícolas levou técnicos e pesquisadores à elaboração de um conjunto de métodos para estimação tanto das áreas plantadas com uma certa cultura, quanto da produtividade dessas áreas. Esses métodos constituem a ferramenta básica da área conhecida como estatísticas agrícolas.

As estatísticas agrícolas fornecem informações sobre a quantidade, a qualidade e os preços dos produtos agrícolas, bem como previsões de safras futuras que permitem um planejamento tanto a nível empresarial quanto a nível governamental. No nível microeconômico, elas permitem que as empresas operem com medidas dos riscos envolvidos em suas atividades, enquanto que no nível macroeconômico, possibilitam a formulação de políticas de importação e/ou exportação, levando em consideração as necessidades do mercado interno.

Com o desenvolvimento da tecnologia espacial na última década, em particular com a colocação em órbita dos satélites das séries LANDSAT, SMS e TIROS-N, abriu-se uma vasta gama de possibilidades para o desenvolvimento de técnicas de estimação de áreas cultivadas e de produtividade de culturas implantadas em grandes extensões de terra.

As novas técnicas, que ainda estão em fase de desenvolvimento e de verificação, tanto da confiabilidade dos resultados fornecidos quanto do custo para obtê-los, objetivam complementar ou substituir os métodos clássicos de levantamento estatístico. Estes métodos, sejam eles a nível de censos ou de amostras, ainda que tenham sido e continuem sendo de grande valor na coleta de dados agrícolas, necessitam ser revistos à luz das possibilidades oferecidas pela coleta automática de dados.

É amplamente aceito que, para se fazer a previsão de uma safra agrícola, para uma determinada cultura de uma região previamente definida, é necessário estimar duas quantidades: a Área Cultivada (AC) e a Produtividade por unidade de superfície (P). De posse destas duas estimativas, tem-se uma estimativa da Produção Total (PT), dada pela fórmula:

$$PT = AC \times P \quad (1)$$

Se AC é medida em hectares e P em toneladas por hectare, a produção total será dada em toneladas de produto.

Vários métodos podem ser considerados para compor a Equação 1. Atualmente é bastante utilizado o enfoque que consiste em estimar AC e P, usando-se um censo para todas as unidades produtivas incluídas na região em estudo. Outro método considerado usa técnicas de amostragem estatística, coletando-se informações em um subconjunto das unidades de produção, estrategicamente escolhido.

Uma modificação no enfoque descrito consiste em substituir ou complementar a coleta de dados, a respeito da área cultivada, com a utilização de fotografias aéreas obtidas com sensores instalados em aviões. Existem aqui duas possibilidades no que diz respeito à cobertura da região de interesse: a primeira delas é fotografar exaustivamente a área total da região e a segunda consiste em escolher algumas subáreas, através de um projeto de amostragem estatística.

Um terceiro método, mais recente e ainda em desenvolvimento, baseia-se na utilização das imagens produzidas pelo satélite LANDSAT com interpretação automática das informações contidas nessas imagens, com o fim de estimar a quantidade AC. Como no caso anterior, pode-se optar por uma cobertura de 100% da área em estudo ou pela escolha, através do uso de critérios estatísticos, de uma porcentagem menor, expandindo-se os resultados posteriormente.

No tocante à estimação da produtividade, (P), há também a possibilidade de optar ou por um levantamento total ou por um parcial das áreas ocupadas com a cultura de interesse.

Na década de 70 surgiram enfoques alternativos para a estimação da quantidade P. A filosofia central dos métodos propostos é a construção de equações que descrevam as relações entre produtividade e uma série de fatores que, supõe-se, influenciam o desenvolvimento da cultura e, em consequência, seu rendimento por unidade de superfície. Nessas equações enfatiza-se o papel desempenhado por certas variáveis meteorológicas, tais como, precipitação pluviométrica e temperatura, bem como por alguma outra variável que tenta quantificar o avanço tecnológico ocorrido nos últimos 30 anos.

O que o presente trabalho propõe é a construção de um modelo de produtividade que integre a filosofia das equações estatísticas de previsão e os princípios gerais dos modelos fisiológicos de crescimento vegetal. A idéia é se posicionar em

um ponto intermediário entre os dois extremos, sem cair numa simplificação que pode levar a erros imponderáveis, nem também no estudo acadêmico da fisiologia da planta, já que o objetivo básico tem uma dimensão regional, não podendo se restringir ao nível de laboratório.

O Capítulo II apresenta uma breve discussão dos modelos descritos na literatura, voltados para a estimação de produtividade agrícola.

O Capítulo III mostra uma abordagem para a construção de um modelo para a estimação de produtividade agrícola.

O Capítulo IV apresenta considerações finais ao trabalho.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES EM MODELOS DE PRODUTIVIDADE

Baier (1979) apresenta uma classificação dos tipos de modelos de previsão, utilizados por diversos autores; segundo ele, esses tipos são:

- a) Modelos Estatísticos Empíricos, que são aqueles em que fatores climatológicos e características do solo são relacionados estatisticamente com a produtividade (modelos de produtividade de regressão múltipla);
- b) Modelos de Simulação do Crescimento, que são uma representação matemática simplificada dos mecanismos físicos, químicos e fisiológicos que regulam o crescimento de uma planta (simuladores do crescimento da cultura tipo mecanicista);
- c) Modelos Climatológicos, que são aqueles que consideram a resposta da cultura com respeito a um conjunto de variáveis agrometeorológicas (modelos agrometeorológicos de análise, construídos estatisticamente).

Os modelos estatísticos empíricos são de uso mais difundido, sendo o trabalho de Thompson (1962) pioneiro neste tipo de abordagem. Em outro trabalho, Thompson (1969) construiu um modelo de regressão múltipla, considerando como variável dependente a produtividade do trigo por hectare e; como variáveis independentes, a precipitação pluviométrica, a temperatura nos meses críticos da cultura e duas variáveis que representam a tecnologia em dois períodos: 1920/45 e 1945/68. O modelo é constituído de uma componente linear e de uma componente quadrática. O trabalho conclui que as variáveis independentes explicam de 80 a 92% da variabilidade da produtividade.

Alguns trabalhos mais recentes seguem uma metodologia semelhante à de Thompson. Pitter (1977) apresenta um modelo de regressão múltipla para a estimação de produtividade rela

cionada linearmente a variáveis meteorológicas, progresso tecnológico e umidade do solo no Estado de Oregon. O modelo considera a área geográfica de estudo dividida em 5 distritos agrícolas e 7 divisões climáticas, que são reorganizadas para corresponderem aos distritos agrícolas. Os resultados apresentam um $R^2 = 0,956$, porém os coeficientes de correlação entre a variável dependente e as variáveis independentes são consideravelmente baixos, o mesmo ocorrendo com os valores da estatística t , salvo poucas exceções. Os valores mais significativos ocorrem com as variáveis tecnológicas.

Odumodu e Griffiths (1980) apresentam como sugestão o uso da função arco tangente para descrever a tendência tecnológica, compondo o modelo de regressão múltipla junto com as variáveis meteorológicas. Os parâmetros da função arco tangente são estimados, usando-se o método modificado de Gauss-Newton sugerido por Hartley (1961). O motivo principal de se utilizar a função arco tangente é que no período 1936-1975, considerado pelo autor, foram discriminados três períodos com distintas intensidades de progresso tecnológico: em 1936-1945 o incremento foi bastante suave, em 1946-1965 o incremento foi consideravelmente maior, e finalmente em 1966-1975 o incremento foi semelhante ao do primeiro período. Para ajustar esta tendência seriam necessários três segmentos de reta, os quais apresentariam pontos de descontinuidade nos anos 1945 e 1965. Portanto, a função arco tangente foi utilizada por não apresentar descontinuidades e por ser mais realista para se fazer extrapolações. Ajustada a função de tendência tecnológica, foram calculados os desvios em relação a uma série de produtividade, e os resíduos resultantes foram utilizados como variável dependente numa relação de regressão múltipla, na qual as variáveis independentes são índices de seca em distintos meses do calendário da cultura. Como resultado, obteve-se que de 50 a 60% da variância dos resíduos entre a variável produtividade e o ajuste pela tendência tecnológica foi explicada pelas variáveis relativas aos índices de seca.

Segundo Katz (1979), para o conhecimento das limitações dos modelos estatísticos empíricos, é necessário pesquisar as características das relações estatísticas entre a cultura e o clima. Isto o levou à investigação da confiabilidade dos parâmetros do modelo quanto à presença de correlação entre as variáveis preditoras, a qual se reflete num aumento da variabilidade dos estimadores dos coeficientes de regressão, levando inclusive a uma mudança no sinal do coeficiente estimado que contraria conceitos fisiológicos básicos. Neste trabalho, o autor realiza uma análise de sensibilidade sobre modelos de regressão múltipla (semelhantes ao de Thompson). Esta análise de sensibilidade usa a regressão "ridge", que é uma técnica estatística adequada para identificar quando o grau de correlação entre as variáveis independentes é suficientemente alto para causar instabilidades nos coeficientes de regressão estimados.

Rees (1980) revisou o trabalho de Pitter (1977), formulando, também, uma advertência com relação aos efeitos da multicolinearidade entre as variáveis preditoras. O mesmo autor chama a atenção para os perigos da construção de um único mode

lo de previsão para toda uma região constituída por sub-regiões homogêneas, sem se levar em consideração a existência de dependência estocástica entre as variáveis dentro dessas sub-regiões. Sobre os resultados apresentados pela regressão, Rees observa que embora Pitter tenha obtido um $R^2 = 0,956$, somente duas das vinte e três variáveis meteorológicas parecem ser significantes. Isto significa que, sob a suposição de normalidade do erro da regressão, existem efeitos sobre a magnitude e sobre o sinal dos coeficientes, com probabilidade substancial de que haja troca de sinais nesses. Em geral os resultados da regressão não são bons. Caso sejam retiradas as variáveis de tendência tecnológica, não restaria nenhuma variável significativa, resultando pouca informação inserida pelas variáveis meteorológicas.

Quanto aos modelos de simulação do crescimento, alguns deles são descritos a seguir.

Baier (1977) apresenta um resumo de trabalhos feitos na Holanda e nos Estados Unidos sobre modelos de simulação do crescimento, destacando principalmente os trabalhos de De Wit et alii (1971, 1974) na Universidade Agrícola Wageningen, e os de Shawcraft et alii (1974) na Universidade de Cornell. Seguem alguns comentários contidos neste trabalho de Baier.

Na Holanda foi construído um modelo dinâmico de crescimento de cultivo mediante um simulador (ELCROS) descrito por De Wit et alii (1971). O modelo supõe que uma planta ou um cultivo contenha reservas fotossintéticas na forma de carboidratos. Os processos básicos na planta, simulados pelo programa, são: fotossíntese, respiração, circulação e transpiração. O modelo calcula a produção total de matéria seca e a transpiração da folhagem em crescimento, a partir de propriedades físicas, fisiológicas e químicas básicas da planta e dados macrometeorológicos provenientes de estações meteorológicas. Outros processos são estudados mediante submodelos, como no caso dos trabalhos de Penning de Vries (1975) e de Goudriaan e Waggoner (1972).

Nos Estados Unidos, na Universidade de Cornell, foi desenvolvido um sistema SPAM, modelo solo-planta-atmosfera. Shawcraft et alii (1974) descrevem o desenvolvimento e os componentes deste modelo, para simular interações básicas entre a planta e o meio ambiente. Os autores ilustram, mediante um esquema, os inputs necessários, os submodelos e as predições do clima e das atividades da planta. O SPAM poderia ser considerado mais como uma ferramenta para testar a sensibilidade de certos fatores, do que como um modelo para prever crescimento ou produtividade. No entanto, pode também ser considerado como um submodelo integrante de um modelo de crescimento ou de produtividade.

O trabalho de Frayse et alii (1978) propõe um modelo que é integrado por quatro categorias de dados: dados agrometeorológicos, dados colaterais, dados estatísticos e dados de características fenológicas, morfológicas e fitopatológicas. O modelo é formado por fatores humanos (tecnológicos) e fatores naturais, descritos através de qualidade dos solos (composição, natureza, drenagem, características mecânicas do solo, pH, etc.),

práticas culturais (variedades, fertilizantes, fungicidas, época de plantio, etc.) e condições climatológicas (insolação, umidade, temperatura, vento, doenças, etc.). O resultado da composição dos fatores anteriormente descritos é a produtividade da cultura por unidade de superfície.

Sirotenko (1978) propõe a construção de modelos físico-matemáticos para descrever o processo pelo qual as condições ambientais influenciam a produtividade de uma cultura. Ele também mostra que tais modelos permitem descrever o sistema solo-planta-atmosfera e podem servir como base para a solução de uma ampla variedade de problemas agrometeorológicos. O autor descreve algumas das dificuldades apresentadas na descrição quantitativa entre produtividade e condições meteorológicas:

- a) o grande número de fatores envolvidos;
- b) a natureza não-linear da resposta das plantas aos fatores ambientais;
- c) a correlação natural entre os vários fatores ambientais (temperatura-umidade do ar, intensidade da radiação solar-temperatura do ar, etc.);
- d) a natureza não-aditiva entre os fatores;
- e) as mudanças significativas entre a natureza das plantas e os fatores ambientais ao longo dos períodos vegetativos;
- f) a existência de elementos que são inerentes à planta e seu habitat, os quais "lembram" condições do passado e determinam tendências no desenvolvimento dos processos.

A proposta fundamental do autor é formular modelos dinâmicos, mediante a utilização de equações diferenciais, onde a variável produtividade é explicada em função da variável tempo e de um conjunto de condições hidrometeorológicas, também consideradas em função do tempo.

Quanto aos *modelos climatológicos*, são aqueles que procuram explicar a produtividade de uma cultura mediante a utilização de equações de regressão múltipla, relacionando produtividade com temperatura e precipitação.

Haun (1974) construiu um modelo de regressão múltipla para a previsão de produtividade de trigo, considerando o efeito de fatores climatológicos (temperatura e precipitação). Nesse modelo é utilizada como variável dependente a taxa diária de crescimento da planta, enquanto outros modelos usam a produtividade final como variável dependente. O autor salienta que a precipitação prévia à semeadura é um fator crítico nas áreas de produção de trigo de primavera, devendo ser incluída no sistema de previsão de produtividade. Como se dispõe de apenas poucos anos de observações diárias da taxa de crescimento, é necessário usar a produtividade final combinada com a taxa de crescimento para incorporar ao modelo a umidade do solo no período prévio à semeadura. Como resultado da aplicação do modelo em

A cada um deles corresponde uma série de variáveis (ou fatores), sendo que um exame do processo produtivo evidenciará relações entre as variáveis de um mesmo subsistema e as relações entre os subsistemas.

O efeito conjunto destas variáveis e relações fornecerá uma estimativa da produtividade para um certo período de tempo. A Figura III.1 esquematiza o modelo.

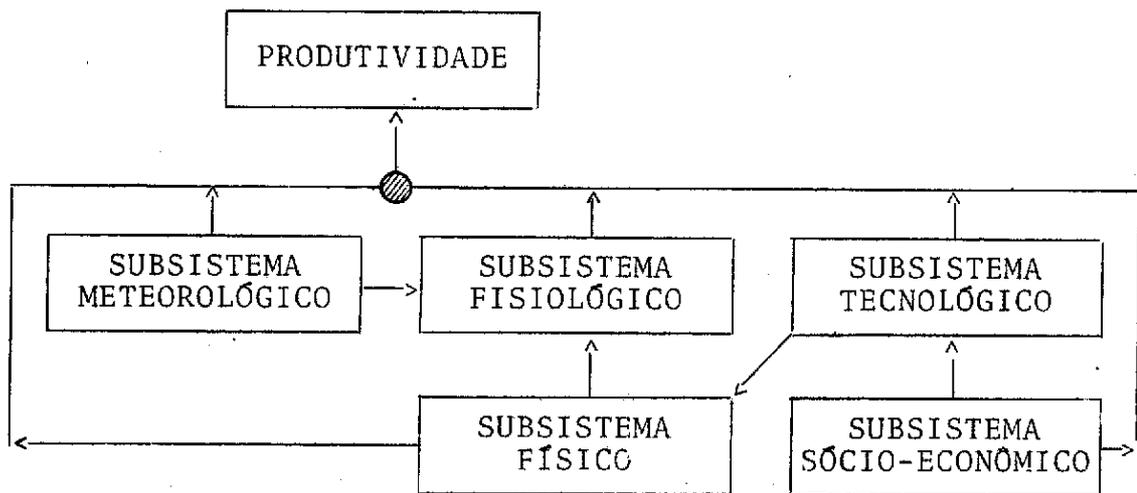


Fig. III.1 - Esquema do modelo de produtividade.

Buscando melhor representar o aspecto dinâmico do processo e em virtude das múltiplas relações envolvidas, decidiu-se pelo uso de Simulação para o tratamento do problema. Assim, observando-se valores (ou intervalos de valores) para as variáveis dentro de cada subsistema, obtém-se como saída uma medida da produtividade.

Deve-se salientar que o processo de realimentação é parte importante do modelo em todas as suas fases. Ao final, através da validação do modelo, as potencialidades deste serão evidenciadas.

As fases de desenvolvimento do modelo são as seguintes:

- Definição das variáveis.
- Estabelecimento de relações entre as variáveis.
- Composição do modelo.

3.2.1 - DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Baseando-se na opinião de especialistas no processo produtivo da cultura em estudo, pode-se listar as principais variáveis que compõem o modelo de produtividade. A título de

exemplo, a Tabela III.1 apresenta uma listagem preliminar, por subsistema, de algumas variáveis relevantes.

TABELA III.1
VARIÁVEIS POR SUBSISTEMA

SUBSISTEMA	VARIÁVEIS
Meteorológico	- precipitação - evaporação - temperatura - umidade relativa do ar - balanço hídrico
Fisiológico	- índices definindo "stress" hídrico - índices da eficiência fotossintética
Físico	- relevo - tipo de solo - características hidrológicas
Tecnológico	- herbicidas - inseticidas - fertilizantes - mecanização - variedades - rotação do cultivo
Sócio-Econômico	- incentivos fiscais (governamentais) - receptividade de técnicas agrícolas

3.2.2 - ESTABELECIMENTO DE RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS

A identificação de relações entre variáveis será feita basicamente de duas formas:

- usando-se os dados históricos coletados na fase de coleta e cadastramento de dados, identifica-se o grau de interdependência entre as variáveis, a nível de subsistema e entre subsistemas. Esta identificação será feita, possivelmente, usando-se análise de regressão não-linear;
- baseando-se na opinião de especialistas na cultura, identificam-se curvas que interrelacionam variáveis, a nível de subsistemas e entre subsistemas.

Após a determinação das relações, será possível uma redefinição de variáveis, incluindo variáveis relevantes antes não consideradas e/ou excluindo variáveis redundantes.

3.2.3 - COMPOSIÇÃO DO MODELO

A composição do modelo será obtida integrando-se os diversos subsistemas identificados. Esta integração será feita através das relações identificadas entre subsistemas.

Tomando-se como base o processo produtivo, descrito por especialistas, o modelo representará dinamicamente todas as interações entre as variáveis, através das relações identificadas. A partir de valores (intervalos) das variáveis dos subsistemas, obtém-se como saída uma estimativa para a produtividade, usando-se simulação.

O modelo deverá ainda ser validado, confrontando-se os seus resultados com valores reais. Deve-se ressaltar que o modelo construído permitirá a realização de experimentos para a "otimização" da produtividade.

3.3 - ESTRATIFICAÇÃO DA REGIÃO OCUPADA PELA CULTURA

A área agrícola objeto da pesquisa deve ser dividida em duas subáreas de acordo com a presença ou não da cultura em estudo.

Por sua vez, a região cultivada pode não apresentar uma homogeneidade em relação às características climáticas e edáficas e, em consequência, a produtividade por hectare estará afetada por uma variabilidade, quando considerada para diferentes localidades.

Por tal razão, a estratificação resulta em áreas ou sub-regiões homogêneas em relação a fatores climáticos e edáficos e à tendência histórica da produtividade na região. Os dados referentes aos fatores escolhidos devem ser submetidos à análise estatística, mediante a técnica de componentes principais e "cluster analysis" para se reduzir o número de variáveis a um subconjunto menor de combinações lineares, que permitirão a construção dos extratos com homogeneidade interna compatível com os níveis de confiabilidade, requeridos no objetivo principal.

3.4 - VALIDAÇÃO DO MODELO

A etapa de validação do modelo deverá indicar o grau de confiança em que este possa ser considerado uma representação adequada da realidade.

O refinamento do modelo está intimamente ligado a sua validação, que deve ser usada como um processo iterativo, com a finalidade de aumentar o grau de confiabilidade do modelo.

A partir da lista de variáveis especificada em 3.2.1 deve ser realizado um levantamento da disponibilidade dos dados correspondentes, os quais integrarão um banco de dados.

O propósito do modelo e a disponibilidade de dados definem os passos a serem seguidos nesta etapa. Segundo

três províncias do Canadá, a correlação entre dados observados e estimados pelo modelo foi de 0,249 (não significativa). Na região das New Lands da U.R.S.S. o coeficiente de correlação foi 0,78 (significativo ao nível de 0,01).

CAPÍTULO III

ABORDAGEM PARA A CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DE PRODUTIVIDADE

3.1 - INTRODUÇÃO

A proposta metodológica deste trabalho é a construção de um modelo de crescimento, usando-se técnicas analíticas e de simulação que levem em consideração os aspectos agrícolas, biológicos e climatológicos da cultura de interesse.

No tocante aos aspectos agrícolas, o modelo incluirá fatores tais como: tipo de solo, mecanização, uso de fertilizantes, de inseticidas e de fungicidas, variedades, métodos de preparação do solo, etc. Quanto aos aspectos biológicos, serão incluídas variáveis relacionadas com o crescimento da planta. No aspecto climatológico considerar-se-ão variáveis, tais como, precipitação pluviométrica, temperatura, radiação solar, umidade do solo, geada, granizo, etc.

Um modelo de crescimento pode ser definido como uma representação física, química e fisiológica simplificada dos mecanismos da planta no processo de crescimento. A modelagem desse processo básico permite simular a resposta da planta a um dado conjunto de condições ambientais, podendo-se, por conseguinte, prever a produtividade a partir dos vários estágios de crescimento.

3.2 - ELABORAÇÃO DO MODELO

Em virtude da complexidade do problema, o modelo proposto deve ser construído de maneira a tentar a maior aproximação possível ao processo real de produção.

Uma das maneiras de abordar o problema é verificar quais os fatores importantes para a produção. Estes fatores são, então, agrupados por áreas de atuação, as quais são chamadas de subsistemas. Como possíveis subsistemas foram identificados:

- Subsistema Meteorológico.
- Subsistema Fisiológico.
- Subsistema Físico.
- Subsistema Tecnológico.
- Subsistema Sócio-Econômico.

Naylor e Finger (1967), os seguintes estágios para a validação do modelo deverão ser seguidos:

- crítica dos subsistemas do modelo e de suas premissas básicas;
- teste empírico das hipóteses explicitamente consideradas;
- comparação de entradas e saídas entre o modelo e a realidade.

Além disso, deve-se verificar cada parcela do modelo, assegurando-se a efetiva sequência de operações prevista.

CAPÍTULO IV

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As finalidades do modelo proposto são: diminuição do custo de obtenção de uma estimativa de produtividade agrícola e aumento da confiabilidade da estimativa obtida, em comparação com os sistemas convencionais de censos e amostragens estatísticas em uso atualmente. Estes sistemas usam o método de coleta de dados, através do preenchimento de questionários submetidos a produtores e a pessoas relacionadas com o processo produtivo.

Além disso, devido à estrutura dinâmica do modelo proposto, ele fornecerá uma estimativa, com maior antecedência, em relação ao período da colheita que o sistema tradicional, bem como estimativas periódicas da produtividade final, segundo o estágio de crescimento da cultura.

BIBLIOGRAFIA

- BAIER, W. Crop-weather models and their use in yield assessments. World Meteorological Organization. Technical Note No. 151, 1977.
- . Note on the terminology of crop weather models. *Agricultural Meteorology*, 20: 137-145, 1979.
- DE WIT, C.T.; BROUWER, R.; PENNING de VRIES, F.W.T. A dynamic model of plant and crop growth. In: WAREING, P.F.; COOPER, J.P. (ed.) *Potential crop production, a case study*. London, Heinemann Educational Books, 1971.
- . *Simulation of ecological processes*. Pudoc, Wageningen, 1974.

- FRAYSSE, G.; MALLET, P.; SUSPLUGAS, B. Utilisation des données recueillies par teledétection pour les modèles de prevision de recoltes: avantages économiques. Proceedings of an International Conference of Earth Observation Space and Management of Planetary Resources. Toulouse, 6-11, Mar. 1978.
- GOUDRIAAN, J.; WAGGONER, P.E. Simulating both aerial microclimate and soil temperature from observations above the foliar canopy. *Neth. J. Agric. Sci.* 20: 104-124, 1972.
- HAUN, J.R. Prediction of spring wheat yields from temperature and precipitation data. *Agronomy Journal*, 66: 405-409, 1974.
- HARTLEY, H.O. The modified Gauss-Newton method for the fitting of non-linear regression functions by least squares. *Technometrics*, 3(2): 269-280, May, 1961.
- KATZ, R.W. Sensitivity analysis of statistical crop weather models. *Agricultural meteorology*, 20: 291-300, 1979.
- NAYLOR, T.H.; FINGER, J.M. Verification of computer models. *Management Science*, 14(2): B-92/B-100, Oct., 1967.
- ODUMODU, O.L.; GRIFFITHS, J.F. Some techniques for predicting winter wheat yield in major wheat producing crop districts of Texas and Oklahoma. *Agricultural Meteorology*, 22: 267-269, 1980.
- PENNING de VRIES, F.W.T. Use of assimilates in higher plants. In: COOPER, J.P. (ed.) *Photosynthesis and productivity in different environments*. Cambridge University Press, pp. 459-480, 1975.
- PITTER, R.L. The effect of weather and technology on wheat yields in Oregon. *Agricultural Meteorology*, 18: 115-131, 1977.
- REES, H.J.B. A reappraisal of "the effect of weather and technology on wheat yields in Oregon". *Agricultural Meteorology*, 22: 281-287, 1980.
- SHAWCRAFT, R.W.; LEMON, E.R.; ALLEN, L.H.; STEWART, D.W.; JENSEN, S.E. The soil-plant-atmosphere model and some of its predictions. *Agricultural Meteorology*, 14: 387-307, 1974.
- SIROTENKO, O.D. Physicomathematical modelling in agrometeorology. *Soviet Meteorology and Hydrology*, 3: 66-72, 1978.
- SMITH, L.P. *Progress in Biometeorology*. Vol. 1, Amsterdam, Swets & Zeitlinger, 1975.

THOMPSON, L.M. . Evaluation of weather factors in the production of wheat in the United States. J.P. of Soil Water Conserv., 17: 219-224, 1962.

———. Weather and technology in the production of wheat in the United States. J.P. of Soil Water Conserv., 24: 219-224, 1969.

WAREING, P.F.; COOPER, J.P. (ed.) Potential crop production, a case study. London, Heinemann Educational Books, 1971.