

LUIZ CLÁUDIO COSTA

MODELO AGROMETEOROLÓGICO DE PREVISÃO DE PRODUTIVIDADE DA SOJA PARA
AS REGIÕES DO TRIÂNGULO MINEIRO E ALTO PARANAÍBA, MINAS GERAIS

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorolo
gia Agrícola, para Obtenção do Tí
tulo de "Magister Scientiae".

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
DEZEMBRO - 1988

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Ficha catalográfica preparada pela área de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

C837m
1988

Costa, Luiz Cláudio.

Modelo agrometeorológico de previsão de produtividade da soja para as regiões do Triângulo Mineiro e alto Paranaíba, Minas Gerais. Viçosa, UFV, 1988.

40p.

Tese (M.S.) - UFV

1. Meteorologia agrícola. 2. Soja - Produtividade. 3. Climatologia agrícola. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD - 18.ed. 630.2515

CDD - 19.ed. 630.2515

LUIZ CLÁUDIO COSTA

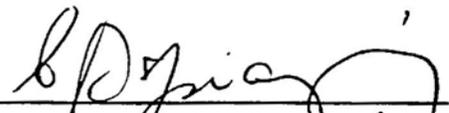
MODELO AGROMETEOROLÓGICO DE PREVISÃO DE PRODUTIVIDADE DA SOJA PARA
AS REGIÕES DO TRIÂNGULO MINEIRO E ALTO PARANAÍBA, MINAS GERAIS

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorolo
gia Agrícola, para Obtenção do Tí
tulo de "Magister Scientiae".

APROVADA: 09 de setembro de 1988



Prof. Tuneso Sedyama
(Conselheiro)



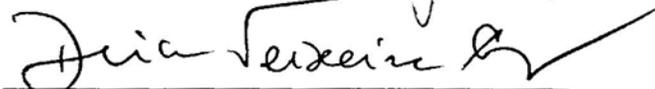
Prof. Celestino Aspiazu
(Conselheiro)



Prof. Rubens Leite Vianello



Prof. Gilberto Chohaku Sedyama



Prof. José Maria Nogueira da Costa
(Orientador)

A meu pai José Paula Castro (in memoriam),
A minha mãe Maria Sales de Paula Castro,
A minha esposa Mara,
A meus filhos Andressa e Diego,
A meus amigos,
A Deus.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, mais especificamente à coordenação de pós-graduação em Meteorologia Agrícola, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao Professor José Maria Nogueira da Costa, pela orientação segura e pelas sugestões apresentadas.

Aos Professores Conselheiros Tuneo Sedyama e Celestino Aspiazú, pelas importantes contribuições técnicas recebidas e pela oportunidade da convivência.

Ao Professor Gilberto C. Sedyama, pela amizade e pelas contribuições técnicas durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores da Área de Meteorologia Agrícola, pela convivência, pela disposição e pela atenção com que me atenderam.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola, representado pelos seus funcionários, professores e pelo seu chefe, o Professor Paulo Afonso Ferreira, pelo apoio e pela amizade.

Aos colegas do curso, pela convivência e pela amizade.

Ao Professor Rubens Leite Vianello, pela oportunidade de desfrutar de sua intimidade, marco importante na minha formação técnica e exemplo na minha formação como homem.

Ao meu pai e à minha mãe, pela orientação desde os meus primeiros passos.

Aos meus familiares e aos meus amigos, pelo incentivo recebido.

À minha esposa Mara e aos meus filhos Andressa e Diego, pelo amor e pelo desprendimento em ceder parte do tempo de nossa convivência para que mais esta etapa fosse vencida.

BIOGRAFIA

LUIZ CLÁUDIO COSTA, nasceu em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Em julho de 1983, concluiu o Curso Superior em Matemática na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

Em setembro de 1983, ingressou no corpo docente da Universidade Federal de Viçosa, lecionando Matemática para o Colégio Universitário.

Em julho de 1985, iniciou o Curso de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa.

Em novembro de 1986, foi transferido para o Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, para exercer as atividades de Ensino, Pesquisa e Extensão na área de Meteorologia Agrícola.

Em agosto de 1988, foi aprovado em concurso para o ingresso na carreira do magistério superior, área de Meteorologia Agrícola, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
EXTRATO	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. A Cultura da Soja e sua Evolução em Minas Gerais	3
2.2. Influências do Clima sobre as Safras Agrícolas	4
2.3. Modelos de Previsão de Safra	10
3. METODOLOGIA	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Influências das Variáveis Agrometeorológicas na Produtivi <u>de</u> dade da Cultura da Soja	22
4.2. Desenvolvimento do Modelo	26
4.3. Validação do Modelo	31
5. RESUMO E CONCLUSÕES	34
BIBLIOGRAFIA	36

LISTA DE QUADROS

	Página
1 Produção e Produtividade da Cultura da Soja no Estado de <u>Mi</u> nas Gerais, no Período de 1960-1985 (IBGE (1))	5
2 Localização das Estações Climatológicas Utilizadas	14
3 Região, Categoria, Localidade e Número de Estações Clima <u>t</u> ológicas	15
4 Correlações entre Variáveis Climáticas e Resíduos	23
5 Correlações Seleccionadas após Testes de GRAYBILL entre Pre <u>ci</u> pitação (P), Resíduo e Graus-Dia (GD) e Resíduo	24
6 Duração das Fases Fenológicas Plantio-Floração e Plantio- <u>Ma</u> turação do Cultivar de Soja UFV-1	26
7 Duração das Fases Fenológicas Plantio-Floração e Plantio- <u>Ma</u> turação do Cultivar de Soja Paraná	26
8 Resumo da Análise de Variância do Modelo	29
9 Análise do Modelo e Correlações entre as Variáveis	30

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Taxa de Desenvolvimento da Soja em Função da Temperatura (BROWN, 7)	7
2 Visão Conceitual do Modelo Baseado nas Diferenças entre a Produtividade Observada e a Estimada pela Curva de Tendên- cia Tecnológica	17
3 Diagrama de Dispersão entre Ano e Produtividade	27

EXTRATO

COSTA, Luiz Cláudio, M.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 1988. Modelo Agrometeorológico de Precisão de Produtividade da Soja para as Regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Minas Gerais. Professor Orientador: José Maria Nogueira da Costa. Professores Conselheiros: Tunes Sedyama e Celestino Aspiazú.

Dados decendiais de elementos climáticos das regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba foram correlacionados com a produtividade da cultura da soja, com o objetivo de identificar os elementos que mais influenciam na produção final de grãos.

Isolados os fatores tecnológicos por meio de técnicas econométricas, análises estatísticas, referendadas por observações físicas, evidenciaram que a precipitação pluvial no 3.^o decêndio de setembro e graus-dia no 1.^o decêndio de dezembro são os elementos que mais afetam a produtividade da soja.

O modelo final de previsão da produtividade da cultura da soja incorporou em sua formulação as variáveis tecnológicas, representadas pelo ano de plantio da cultura, e os elementos climáticos precipitação e graus-dia, obtendo índice de acerto de 98% em 1986 e 97% em 1987, além de possibilitar a previsão da produtividade em dezembro, enquanto a colheita inicia-se geralmente em março.

1. INTRODUÇÃO

Desde a sua implantação no Estado de Minas Gerais, em 1960, a cultura da soja tem apresentado alta expansão, tornando-se importante fonte de divisas para o Estado. Esta expansão deve-se ao crescimento da área cultivada, bem como ao importante respaldo dado pelas pesquisas agrônomicas, principalmente no que se refere a melhoramento genético, controle fitossanitário e manejo da fertilidade do solo. Dentre os diversos fatores que afetam a produção agrícola, os elementos meteorológicos destacam-se entre aqueles que podem apresentar variações mais bruscas de ano para ano. Essas variações são fontes geradoras de oscilações na produção agrícola, causando expectativa sobre a produção final de grãos nos setores responsáveis pelas áreas de transporte, comercialização e armazenamento da safra agrícola.

Devido à importância econômica de se obter antecipadamente a previsão da produção agrícola, muitos esforços têm sido feitos no sentido de quantificar a influência do clima na produção de grãos..

Quando há o interesse em conhecer qual o comportamento de uma cultura em relação ao clima, procura-se determinar quais as funções biológicas responsáveis pelo seu crescimento e desenvolvimento que estão mais diretamente ligadas com os diferentes elementos meteorológicos. Especificamente com o objetivo de determinar a influência dos elementos

meteorológicos na produção de grãos de uma cultura, torna-se necessário associar os estudos agroclimáticos com observações fenológicas.

Apesar de ser um assunto bastante estudado pelos pesquisadores e considerado uma necessidade mundial desde novembro de 1974, quando a Conferência Mundial de Alimentação atribuiu à FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação) a função de operacionalizar um sistema mundial de informações e alertas sobre a agricultura, o assunto ainda vem sendo modestamente discutido no Brasil, principalmente em Minas Gerais, onde poucas pesquisas foram desenvolvidas sobre o assunto.

O presente trabalho pretendeu atingir dois importantes objetivos:

- a) analisar a influência de elementos agrometeorológicos dentro do ciclo fenológico da cultura da soja e
- b) desenvolver um modelo para estimar a produtividade da soja para as regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Minas Gerais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Cultura da Soja e sua Evolução em Minas Gerais

Originária da Ásia, a soja (Glycine max (L.) Merrill), juntamente com o trigo e o arroz, forma o tripé culinário do Oriente, isto desde os primeiros tempos do Budismo Zen. Sua versatilidade como alimento inclui queijos, pastas, cremes, gelatinas, bifes e tortas protéicas, sendo que do grão extrai-se o leite, e da polpa retira-se o óleo de soja, alimento que faz parte dos hábitos do consumidor, correspondendo a 90% da demanda brasileira de óleos comestíveis. Pelo alto teor protéico, o farelo de soja tem grande emprego na fabricação de rações balanceadas e responde pela quase totalidade da alimentação de suínos nos Estados Unidos e bovinos nos países da Comunidade Econômica Européia. Este complexo - soja-grãos, farelo e óleo - constitui hoje fator ponderável na atividade agrícola e na balança comercial do Brasil, que em nível mundial apresenta-se em segundo lugar como produtor de soja, sendo superado somente pelos Estados Unidos. Bem adaptada ao verão quente e úmido das regiões temperadas, apenas recentemente sua produção tem-se estendido às regiões tropicais úmidas (14).

Embora a cultura da soja seja bastante recente como exploração econômica, sua divulgação é relativamente antiga em Minas Gerais, mesmo

antes de 1930, quando a soja já era estudada na antiga Subestação Experimental de Lavras.

Em 1934, pesquisadores divulgaram, em Minas Gerais, o valor alimentício e a possibilidade de exploração da leguminosa, bem como a cultura passou também a ser estudada pela Escola Superior de Agricultura e Veterinária, hoje Universidade Federal de Viçosa, objetivando auxiliar os fazendeiros na melhoria da alimentação dos animais (24).

A partir de 1940 foi intensificada a divulgação escrita sobre as vantagens da utilização e sobre técnicas culturais da soja, e, nessa mesma época, a Universidade Federal de Viçosa já produzia sementes para os agricultores da Zona da Mata. Entretanto, mesmo com inúmeras tentativas de divulgação da soja em Minas Gerais, mostrando as vantagens para sua exploração com fins industriais, até o fim da década de 60 essa leguminosa não apresentava grande importância econômica (24).

Durante o período de 1960 a 1969, a produção mineral oscilou apenas de 72 a 559 toneladas anuais (Quadro 1). Em 1969, através de pesquisas desenvolvidas no Triângulo Mineiro pela Universidade Federal de Viçosa, foram constatadas adaptação e produtividade boas dessa leguminosa naquela região. A evolução das pesquisas a partir dessa data proporcionou grande incremento na produção da soja no Estado de Minas Gerais, tornando a cultura uma das mais importantes economicamente para o Estado.

2.2. Influências do Clima sobre as Safras Agrícolas

As relações entre o clima e a produtividade agrícola, apesar de altamente complexas, vêm recebendo a atenção de pesquisadores há bastante tempo. RÉAUMUR (33), em 1735, afirmava que a soma das médias diárias de temperatura entre dois estádios de desenvolvimento é constante para uma mesma cultura. SMITH (44), utilizando técnicas estatísticas, determinou os elementos do clima que mais afetavam a produtividade do trigo em Ohio (E.U.A.), concluindo que as precipitações pluviais de setembro, junho e julho, juntamente com as temperaturas de junho, julho e agosto, influenciavam, destacadamente, na produtividade da cultura. RUNGE e ODELL

QUADRO 1. Produção e Produtividade da Cultura da Soja no Estado de Minas Gerais, no Período de 1960-1985 (IBGE (1))

Ano	Produção (t)	Produtividade (kg/ha)
1960	222	492
1961	160	539
1962	131	483
1963	230	358
1964	159	418
1965	114	435
1966	72	355
1967	428	941
1968	360	1.056
1969	559	861
1970	1.806	1.144
1971	1.379	795
1972	8.895	993
1973	36.318	1.592
1974	57.600	1.200
1975	87.375	1.152
1976	105.515	1.324
1977	105.588	1.057
1978	137.064	1.222
1979	195.042	1.664
1980	289.542	1.783
1981	273.874	1.472
1982	390.390	1.700
1983	477.222	1.850
1984	554.082	1.670
1985	882.607	1.975

Fonte: IBGE.

(38), em 1960, observaram que a precipitação e a temperatura máxima diária explicaram 68% da variação da produção da soja nos anos de 1903 a 1956, em Urbana, Illinois. ROBERTSON (35), em 1968, avaliou a influência da temperatura do dia e da noite, do nictoperíodo e do fotoperíodo sobre o ciclo fenológico do trigo e chegou a um modelo que consistia de três termos quadráticos: um para fotoperíodo, um para temperatura máxima e outro para temperatura mínima.

No Brasil, os estudos visando analisar a interação do clima com a cultura apresentam grandes diversidades quanto à metodologia adotada.

MOTA e WENDT (25) utilizaram técnicas de regressão múltipla para prever a produtividade média do trigo no Estado do Rio Grande do Sul. Com este objetivo, utilizaram dados estatísticos de produtividade do trigo no Estado e dados mensais dos elementos meteorológicos. Os resultados indicaram que as variações no rendimento do trigo, ano para ano, são explicadas em 86% pela duração do brilho solar, em agosto e setembro, e pela umidade relativa, em outubro. Os dados utilizados pelos pesquisadores foram do período de 1962 a 1970.

LIU e LIU (21) utilizaram técnicas de regressão linear e não-linear monovariáveis para selecionar os parâmetros climáticos, que influenciam na produtividade do trigo no Rio Grande do Sul, e métodos de regressão múltipla para estabelecer modelos alternativos de produtividade. Os autores consideraram a influência de fatores tecnológicos na produtividade da cultura. Trabalhando no período de 1959 a 1972, observaram que a produtividade do trigo é dependente da diferença entre o valor da precipitação e o da evapotranspiração de junho e outubro, do quadrado da diferença entre o valor da precipitação e o da evapotranspiração de agosto e novembro e da temperatura mínima média de agosto. As previsões obtidas pelo modelo apresentaram um erro médio de 6,5%, baseando-se em testes efetuados durante 14 anos. As diferenças dos resultados obtidos por MOTA e WENDT (25) e LIU e LIU (21) devem-se a séries históricas e metodologias diferentes, sendo que o modelo de LIU e LIU (22) apresentou maior rigor nas técnicas estatísticas utilizadas, obtendo-se maior sucesso no objetivo de prever o rendimento do trigo no Rio Grande do Sul, apesar de

incorporar no modelo variáveis difíceis de serem referendadas fisicamente.

GELASCH e ALMEIDA (11) utilizaram séries históricas de produtividade e de dados climáticos diários de 24 anos (1957-1980), com o objetivo de quantificar a influência desses dados na produtividade do milho no Estado de São Paulo. Por meio de ajustes polinomiais e técnicas de regressão linear múltipla, esses autores chegaram a um modelo dependente da precipitação pluvial e da temperatura do ar, que apresentou um coeficiente de determinação de 0,92.

As exigências bioclimáticas mais importantes, tanto no plantio quanto nas diversas fases de desenvolvimento da cultura da soja, são a temperatura do ar, a disponibilidade de água no solo e o fotoperíodo (30, 36, 39, 40). BROWN (7), analisando a influência da temperatura na taxa de desenvolvimento da soja, encontrou uma relação curvilínea entre desenvolvimento e temperatura, que é apresentada na Figura 1.



FIGURA 1. Taxa de Desenvolvimento da Soja em Função da Temperatura (BROWN, 7).

A Figura 1 apresenta no eixo Y a taxa de desenvolvimento da soja, representada pelo inverso do número de horas noturnas do plantio ao

florescimento, e no eixo X, temperaturas médias. Analisando essa figura, verifica-se que a relação entre a temperatura e a taxa de desenvolvimento da soja é não-linear, mostrando que para altas temperaturas a taxa de desenvolvimento decresce. Observa-se ainda que, para a temperatura de 50°F (10°C), a taxa de desenvolvimento é nula, indicando que para esta temperatura a soja irá necessitar de infinitos dias para florescer. Ainda de acordo com a curva, a temperatura ótima para o desenvolvimento da soja é 86°F (30°C), e a partir desta temperatura a taxa de desenvolvimento decresce, isto é, aumenta o número de dias necessários para a cultura florescer. Os resultados indicam que o valor de 10°C deve ser utilizado como a temperatura mínima necessária ao florescimento da soja e o de 30°C, como a temperatura ótima.

A temperatura ótima para a germinação é definida como aquela em que a maior percentagem de sementes germina mais rapidamente. Acima ou abaixo deste ótimo, as sementes podem atingir 100% de germinação, mas o tempo gasto será maior. As temperaturas máximas e mínimas são os limites dentro dos quais a germinação pode ocorrer.

Mesmo sendo considerada como o principal elemento que influencia no desenvolvimento vegetativo das plantas de soja, a temperatura do ar não é suficiente para explicar todo o processo, sendo necessário considerar o fotoperíodo e a disponibilidade de água no solo (39, 40).

Classificada como planta de dia curto, em virtude de o seu florescimento ser induzido com a diminuição do comprimento do dia, a soja apresenta valores de fotoperíodo críticos, que diferem sensivelmente entre os cultivares, variando de 12 horas para genótipos adaptados aos trópicos até valores maiores para os cultivares adaptados a latitudes mais altas (44). Uma planta de dias curtos floresce quando o comprimento do dia é inferior a um comprimento crítico máximo. As condições de luz que superam este valor crítico fazem com que a planta de dias curtos se mantenha em estado vegetativo. Fotoperíodo crítico, que é variável segundo as espécies, é o comprimento máximo do dia abaixo do qual a planta de dias curtos tem seu florescimento induzido.

As necessidades fotoperiódicas de uma cultura são altamente cor relacionadas com as necessidades térmicas. A combinação dos efeitos do fotoperíodo e da temperatura é elemento determinante na época de flores cimento e maturação da soja (23). Dada a grande interação existente en tre o fotoperíodo e a temperatura, as respostas da soja ao comprimento do dia podem ser mascaradas pelo efeito da temperatura (46).

Variando artificialmente os períodos de exposição da cultura à luz, PARKER e BORTHWICK (30) concluíram que o elemento determinante da época de florescimento da soja é o período de ausência de luz.

Na região Centro-Sul do Brasil, a soja floresce quando os dias começam a encurtar. Durante os meses de inverno, o fotoperíodo é menor que os fotoperíodos críticos para as variedades de soja comumente culti vadas, o que resulta florescimento precoce da cultura, reduzindo o seu ciclo, admitindo-se condições térmicas e hídricas adequadas.

Em condições de clima tropical, um dos fatores mais limitantes à produção das culturas agrícolas anuais é a disponibilidade de água no so lo. GRISSON et alii (18) observaram que as necessidades de água da soja são menores durante o período vegetativo do que durante os períodos de florescimento e frutificação. CONSTABLE e HEARN (12) observaram que, sob condições de cultura irrigada, o período de maturação pode ser anteci pa do de oito a 10 dias, em relação à cultura não irrigada. ARRUDA et alii (2) concluíram que a importância da disponibilidade hídrica no solo, no ciclo da cultura de soja, é grande no período de estabelecimento da cul- tura, que se reduz na época do crescimento vegetativo e aumenta, gradati vamente, a partir do florescimento até a formação de vagens, apresenta n do pouca importância no final do ciclo, durante a maturação. Tais estu dos foram realizados para as condições do Estado de São Paulo, com culti vares recentes obtidos por melhoramento genético, o que pode justificar algumas diferenças com outros estudos.

Para as condições de cultivo da soja no Brasil, a maioria dos es tudos, relacionando clima e produtividade da cultura, levam em considera- ção, principalmente, a variável hídrica (8, 27, 42). ARRUDA et alii (2), correlacionando as precipitações ocorridas em diferentes períodos de

desenvolvimento da cultura da soja, com a produção final de grãos, chegaram a estimativas relativamente precisas, após análises das precipitações acumuladas a partir da segunda quinzena de janeiro até meados de fevereiro. SEGOVIA e ANDRADE (42) desenvolveram um modelo que penaliza a produtividade da cultura quando a umidade do solo se afasta da considerada ideal. O modelo permite estimar as variações na safra considerada potencial, uma vez que são conhecidos a distribuição da precipitação pluvial e os limites da água disponível no solo.

As relações clima e produção da soja para o Estado de Minas Gerais não são bem estabelecidas. Recentemente, LIU e LIU (22) desenvolveram um modelo de produtividade de soja para o Estado, baseado em elementos climáticos, trabalhando com dados de 12 anos, em três estações climatológicas, e obtiveram modelos para a previsão da safra em nível de Estado, com 10 a 12 elementos climáticos. A utilização de um grande número de variáveis num modelo para chegar-se a resultados satisfatórios mostra o nível de desconhecimento dos parâmetros e suas interações, além de ser altamente indesejável do ponto de vista operacional.

2.3. Modelos de Previsão de Safra

Vários modelos vêm sendo desenvolvidos no sentido de se determinar a influência de elementos climáticos na produção agrícola. BAIER (4) propôs a seguinte classificação de modelos que relacionam clima e rendimento:

- a) modelos de regressão múltipla;
- b) modelos de simulação; e
- c) modelos de base estatística.

As técnicas de previsão de safras normalmente se fundamentam na relação estatística que existe entre a variável dependente a ser estimada (rendimento) e os elementos meteorológicos independentes (temperatura, precipitação etc.). As variáveis independentes, ou os elementos preditores, são escolhidas de acordo com uma experiência agrometeorológica

prévia ou por intuição. Quando diferentes variáveis estão inter-relacionadas, as variáveis dominantes podem ser definidas mediante análise de regressão multivariável. Estas técnicas são tratamentos práticos, que requerem aproximações empíricas, levando a previsões altamente satisfatórias. Estes métodos não se preocupam em explicar integralmente o impacto que os fatores ambientais exercem nos cultivos, sendo, portanto, as relações de causa e efeito temas para outras pesquisas. Tais métodos não podem ser transferidos de uma região para outra, uma vez que os elementos meteorológicos são homogêneos no espaço somente em zonas limitadas que tenham aproximadamente o mesmo tipo de solo, topografia, clima, práticas de cultivo etc. Em consequência, as relações de previsão são variáveis de uma região para outra.

ROBERTSON (34) definiu os princípios nos quais se devem basear as técnicas de previsão de safras:

- a) as condições atuais dos cultivos podem ser avaliadas a partir de dados do passado, com o objetivo de determinar a sua capacidade de produção;
- b) a umidade do solo pode ser estimada a partir de dados do passado, e é uma das variáveis ambientais mais importantes na produção de uma cultura;
- c) as condições meteorológicas presentes têm a tendência de persistir no futuro durante um certo número de dias e, por conseguinte, tendem, em sentido estatístico, à normal, com uma probabilidade de distribuição conhecida;
- d) a distribuição de probabilidade dos elementos meteorológicos mais importantes pode ser utilizada para determinar as prováveis trocas futuras com respeito às condições atuais de cultivo, bem como sua capacidade potencial de produção;
- e) os elementos meteorológicos, especialmente a temperatura e a radiação, são conservativos no que se refere à sua distribuição em grande escala, de modo que os registros meteorológicos, inclusive os correspondentes a um número limitado de estação de observação, podem ser utilizados para estimar os rendimentos e a produção de uma área relativamente extensa.

Dentro dessa linha de procedimentos, vários modelos foram desenvolvidos: EZEKIEL (15), em 1914, utilizou técnicas de regressão linear aplicadas a dados médios trimestrais de precipitação e de temperatura do ar para analisar a influência de parâmetros climáticos na produção de trigo nos Estados Unidos da América. Os resultados obtidos não foram considerados satisfatórios.

THOMPSON (45), em 1963, utilizando técnicas de regressão múltipla para verificar a influência dos elementos climáticos sobre o trigo e a soja nos Estados Unidos da América, conseguiu resultados satisfatórios em suas análises, obtendo uma correlação de 0,98 entre a produtividade calculada pelo método proposto e os resultados oficiais dos órgãos governamentais. MOTA e WENDT (25), trabalhando com trigo no Rio Grande do Sul, estabeleceram, inicialmente, uma análise de regressão simples entre produtividade do trigo e dados climatológicos, com o objetivo de selecionar os elementos climatológicos mais fortemente correlacionados com a produtividade. A aplicação da equação de regressão múltipla para prever o rendimento médio do trigo no Rio Grande do Sul gerou resultados satisfatórios, com um coeficiente de determinação igual a 0,86. CELASCH e ALMEIDA (11), utilizando técnicas de regressão linear múltipla para determinar a influência de dados climáticos na produção de milho no Estado de São Paulo, otiveram modelo com um coeficiente de determinação de 0,92. LIU e LIU (22), trabalhando com a cultura de soja no Estado de Minas Gerais, selecionaram os parâmetros climáticos pela regressão simples e os agruparam nos vários modelos desenvolvidos, que foram selecionados pelo critério de regressão multivariável, chegando a modelos que apresentavam erros de previsão variando de 0,1 a 8,3%.

ARRUDA et alii (2) usaram técnicas de regressão para correlacionar as precipitações ocorridas em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura da soja, com a produção final de grãos, chegando a estimativas relativamente precisas, e assim obtiveram modelos com coeficientes de determinação de 0,93 e 0,99.

Os modelos que utilizam técnicas de simulação tentam estabelecer a interação clima e produtividade, utilizando não apenas dados

meteorológicos, mas também variáveis da cultura e do solo. ROBERTSON (35) testou quatro modelos para estimar a taxa de desenvolvimento do trigo com base em dados meteorológicos e dados fenológicos da cultura. O modelo mais eficiente consistiu de três termos quadráticos: um para fotoperíodo, um para temperatura máxima do ar e outro para temperatura mínima. Este enfoque metodológico praticamente não tem sido testado no Brasil.

Os modelos estatísticos são os que estão em uso operacional no Brasil. Por meio da utilização de técnicas de amostragem, derivadas de informações obtidas diretamente do agricultor sobre a área plantada e a estimativa da produtividade para diversas culturas, em várias unidades produtoras, faz-se a previsão das safras. Esses dados são coletados por técnicos ligados a órgãos de agricultura, em cada Estado, através de questionários, e uma vez agrupados e tabulados, faz-se a previsão final da safra por técnicas de inferência estatística (10). Esse método apresenta uma série de restrições, tais como: alto custo no levantamento de informações, distorções nas informações em virtude da diferenciação na formação e conhecimento dos produtores e técnicos, o que contribui para aumentar a subjetividade dessas informações. Além disto, a tramitação dos dados é extremamente lenta, em razão da grande quantidade de amostras necessária para a previsão final.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado, utilizando-se os dados de sete localidades representativas das regiões produtoras de soja em Minas Gerais (Quadro 2).

QUADRO 2. Localização das Estações Climatológicas Utilizadas

Localidade	Latitude	Longitude	Altitude (Metros)	Série (Ano) Período	
Uberaba	19°45'S	47°55'W	742,90	1965	1985
Frutal	20°02'S	48°56'W	543,67	1965	1985
Capinópolis	18°41'S	49°34'W	620,60	1970	1985
Patrocínio	18°57'S	47°00'W	933,38	1974	1985
Araxá	19°34'S	46°56'W	1004,67	1971	1985
Uberlândia	18°55'S	48°17'W	872,00	1980	1985
Ituiutaba	18°58'S	49°21'W	543,00	1980	1984

Foram utilizados os seguintes dados meteorológicos diários: temperatura média do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa média, precipitação pluvial e duração do brilho

solar. Esses dados foram fornecidos pelo 5.^o Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia.

Para atender aos objetivos deste trabalho, procurou-se contar com o maior número possível de estações dentro das regiões produtoras de soja no Estado de Minas Gerais: Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, na tentativa de detectar as diversidades climáticas das regiões.

No Quadro 3 estão apresentadas a classificação e a região das estações utilizadas no presente trabalho.

QUADRO 3. Região, Categoria, Localidade e Número de Estações Climatológicas

Região	N. ^o de Estações	Localidade	Categoria*
Triângulo Mineiro	05	Capinópolis	CP
		Uberaba	CP
		Uberlândia	CA
		Frutal	CA
		Ituiutaba	CA
Alto Paranaíba	02	Araxá	CP
		Patrocínio	CA

* CP = Climatológica principal.

CA = Climatológica auxiliar.

Os dados fenológicos da cultura da soja utilizados neste trabalho foram:

- a) data de plantio;
- b) data de início do florescimento;
- c) data de início de maturação; e
- d) produção de grãos.

Os dados fenológicos foram obtidos junto ao Programa de Pesquisa da Soja da Universidade Federal de Viçosa. Os dados de produção foram

obtidos nas publicações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Para analisar a influência de elementos meteorológicos sobre a produtividade da soja, tentou-se determinar, inicialmente, a influência das variáveis tecnológicas, tais como tradição no plantio da cultura, densidade de plantio, tipos de solo, cultivares da soja, práticas culturais, política governamental, insumos etc. Uma vez que não existem séries históricas que permitam verificar a influência das variáveis tecnológicas, partiu-se para a saída clássica, que é determinar uma função chamada tendência tecnológica, que busca explicar a evolução do rendimento da cultura através do tempo. Com este objetivo, admitiram-se o ano como variável independente e a produtividade como dependente, verificando a curva que melhor se ajusta aos dados. Esta curva é chamada de Tendência Tecnológica, ou seja, é o valor da produtividade que era esperado com os recursos tecnológicos utilizados. O estabelecimento de uma tendência tecnológica é um recurso econométrico para explicar o crescimento de uma variável dependente, no caso a produtividade, em função do tempo, quando não se possuem dados históricos das variáveis independentes que atuam no processo, e é possível admitir estas variáveis como recursos fixos de ano para ano, ou seja, variáveis que não apresentam variações bruscas de um ano para outro. Plotando em um mesmo diagrama a tendência tecnológica que representa a produtividade esperada em razão da tecnologia e dos dados de produtividade observados, ao longo dos anos, admite-se que a diferença entre os pontos da curva e os pontos de produtividade para cada ano são resultados de variações climáticas ocorridas nestes anos. A Figura 2 apresenta a visão conceitual do modelo.

Uma vez obtidos os resíduos oriundos da diferença entre a tendência tecnológica e a produtividade observada, faz-se a correlação entre a série de resíduos com séries decendiais de precipitação (P), evapotranspiração máxima (ETM), evapotranspiração real (ETA), relações entre evapotranspiração máxima e evapotranspiração real, $R = \text{ETA}/\text{ETM}$, e graus-dia (GD), para os meses de setembro, outubro, novembro, dezembro e janeiro, no sentido de determinar quais desses elementos climáticos estão mais

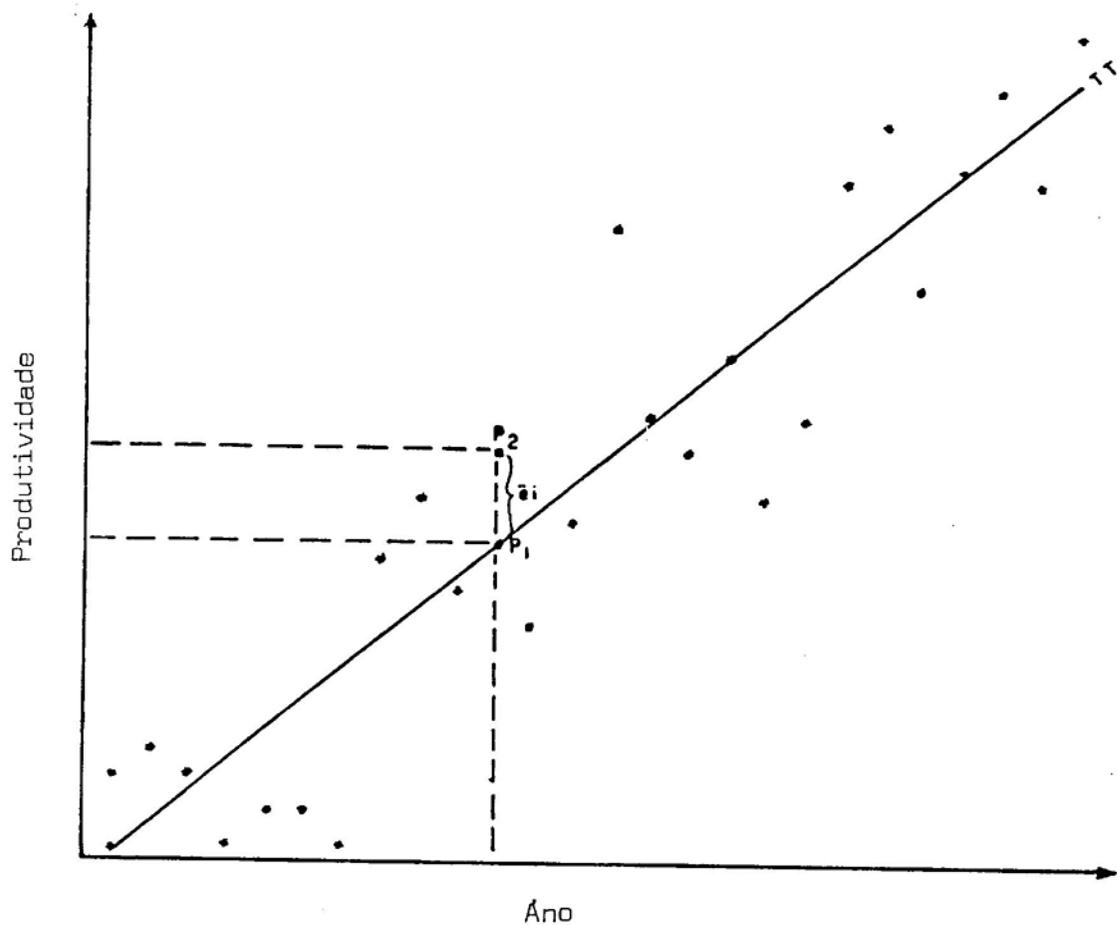


FIGURA 2. Visão Conceitual do Modelo Baseado nas Diferenças entre a Produtividade Observada e a Estimada pela Curva de Tendência Tecnológica.

A reta representada na Figura 2 por TT é a tendência tecnológica. As diferenças entre os pontos de reta e as observações de produtividade para cada ano (\bar{e}_i) são atribuídas as oscilações climáticas ocorridas. Na figura têm-se:

- P_1 = produtividade esperada devido aos fatores tecnológicos;
- P_2 = produtividade ocorrida; e
- $P_1 - P_2 = \bar{e}_i$ = resíduo que se atribui a variações climáticas.

fortemente associados com os resíduos. A expectativa é de que com os dados decendiais se consiga detectar fenômenos que seriam de difícil identificação, caso o trabalho fosse feito com dados mensais. Os meses de setembro a janeiro foram selecionados com períodos de estudos climáticos, devido ao fato de o início do plantio da soja ocorrer geralmente em outubro e a colheita, em março. O mês de janeiro foi considerado como limite no estudo das variáveis agrometeorológicas que afetam a produtividade, uma vez que, para se obter um modelo de previsão de safra, é preciso um período, entre a previsão e a colheita, suficiente para que se tomem as medidas operacionais necessárias na área de armazenamento, comercialização, transportes, preços etc.

A utilização desta metodologia possibilitou a identificação dentro do período de crescimento da cultura de variáveis agrometeorológicas que mais afetam a cultura, com o objetivo de obter evidências que permitam associar estas variáveis com a produção de grãos.

No final das correlações, obtiveram-se para cada decêndio sete séries de coeficientes de correlação linear, respectivamente: P, ETM, ETA, R, Θ , bem como correlações parciais de P na presença de Θ e Θ na presença de P. Matricialmente, a representação seria a seguinte para uma dada variável em determinado mês:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} E \\ \left| \begin{array}{c} \hat{e}_1 \\ \hat{e}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \hat{e}_n \end{array} \right| \\ X \end{array} \\
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{c} X \\ \left| \begin{array}{ccc} X_{1,1} & X_{1,2} & X_{1,3} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & X_{2,3} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ X_{n,1} & X_{n,2} & X_{n,3} \end{array} \right| \\ C \end{array} \\
 \end{array}
 = \left| C_1, C_2, C_3 \right|$$

em que:

E = vetor-resíduo;

X = matriz de uma das variáveis agrometeorológicas em determinado mês;

C = vetor dos coeficientes de correlações entre E e X;

n = número de anos; e

X = operador de correlação linear.

Um elemento qualquer da matriz $(X_{i,j})$ é variável agrometeorológica X , observada no ano i e decênio j do mês em estudo.

As correlações obtidas por este método serão testadas pelo método proposto por GRAYBILL (17), que consiste em testar a hipótese de que K correlações $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_k$ são estatisticamente iguais, isto é: $H_0: \rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \dots = \rho_k$, usando a quantidade $W = \sum (n_i - 3) (Z_i - \bar{Z})^2$ como o qui-quadrado calculado com $k-1$ graus de liberdade, sendo $Z_i = \arctangente\ de\ h, \hat{\rho}_i, \bar{Z} = \frac{\sum (n_i - 3) Z_i}{\sum (n_i - 3)}$, e n = número de dados que deram origem à série de correlações.

O valor do qui-quadrado calculado é comparado com o valor do tabelado com $k-1$ graus de liberdade, a um nível de 5% de significância, para aceitar ou rejeitar a hipótese H_0 . Inicialmente, testaram-se as correlações de P na presença de G com a correlação simples de P , no sentido de identificar diferenças estatísticas entre as correlações parciais e simples de precipitação. O mesmo teste foi feito entre G na presença de P e a correlação simples de G . Posteriormente, os testes foram efetuados dentro de cada mês para cada variável, com o intuito de verificar se as correlações obtidas nos três decênios foram estatisticamente diferentes.

Após a realização das análises mencionadas anteriormente, selecionou-se, dentro de cada período, a correlação mais representativa, pela fórmula proposta por GRAYBILL (17).

$$\hat{\rho} = \tanh Z^*, \text{ com:} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$Z^* = \bar{Z} - \frac{m \rho^*}{2} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\rho^* = \frac{1}{k} \sum \hat{\rho}_i \quad (\text{Eq. 3})$$

$$m = \frac{\sum |(n_i - 3)/(n_i - 1)|}{\sum (n_i - 3)} \quad (\text{Eq. 4})$$

Uma vez feitos os testes e selecionadas as correlações mais importantes para cada período, considerou-se como variável significativa ao

modelo final a média da variável analisada, no período em que a correlação foi identificada como relevante.

Determinados estatisticamente as variáveis e os períodos mais importantes para a cultura, os mesmos foram analisados com o ciclo da cultura no sentido de referendar os resultados estatísticos pelas causas físicas. Também foram feitas análises de multicolinearidades entre as variáveis através do método de seleção "Stepwise".

Utilizou-se um dos modelos utilizados por MAJOR *et alii* (23) no cálculo dos graus-dia necessário para a avaliação da duração do ciclo plantio/maturação da cultura da soja:

$$GD = \sum_{j=1}^n \left| \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - 10 \right| \quad (\text{Eq. 5})$$

em que:

- GD = graus-dia acumulado ($^{\circ}\text{C}$);
- T_{\max} = temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$);
- T_{\min} = temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$); e
- 10 = temperatura-base considerada.

O cálculo da disponibilidade hídrica do solo, durante as fases da cultura, foi determinado pelo método do balanço hídrico versátil diário (3). Este método foi desenvolvido especificamente para aceitar dados diários de precipitação e estimar a evapotranspiração potencial através de simulações das variações diárias de umidade do solo, utilizando-se os conceitos de movimento de água no solo, a evaporação da água do solo e a evapotranspiração da cultura.

O modelo admite ainda que a água armazenada no solo se divide em N camadas, que se situam em diferentes profundidades. A equação geral do modelo é:

$$AE_i = \sum_{j=1}^n \left| k_j \frac{S_j^{(i-1)}}{S_j} Z_j PE_i \right| \quad (\text{Eq. 6})$$

em que:

- AE_i = evapotranspiração para o dia i;

$\sum_{j=1}^n$ = somatório para as n camadas admitidas no solo;

k_j = coeficiente que depende das características do solo e da planta;

$S'_j(i-1)$ = umidade do solo no dia $i-1$;

S_j = capacidade disponível de água na j -ésima camada;

Z_j = fator de correção para diferentes tipos de curva de drenagem nos solos; e

PE_i = evapotranspiração potencial para o dia i .

Para iniciar o balanço hídrico versátil diário é necessário que se conheça a umidade do solo no dia anterior. Desta maneira, os procedimentos foram sempre iniciados na data em que ocorria precipitação capaz de levar o solo a sua capacidade de campo. Devido às características dos solos das regiões analisadas, em sua grande maioria latossolos, com boas condições de permeabilidade e aeração, admitiu-se uma capacidade de campo de 100 mm. O coeficiente K_j , que depende das características do solo e da planta, bem como do coeficiente Z_j , foi selecionado nas tabelas desenvolvidas na adaptação do balanço hídrico versátil diário, feito por MOTA e OLIVEIRA (26) para o Brasil. Como coeficiente da cultura, admitiram-se os valores obtidos por BERLATO (5).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Influências das Variáveis Agrometeorológicas na Produtividade da Cultura da Soja

Ao aplicar o teste de GRAYBILL (17) para determinar as diferenças entre as correlações, analisaram-se as correlações simples e, também, verificaram-se as correlações parciais de precipitação na presença de graus-dia (p/D) e graus-dia na presença de precipitação (D/P), uma vez que determinada variável pode não apresentar resultado significativo quando considerada isoladamente, mas ser significativa quando analisada na presença de outras variáveis. Os resultados do teste mostram não haver diferenças estatísticas entre as correlações, simples e parciais, analisadas ao nível de 5%, o que permitiu que as análises fossem encaminhadas com as correlações simples de resíduo com precipitação e resíduo com graus-dia.

Análises feitas no quadro de correlações (Quadro 4) mostram a predominância das variáveis térmicas e hídricas na explicação dos resíduos, evidenciando que os esforços devem-se concentrar nestas variáveis.

Aplicando o teste de igualdade das correlações separadamente para as variáveis precipitação e graus-dia, nos três decêndios, para os meses considerados, observou-se que não existem diferenças estatísticas entre as correlações, dentro dos decêndios.

QUADRO 4. Correlações entre Variáveis Climáticas e Resíduos

Meses		P	GD	P/GD	GD/P	ETM	ETA	R
Setembro	I	-0,31	-0,21	-0,30	-0,08	0,09	-0,02	-0,066
	II	0,42	0,42	0,42	0,10	-0,39	-0,26	0,27
	III	0,51	0,09	0,51	0,11	-0,53	0,04	0,40
Outubro	I	-0,20	-0,11	-0,20	-0,20	-0,16	-0,17	-0,027
	II	-0,25	-0,14	-0,26	-0,16	-0,11	0,39	0,47
	III	-0,032	-0,06	-0,038	-0,12	-0,18	-0,39	-0,21
Novembro	I	0,048	-0,48	-0,20	-0,51	0,10	0,05	-0,14
	II	0,009	-0,065	0,15	-0,13	0,16	0,21	0,11
	III	0,036	-0,60	-0,08	-0,60	0,24	0,14	-0,15
Dezembro	I	-0,10	0,47	-0,097	0,472	0,16	0,46	0,50
	II	-0,027	0,45	0,16	0,47	0,05	0,023	0,11
	III	0,30	0,47	0,62	0,62	-0,14	0,25	-0,04
Janeiro	I	-0,30	0,30	-0,24	0,21	0,40	0,42	0,23
	II	0,03	0,30	0,027	0,29	-0,22	-0,35	-0,30
	III	-0,13	0,29	-0,032	0,26	0,28	0,13	-0,09

Uma vez que o teste indicou a igualdade estatística das correlações, considerou-se para efeito de seleção das variáveis climáticas, a ser incluída no modelo, o decêndio em que a correlação apresenta maior valor absoluto. Dentro desta metodologia foram selecionadas as variáveis precipitação no terceiro decêndio de setembro, segundo de outubro e primeiro de janeiro, bem como graus-dia no terceiro decêndio de novembro e primeiro de dezembro e de janeiro.

Considerando as variáveis selecionadas e o ciclo fenológico da cultura, verifica-se uma consistência entre as variáveis selecionadas com trabalhos realizados por outros pesquisadores.

No caso da disponibilidade de água no solo, é conhecido que a soja tem dois períodos críticos: o primeiro na germinação e o segundo

durante a floração e enchimento das vagens (39, 40). Observa-se, pelos dados de correlações contidos no Quadro 5, após aplicado o modelo de GRAYBILL (17), que a precipitação apresenta maiores valores absolutos de correlações nos meses de setembro e outubro, decrescendo nos meses de novembro e dezembro e voltando a crescer em janeiro. As precipitações nos meses de setembro e outubro correspondem às precipitações que afetam a umidade do solo na germinação. Os valores de correlação positivos em setembro e negativos em outubro podem ser justificados pelo fato de que, nessa fase de germinação da cultura, tanto o déficit quanto o excesso de água no solo são prejudiciais. A água é necessária e fundamental para que a semente germine, sendo a embebição de água o primeiro processo de sequência de eventos da germinação (6).

QUADRO 5. Correlações Seleccionadas após Testes de GRAYBILL entre Precipitação (P), Resíduo e Graus-Dia (GD) e Resíduo

Meses	P	GD
Setembro	0,22	0,031
Outubro	-0,17	-0,091
Novembro	0,055	-0,41
Dezembro	0,057	0,52
Janeiro	-0,136	0,30

As sementes, por ocasião do plantio, encontram-se com teor de umidade bastante baixo, em geral inferior a 12% de umidade, e a germinação da semente da soja exige que a semente absorva água de até, no mínimo, 50% do seu peso seco (37).

A umidade excessiva, por sua vez, não é favorável à germinação, porque restringe, principalmente, a aeração do solo (28), limitando a disponibilidade de oxigênio necessário para a respiração da semente (19). Após a fase de germinação e estabelecimento da planta, a soja suporta bem a falta de água durante a fase vegetativa até a floração (2).

A crescente importância da precipitação sobre o resíduo em janeiro está compatível com o observado por BAIER et alii (2), indicando que a umidade vai ganhando gradativa importância a partir do florescimento até a formação de vagens.

É necessário observar que o efeito do estresse da umidade sobre o rendimento varia consideravelmente entre cultivares. O cultivar precoce proporciona melhor proteção contra a perda total da colheita em virtude da seca, uma vez que o seu ciclo é menor, estando, portanto, menos sujeito a veranicos, porém é necessário que se tenha água disponível durante a estação de cultivo da cultura para maximizar os rendimentos.

Analisando o efeito da variável térmica representada pelos GD, observa-se que nos meses de setembro e outubro a sua influência sobre o resíduo foi pequena, ganhando importância nos meses de novembro, dezembro e janeiro. O que se conclui é que, para a região em estudo, as temperaturas médias situam-se na faixa ótima necessária à germinação, visto que as temperaturas médias obtidas estão em sua totalidade acima de 10°C, o que favorece a diminuição do tempo entre o início da germinação e a emergência, evitando assim a competição das plântulas com as ervas daninhas e o ataque da cultura por microrganismos do solo. O aumento da importância do fator térmico para a cultura é destacado por SEDIYAMA et alii (39, 40), que relatam que o efeito da temperatura torna-se mais importante depois do estágio de quinto nó (V₅).

Devido à importância do fator térmico na duração do ciclo da cultura da soja e, conseqüentemente, na produção final de grãos, analisaram-se dois cultivares de soja: UFV-1 (semitardio) e Paraná (precoce), acompanhando a variação do ciclo fenológico destes cultivares, de acordo com cinco diferentes épocas de plantio. Os dados foram obtidos em Capinópolis, para os anos agrícolas de 82/83, 83/84 e 84/85.

Observando os Quadros 6 e 7, verifica-se que tanto os cultivares de maturação tardia quanto os de maturação precoce tiveram o período reprodutivo encurtado com o atraso da época de plantio. As explicações para este fato passam, necessariamente, pelas exigências térmicas e fotoperiódicas da soja, considerando-se a íntima relação existente entre as

exigências fotoperiódicas e térmicas de uma variedade.

QUADRO 6. Duração das Fases Fenológicas Plantio-Floração e Plantio-Maturação do Cultivar de Soja UFV-1

Fases Fenológicas	Datas de Plantio				
	10/10	10/11	01/12	30/12	06/01
Plantio-Floração	43(708)*	42(633)	41(591)	36(531)	41(608)
Plantio-Maturação	160(2474)	141(2127)	122(1819)	112(1696)	111(1666)

* Dias (graus-dia).

QUADRO 7. Duração das Fases Fenológicas Plantio-Floração e Plantio-Maturação do Cultivar de Soja Paraná

Fases Fenológicas	Datas de Plantio				
	10/10	10/11	01/12	30/12	06/01
Plantio-Floração	33(548)*	28(420)	30(425)	29(432)	31(443)
Plantio-Maturação	99(1538)	95(1401)	89(1328)	84(1378)	83(1205)

* Dias (graus-dia).

4.2. Desenvolvimento do Modelo

Observando a série histórica de produtividade para o Estado de Minas Gerais, através do diagrama de dispersão (Figura 3), verificou-se, de 1960 a 1970, oscilação muito grande nos índices de produtividade da soja, não sendo possível a identificação de uma tendência ao analisar-se estes pontos. É importante ressaltar que este período corresponde à época de implantação da cultura em Minas Gerais, fase em que ainda não estavam disponíveis as técnicas necessárias ao bom desempenho da cultura, além de não existirem cultivares adequados para a região.

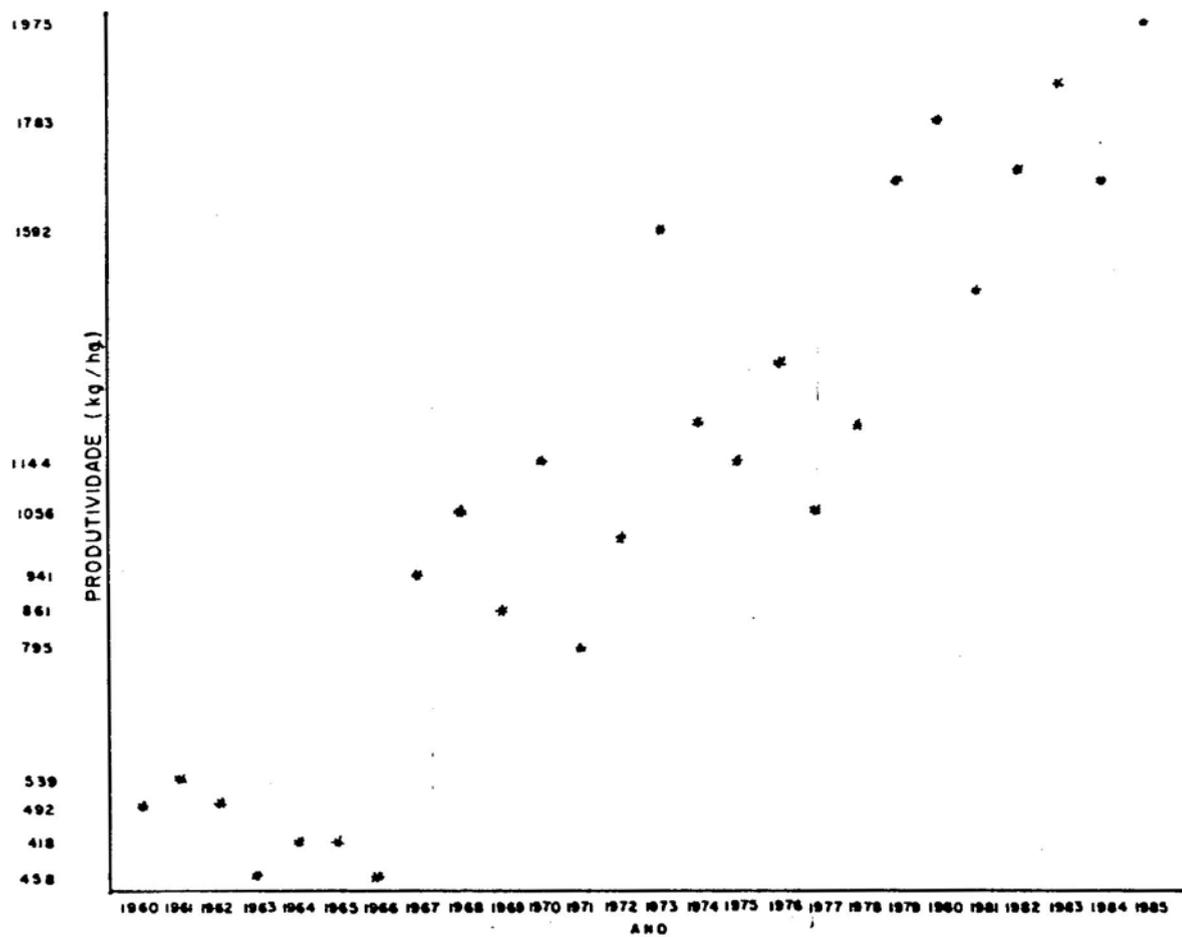


FIGURA 3. Diagrama de Dispersão entre Ano e Produtividade.

A partir de 1971, observa-se uma tendência sempre crescente no índice de produtividade da soja, o que se deve ao desenvolvimento de técnicas adequadas ao cultivo da leguminosa, bem como a introdução, pelos melhoristas, de variedades mais adaptadas à região. A tendência crescente da produtividade através dos anos é confirmada pelo coeficiente de correlação entre produtividade e ano no valor de 0,92.

Com o objetivo de determinar a curva de tendência tecnológica, vários tipos de curvas foram testados, sendo que a tendência tecnológica linear foi a que obteve melhor ajuste, com um coeficiente de determinação ajustado de 0,85. O alto coeficiente obtido no ajuste tecnológico é coerente com o de outras pesquisas, que afirmam que, quanto maior for o índice de tecnificação utilizado em uma cultura, menor será a influência dos fatores climáticos. A soja em Minas Gerais é uma cultura que incorpora em seu cultivo um grande índice de tecnificação. Além disto, o alto ajuste obtido pela tendência tecnológica evidencia o risco que se corre quando se tenta explicar toda a produtividade de uma cultura baseada apenas em elementos climáticos, desprezando os tecnológicos.

O modelo inicial analisado para a produtividade da soja levou em consideração as variáveis agrometeorológicas PIIIIS (precipitação no 3.^o decêndio de setembro), PIID (precipitação no 2.^o decêndio de dezembro), PIJ (precipitação no 1.^o decêndio de janeiro), GDIIIN (graus-dia no 3.^o decêndio de novembro), GDID (graus-dia no 1.^o decêndio de dezembro) e GDIJ (graus-dia no 1.^o decêndio de janeiro), selecionadas pelo método das correlações de GRAYBILL (17) e pelas suas relações com o período fenológico da cultura. Na seleção por "stepwise" (13), as variáveis que mais se destacaram foram PIIIIS e GDID, que pelas análises feitas encontram explicações físicas consistentes. Com a inclusão destas variáveis, o modelo apresentou um coeficiente de determinação de 0,90. É fácil verificar que, dado o alto valor do R^2 para o ajuste tecnológico, ou seja, coeficiente de determinação igual a 0,85, era esperado que não fosse muito alta a contribuição no modelo final dos elementos climáticos. É importante reafirmar que, apesar da importância das variáveis climáticas para a cultura da soja, esta importância não fica devidamente quantificada quando se

trabalha com dados médios, uma vez que o índice de tecnicidade do agricultor da soja em Minas Gerais é bastante alto, o que faz com que em anos climaticamente desfavoráveis a perda na produtividade seja atenuada pela adoção de técnicas adequadas, enquanto em anos climaticamente favoráveis os fatores tecnológicos são suficientes para levar a cultura a sua produtividade ótima. O modelo final obtido é apresentado no Quadro 9, com todos os coeficientes significativos a 5%, além de não apresentar problemas de multicolinearidade.

QUADRO 8. Resumo da Análise de Variância do Modelo

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
Regressão	5	5863400,0	11726,80	35,38**
Independente	20	662836,0	33141,80	

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Observando o Quadro 9, onde é apresentado o modelo final, percebe-se que PIIIS é uma variável de precipitação com média de 2,75 mm, enquanto GDID é uma variável térmica com média de 13,8°C. Pelas correlações apresentadas, observa-se a forte correlação do ano com a produtividade, enquanto a correlação entre as variáveis PIIIS e GDID (0,030) indica que o modelo não apresenta problemas de multicolinearidade. De acordo com o Quadro 9, o modelo final seria a seguinte forma:

$$\text{Produt} = 7000 + (61,1 \times \text{ano}) + (19 \times \text{PIIIS}^2) + (57 \times \text{GDID}^2) + (-110 \times \text{PIIIS}) + (-1500 \times \text{GDID}) \quad (\text{Eq. 7})$$

Através do coeficiente beta, pode-se analisar a importância das variáveis para a Eq. 7.

Observa-se então que as variáveis PIIIS e GDID, juntamente com os seus quadrados, têm importância relativamente diferente para o modelo. A variação de um desvio-padrão em PIIIS implica variação de 0,27 desvio em Produt, isto é:

QUADRO 9. Análise do Modelo e Correlações entre as Variáveis

Variáveis	Média	Desvio- Padrão	Ano	Produt.	PIIIS2	GDID2	PIIIS	GDID	Coefi- cientes	G.L.	Beta
Produt	1097	510,9	0,92	1,0	0,26	0,21	0,20	0,21	-		
Ano	-	-	1,0	0,92	0,23	0,11	0,16	0,12	$6,11 \times 10^1$	5,1	0,91
Constante	-	-	-	-	-	-	-	-	$7,0 \times 10^3$	-	-
PIIIS2	9,21	8,8	0,23	0,26	1,00	0,04	0,97	0,04	$1,9 \times 10^1$	19,9	0,33*
GDID2	190,2	23,8	0,11	0,21	0,04	1,0	0,03	0,099	$5,7 \times 10^1$	22,7	0,26
PIIIS	2,75	1,3	0,16	0,20	0,97	0,03	1,0	0,03	$-1,1 \times 10^2$	133,4	-0,27*
GDID	13,8	0,85	0,12	0,21	0,04	0,099	0,03	1,0	$-1,5 \times 10^3$	632,4	-0,26

$R^2 = 0,90$.

PIIIS2 = Precipitação do terceiro decêndio de setembro.

GDII2 = Graus-dia do primeiro decêndio de dezembro ao quadrado.

$\pm 1,3$ mm em PIIIS ——— ± 138 kg/ha, enquanto a variação de um desvio-padrão em GDID implica uma variação de 0,25 desvio em Produ \tilde{t} , ou seja,

$\pm 0,85^{\circ}\text{C}$ em GDID ——— $\pm 127,7$ kg/ha.

4.3. Validação do Modelo

A validação do modelo foi realizada com uma série independente de dados, não utilizados na elaboração do mesmo, verificando-se sua aplicação para os anos agrícolas de 85/86, 86/87 e 87/88.

O uso operacional do modelo deve ser feito com os dados climáticos coletados das estações do Instituto Nacional de Meteorologia consideradas neste trabalho: Uberaba, Frutal, Capinópolis, Patrocínio, Araxá, Uberlândia e Ituiutaba. Para obter as variáveis necessárias ao modelo: precipitação na terceira década de setembro (PIIIS) e graus-dia na primeira década de dezembro (GDID), coletaram-se estas variáveis em cada uma das estações citadas acima, e, posteriormente, determinou-se a média aritmética das mesmas, que foram admitidas como elementos climáticos representativos da região. A variável tecnológica necessária ao modelo é considerada como os dois últimos dígitos do ano para o qual se faz a previsão, ou seja, o ano da colheita. Como exemplo, a safra de 1988 deve apresentar a variáveis tecnológica ano = 88.

A aplicação do modelo para os anos de 1986, 1987 e 1988, não considerados em seu ajuste, apresentou excelentes resultados em comparação com os dados publicados pelo IBGE, conforme se vê no Quadro 10.

Sendo o modelo desenvolvido neste trabalho um modelo de fácil uso operacional e que apresenta como saída a produtividade esperada da cultura da soja, o mecanismo da previsão de produção da cultura ficaria completo, se os dados de produtividade saídos do modelo fossem trabalhados juntamente com os dados de estimativa da área plantada da cultura, obtidos por um sistema de aquisição automática de dados. Dentre os sistemas de aquisição automática de dados, as técnicas de sensoriamento remoto

destacam-se entre aquelas que permitem uma grande precisão, que, além de reduzirem a mão-de-obra necessária no campo, diminuem o custo e agilizam o processo de aquisição dos dados de estimativa de produção da área plantada.

QUADRO 10. Comparação entre o Modelo de Previsão de Produtividade da Soja e Dados do IBGE

Ano	Produtividade (kg/ha)		
	IBGE	Modelo	% de Acerto
1986	1815	1774	98
1987	1945	1996	97
1988	*	2202	

* No término deste trabalho ainda não havia sido divulgado o resultado oficial do IBGE.

Para utilizar as técnicas de sensoriamento remoto é necessário que se disponham de dados de referência que permitam discriminar bem as respostas espectrais da cultura na região. Tais dados podem ser obtidos mediante fotografias aéreas, visitas ao campo, informações do agricultor etc. Obtidos esses dados, selecionam-se as imagens da região nas épocas desenhadas, definindo-as de acordo com as informações obtidas na área plantada da cultura. A utilização das técnicas de sensoriamento remoto apresenta ainda a vantagem de possibilitar o monitoramento frequente da cultura, o que permite a obtenção de fotografias em diferentes dados do ciclo da cultura, sem a necessidade de enviar técnicos ao campo.

Além da utilização das técnicas de sensoriamento remoto, outras medidas mais simples poderiam ser definidas no sentido de permitir uma análise com mais precisão da influência dos fatores climáticos nas culturas, tais como: que cada agricultor tenha em uma área representativa de sua plantação pelo menos um termômetro de máxima e mínima, um termômetro comum e um pluviômetro, possibilitando, assim, que em breve se tenham

séries históricas mais consistentes de dados que permitirão fazer análises mais apuradas entre clima e safra, utilizando a metodologia proposta neste trabalho; ou que seja a instalação de uma rede de estações agrometeorológicas nas regiões de cultivos mais representativos para o Estado.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Os elementos climáticos decendiais das estações climatológicas localizadas nas regiões produtoras de soja do Estado de Minas Gerais - Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba - foram analisados com o objetivo de quantificar a influência desses elementos na produtividade da soja.

Os elementos precipitação, graus-dia, evapotranspiração máxima e evapotranspiração real foram testados dentro do ciclo fenológico da cultura da soja, para os meses de setembro, outubro, novembro, dezembro e janeiro.

Com o objetivo de separar a influência tecnológica na produtividade da influência climática, utilizou-se o recurso econométrico de elaboração da curva de Tendência Tecnológica, que busca explicar a variação da produtividade em função do tempo, admitindo que todos os recursos fixos, ou seja, aqueles que não variam muito de ano para ano, estão incorporados neste ajuste.

Os elementos climáticos que mais se destacaram na tentativa de explicar a variação na produtividade da cultura da soja foram: precipitação no 3.^o decêndio de setembro, precipitação no 1.^o decêndio de janeiro, graus-dia no 3.^o decêndio de novembro, graus-dia no 1.^o decêndio de dezembro e graus-dia no 1.^o decêndio de janeiro. Após selecionados pelo método

de "stepwise" e analisados fisicamente com a fenologia da cultura, os elementos climáticos escolhidos para comporem o modelo de previsão de produtividade foram precipitação no 3.^o decêndio de setembro e graus-dia no 1.^o decêndio de dezembro. O modelo indicou um coeficiente de determinação de 0,90 e, quando testado para anos não considerados em seu ajuste, apresentou resultados excelentes, 98% de acerto em 1986 e 97% de acerto em 1987, além de possibilitar a previsão de produtividade a partir de dezembro, o que permite a tomada de decisões operacionais por parte do agricultor e de órgãos oficiais.

É fundamental destacar que é necessário o monitoramento anual do modelo com o objetivo de identificar possíveis inflexões na curva de ajuste dos dados, já que a curva que melhor se ajustou aos dados foi a linear, o que pode levar a uma conclusão errônea de que a produtividade irá crescer infinitamente com os anos.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL, IBGE. Rio de Janeiro, IBGE, 1985. v. 46. 760 p.
2. ARRUDA, F.G.; MASCARENHAS, H.A.A.; VIEIRA, S.R. Análise do efeito hídrico na produção de soja. Campinas, Instituto Agronômico, 1976. 24 p. (Boletim Técnico, 38.)
3. BAIER, W. & SHARP, R. The versatile soil moisture budges (based on a revision of Tech. Bull. 78) [s.l.] Agrometeorology Section, LRRRI, Research Branch, Agriculture Canada, 1978. 55 p. (Tech. Bulletin, 87.)
4. BATER, W. Note on the terminology of crop-yield, Agricultural Meteorology, 20 (2): 137-45, 1979.
5. BERLALO, M.A. & MATZENAUER, R. Coeficiente de cultura da soja (Glycine max (L.) Merrill). In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. Londrina-PR, 1985. p. 13-4.
6. BEVITORI, R. et alii. Época de plantio da soja em Minas Gerais. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 92 p. 1988. (no prelo.)
7. BROWN, D.M. Soybean. Ecology I. Development temperature relationships from controlled environment studies. Agron. J., Madison, 52 (9): 492-6, 1960.
8. BRUNINI, O.; MIRANDA, M.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; PEREIRA, J.C.V.N.; SCHMIDT, N.C. Teste de um modelo agroclimático que relacione o regime pluviométrico com as variações da agrícola. Brasília, CEP, 1982. p. 21-46.

9. CAMARGO, M.B.P. Exigências bioclimáticas e estimativas da produtividade para quatro cultivares de soja no Estado de São Paulo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 1984. 96 p. (Tese M.S.)
10. CAMPOS, H. & PIVA, L.H.O. Dimensionamento de amostra para estimativa e previsão da safra no Estado de São Paulo. Agricultura em São Paulo, 21 (3): 50-88, 1974.
11. CELASCH, W. & ALMEIDA, F.C. Um modelo para estimar a produtividade do milho no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, Pelotas, 1981. Anais ... Pelotas-RG, 1981.
12. CONSTABLE, G.A. & HEARN, A.B. Irrigation for crops in a sub-humid environment - the effect of irrigation on the growth and yield of soybeans. Irrig. Sci., Berlin, 2: 1-12, 1980.
13. DRAPER, N.R. & SMITH, H. Applied regression analysis. New York, John Wiley & Sons, 1966. 407 p.
14. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 4 (43), 1978. 84 p.
15. EZEKIEL, M. Methods of correlation and regression analysis. New York, John Wiley, 1961. 548 p.
16. GARDNER, W.W. & ALLARD, H.A. Photoperiodic responses of soybeans in relation to temperature and other environmental factors. J. Agric. Res. Punjab, 41 (10): 719-35, 1930.
17. GRAYBILL, F.A. Introduction to the theory of statistics. New York, Mc Graw-Hill Book Company, Inc., 1961. 443 p.
18. GRISSON, P.; RANEY, W.A.; HOGG, P. Crop response to irrigation in the yazoo. Mississippi Delta, Agric. Exp. Sta., 1955. 21 p. (Bulletin, 531.)
19. HICKS, D.R. Crecimiento y desarrollo. In: NORMAN, A.G. ed. Fisiologia, mejoramiento, cultivo y utilizacion de la soja. London, Academic Press, 1978. 249 p.
20. HUFF, F.A. & NEIL, J.L. Assessment of effects and predictability of climatic fluctuations as related to agricultural production. Chicago, II Instituto of Natural Resources, 1980. 235 p.
21. LIU, W.T.H. & LIU, B.W.Y. Um modelo de previsão de safra de trigo no Rio Grande do Sul. Ciência e Cultura, 33 (2): 257-64, 1981.

22. LIU, W.T.H. & LIU, B.W.Y. Modelo de previsão de produtividade de soja no Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Anais ... 1986. p. 48-59.
23. MAJOR, D.J.; JOHNSON, D.R.; LUEDDERS, V.D. Evaluation of eleven thermal unit methods for predicting soybean development. Crop Sci., 15: 172-4, 1975.
24. MORENO, F.; SEDIYAMA, T.; REIS, M.S. Aspectos econômicos da cultura da soja em Minas Gerais e sua evolução. Informe Agropecuário, 4 (43): 10-4, 1978.
25. MOTA, F.S. & WENDT, W. Previsão agrometeorológica do rendimento do trigo no Estado do Rio Grande do Sul. Brasília, Departamento Nacional de Meteorologia, 1976. 49 p. (Boletim Técnico, 72.)
26. MOTA, F.O.S. & OLIVEIRA, M.A. Indicações para elaboração de um programa de computador para cálculo do Balanço Hídrico versátil para uso no Brasil. Brasília, Ministério da Agricultura, Instituto Nacional de Meteorologia, 1978. p. 23-6. (Boletim Técnico, 16.)
27. MOTA, F.S. Índice de seca para soja. Contribuição para um modelo de previsão de rendimento da soja no Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 16 (3): 371-83, 1981.
28. OHMURA, T. & HOWELL, R.W. Inhibitory effects of water on oxygen consumption by plant materials. Plant Physiol., 35: 184-8, 1960.
29. PARADA, N.J. et alii. Sistema de previsão de safras agrícolas utilizando satélites de observação da terra. São José dos Campos-SP, INPE, 1981. 43 p.
30. PARKER, N.W. & BORTHWICK, H.A. Influence of light on plant growth. In: Rev. Pl. Physical, Califórnia, 1: 43-58, 1950.
31. PASCALE, A.J. Agroclimatic types for soybean crop in Argentina: In: V INTERNACIONAL BIOMETEOROLOGICAL CONGRESS. Montreaux, Switzerland, 1969. p. 1-19.
32. PASCALE, A.J.; VILLEGAS, J.A.; MEDINA, L.F. Aptitud agroclimática del Noroeste Argentino para el cultivo de la soja. Rev. Agron. Noroeste Argentino, San Miguel do Tucuman, 10 (3-4): 172-203, 1973.
33. REMUR, R.A.F. Observations du thermometre, faites à Paris pendat l'année 1735. Mén: Acad Sci, Paris Apud: Robertson, G.W. A biometeorological time for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod. In. J. Biometeorology, Amsterdam, 12 (3): 191-223, 1968.

34. ROBERTSON, W.G. World weather watch and wheat. Geneva, World Meteorological Organization, 23 (3): 149-54, 1974.
35. ROBERTSON, G.W. A biometeorological time scale for a cereal involving day and night temperatures and photoperiod. Journal Biometeorology, 12 (3): 191-223, 1968.
36. ROBERTSON G.W. Guidelines on crop-weather models. Geneva, World Meteorological Organization, 1983. 115 p. (Word Climate Application Program, 50.)
37. ROCHA, V.S.; OLIVEIRA, A.B. de; SEDIYAMA, T.; GOMES, J.L.L.; SEDIYAMA, C.S.; PEREIRA, M.G. A qualidade da semente de soja. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1984. 76 p.
38. RUNGE, E.C.A. & ODELL, R.T. The relation between precipitation, temperature and the yield soybeans on the agronomy south farm, Urbana, Illinois. Agronomy Journal, 52 (5): 245-7, 1960.
39. SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M.G.; SEDIYAMA, C.S.; GOMES, J.L.L. Cultura da soja. 1.^a parte. Viçosa, UFV, Impr. Univ. 1985. 96 p. (Boletim Técnico, 211.)
40. SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M.G.; SEDIYAMA, C.S.; GOMES, J.L.L. Cultura da soja. 2.^a parte. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1985b. 75 p. (Boletim Técnico, 212.)
41. SEDIYAMA, T. & SWEARINGIN, M.A. Cultura da soja. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1970. (Paginação Irregular, Mimeografado.)
42. SEGOVIA, R.M. & ANDRADE, E.G. Um modelo de determinação do efeito da precipitação pluviométrica na produtividade agrícola. In: —. Determinação do efeito da precipitação pluviométrica na produtividade agrícola. Brasília, CEP, 1982. p. 11-8 (Coleção Análise e Pesquisa, 24.)
43. SHIBLES, R.; ANDERSON, I.C.; GIBSON, A.H. Soybean. In: EVANS, L.T. ed. Crop physiology some case histories Cambridge University Press. London [s. Ed.]. 1975. p. 151-87.
44. SMITH, J.W. The effect of weather upon the yield of corn. Monthly Weather Review, 42: 78-87, 1914.
45. THOMPSON, L.M. Weather and tecnologia in the production of corn and soybeans [s.l.] The center for agricultural and economic development, 1963. 60 p. (CAED Report, 17.)
46. WHIGAM, D.K. & MINOR, H.C. In: NORMAN, A.G. Agronomic characteristics environment and stress. ed. Soybean, Physiology, and utilization / [s.l.] Academic Press, 1978. p. 77-118.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)