

GABRIEL GARCIA HERRERA

MODELO AGROCLIMÁTICO PARA A ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DO
MILHO (Zea mays L.) NA REGIÃO LAGUNERA - MÉXICO

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorologia
Agrícola, para Obtenção do Título
de "Magister Scientiae".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
DEZEMBRO - 1991

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

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

T

Garcia Herrera, Gabriel.

G216m Modelo agroclimático para a estimativa da produtivi-
1991 . dade do milho (*Zea mays* L.) na Região Lagunera -
México. Viçosa, UFV, 1991.
55p. ilustr.

Tese (M.S.) - UFV

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

CDD 18.ed. 630.2516

CDD 19.ed. 630.2516

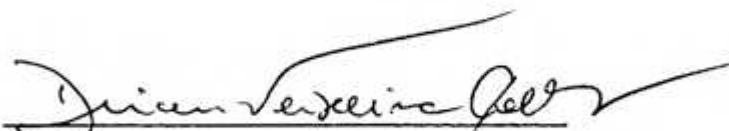
GABRIEL GARCIA HERRERA

MODELO AGROCLIMÁTICO PARA A ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DO
MILHO (Zea mays L.) NA REGIÃO LAGUNERA - MÉXICO

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorologia
Agrícola, para Obtenção do Título
de "Magister Scientiae".

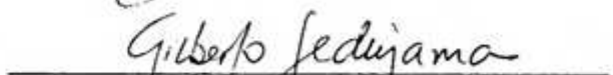
APROVADA: 3 de julho de 1991


Prof. Adil Rainier Alves
(Conselheiro)


Prof. Dirceu Teixeira Coelho
(Conselheiro)


Prof. Rubens Leite Vianello


Prof. Hélio Alves Vieira


Prof. Gilberto Chohaku Sedyama
(Orientador)

A Deus,

À minha mãe Petra Herrera,

Aos meus avós Guillermo e Josefa (in memoriam),

Ao meu amigo e irmão Eduardo (in memoriam),

À minha esposa Esperanza,

Aos meus filhos Gabriel, José e Nayelli,

Aos meus irmãos Juan e Ana,

Aos meus sogros Lucio e Francisca,

Aos meus cunhados Lucy, Antonio e Fernando,

Aos meus sobrinhos da Laguna e Saltillo,

Aos meus afilhados,

Aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa (UFV), por intermédio do seu Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

Ao Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia (CONACYT) - México, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) - México, pela oportunidade e pelo apoio.

Ao Professor Gilberto Chohaku Sedyama, pela constante orientação, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos Professores conselheiros, Adil Rainier Alves e Dirceu Teixeira Coelho, pelas sugestões, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos Professores José Maria Nogueira da Costa, Rubens Leite Vianello, Luiz Cláudio Costa, José Eduardo Prates, Hélio Alves Vieira e Blanor Torres Loureiro, pelos ensinamentos e pela amizade.

A Marco A. Inzunza I. e a meus compadres Ernesto A.

Catalan e Magdalena Villa C., pelo apoio constante no fornecimento dos dados, pelo incentivo e pela amizade.

A minha esposa Esperanza e aos meus filhos, pelo amor, pela paciência e pelo incentivo.

Aos colegas de Curso Sérgio Z., Santiago, Vilna, Marco Aurélio, Edson, Marcos Heil, Brauliro, Zilda, Cláudia Regina, Jacqueline, Raimunda, Jornandes, Alfredo, Jorge G., Cláudia Jacondino, Klinger, João, Eduardo, Airton, Regina e Jorge W., pelo convívio e pela amizade, o que tornou mais agradável a minha estada no Brasil.

A todo o pessoal do Programa Nacional de Investigación en el Aprovechamiento del Agua (PRONAPA - INIFAP), de Gomez Palacio, Dgo, México, pelo apoio e pela amizade.

Ao Dr. Luis Fernando Flores Lui, Diretor do PRONAPA, pelo apoio e pela amizade.

Aos colegas Mario A. Martinez e Arnoldo Martinez Cano, pelo constante incentivo na minha formação profissional e pela amizade.

As secretárias do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, Edna, Maria do Carmo e Paula.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, pelo apoio e pela amizade.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

GABRIEL GARCIA HERRERA, filho de Petra Herrera Antunez e Basilio Garcia Martinez, nasceu em Ciudad Lerdo, Estado de Durango, México, em 08 de outubro de 1958.

Gradou-se como Engenheiro-Agrônomo pela Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro de Saltillo, Estado de Coahuila, México, em dezembro de 1981.

Em fevereiro de 1982, ingressou no Programa Nacional de Investigacion para el Aprovechamiento del Agua - PRONAPA - INIFAP, em Gomez Palacio, Durango, México.

Iniciou, em março de 1989, o Curso de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, mestrado, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Estado de Minas Gerais-Brasil.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
EXTRATO	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Modelos Agroclimáticos de Estimativa de Produtividade	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. A Região de Estudo	14
3.2. Condições de Manejo da Cultura do Milho	15
3.3. Dados Utilizados	15
3.4. Data de Plantio e Ciclo da Cultura	16
3.5. Obtenção da Evapotranspiração Potencial	19
3.6. Determinação dos Graus-Dias	19
3.7. Modelo Agroclimático de Camargo	20
3.8. Modelo que Considera a Tendência Tecnológica e a Influência das Variáveis Agroclimáticas	22

	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Avaliação do Modelo Agroclimático de Camargo para a Produtividade do Milho na Região Lagunera	26
4.2. Influência da Tendência Tecnológica e dos Parâmetros Agroclimáticos na Produtividade da Cultura do Milho	27
4.3. Influência da Tendência Tecnológica e dos Parâmetros Agroclimáticos do Modelo de Camargo na Produtividade da Cultura do Milho	36
4.4. Modelos Agroclimáticos de Estimativa de Produtividade de Milho na Região Lagunera do México	40
5. RESUMO E CONCLUSÕES	50
BIBLIOGRAFIA	52

LISTA DE QUADROS

QUADRO		Página
1	Produtividade da Cultura do Milho na Região Lagunera - México. Período 1967-1988 (SARH)	17
2	Coeficientes de Regressão da Equação da Tendência Tecnológica (TEND). Períodos 1967-1980 e 1980-1988	29
3	Correlações entre os Desvios da Produtividade de Milho e os Seguintes Parâmetros Agroclimáticos Decendiais: Temperatura (T), Precipitação (P), Necessidade Hídrica (NH), Graus-Dias (GD) e Índice de Frère e Popov (I), para a Região Lagunera. Período 1967-1980	33
4	Correlações entre os Desvios da Produtividade de Milho e os Seguintes Parâmetros Agroclimáticos Decendiais: Temperatura (T), Precipitação (P), Necessidade Hídrica (NH), Graus-Dias (GD) e Índice de Frère e Popov (I), para a Região Lagunera. Período 1980-1988	34
5	Correlações entre os Desvios da Produtividade do Milho e os Parâmetros Agroclimáticos Decendiais Utilizados no Modelo de Camargo, na Região Lagunera. Período 1967-1980	37
6	Correlações entre os Desvios da Produtividade do Milho e os Parâmetros Agroclimáticos Decendiais Utilizados no Modelo de Camargo, na Região Lagunera. Período 1980-1988	39

7	Modelos Agroclimáticos de Estimativa da Produtividade do Milho na Região Lagunera do México. Períodos 1967-1980 e 1980-1988	41
---	---	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1 Distribuição Média Decendial da Precipitação Pluvial e a Variação da Temperatura Média Decendial Durante o Ciclo da Cultura de Milho na Região Lagunera	18
2 Representação do Modelo que se Fundamenta nos Desvios entre a Produtividade Observada da Cultura e a Produtividade Estimada pela Reta da Tendência Tecnológica	23
3 Dispersograma entre a Produtividade do Milho e o Tempo (Ano) na Região Lagunera. Período de 1967-1988	28
4 Tendência Tecnológica da Produtividade da Cultura do Milho para a Região Lagunera. Período 1967-1980	30
5 Tendência Tecnológica da Produtividade da Cultura do Milho para a Região Lagunera. Período 1980-1988	31
6 Produtividade do Milho Observada e Estimada pelo Modelo Agroclimático de Frère e Popov na Região Lagunera. Período 1967-1980	43
7 Produtividade de Milho Observada e Estimada pelo Modelo Agroclimático de Frère e Popov na Região Lagunera. Período 1980-1988	45

8	Produtividade do Milho Observada e Estimada pelo Modelo Agroclimático de Camargo (com Tendência Tecnológica) na Região Lagunera. Período 1967-1980	47
9	Produtividade do Milho Observada e Estimada pelo Modelo Agroclimático de Camargo (com Tendência Tecnológica) na Região Lagunera. Período 1980-1988	48

EXTRATO

HERRERA, Gabriel Garcia, M.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 1991. Modelo Agroclimático para a Estimativa da Produtividade do Milho (Zea mays L.) na Região Lagunera - México. Professor Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama. Professores Conselheiros: Dirceu Teixeira Coelho e Adil Rainier Alves.

Foram estudados modelos agroclimáticos de estimativa de produtividade do milho para a Região Lagunera do México, tais como: a) O modelo proposto por Camargo, que considera a redução da produtividade da cultura pelos fatores térmico e hídricos (deficiências e excedentes); e b) O modelo que considera a tendência tecnológica e a influência dos parâmetros agroclimáticos.

Pelo modelo agroclimático de Camargo, identificou-se a necessidade de incluir o componente irrigação que representou, em grande parte, a tendência tecnológica para a estimativa da produtividade do milho na Região Lagunera.

Por meio dos modelos agroclimáticos gerados para o período de 1967 a 1980, com base nos parâmetros agroclimáticos de Frère e Popov, assim como os de Camargo,

ambos incluindo a tendência tecnológica, explicaram-se 83 e 87% da variação total da produtividade do milho, respectivamente.

Para o período de 1980 a 1988, os modelos agroclimáticos de Camargo e de Frère e Popov permitiram explicar 82 e 99% da variação total da produtividade do milho, respectivamente.

Considerou-se necessária a verificação da consistência dos modelos agroclimáticos avaliados, com informações de produtividade e dados climáticos para um período maior de anos.

1. INTRODUÇÃO

As oscilações das condições atmosféricas podem provocar flutuações na oferta de produtos agrícolas, comprometer a regularidade do abastecimento interno e, ainda, afetar a estabilidade de preços em geral. Dessa forma, torna-se importante a realização de estudos sobre a produtividade das culturas relacionados com as variações meteorológicas, visando a um adequado planejamento.

Nas últimas décadas, a população da República Mexicana tem mostrado crescimento demográfico considerável, de 42 milhões, em 1965, para 71 milhões de habitantes em 1980. A demanda total de grãos, no mesmo período, aumentou mais do que a produção, segundo os dados dos Institutos de Estatística e de Agricultura do México.

A agricultura mexicana constitui, basicamente, de sistemas de sequeiro. Dos 21,3 milhões de hectares cultivados em 1985, os cultivos de sequeiro corresponderam a 74,4% e os cultivos irrigados, a apenas 25,6%.

O milho, o feijão e o arroz constituem, desde épocas remotas, os principais alimentos do País. O primeiro destaca-se por ser cultivado em quase todas as regiões agrícolas. Em 1983, o México ocupou o quinto lugar na produção mundial de milho. A Região Lagunera, situada dentro das áreas produtoras de algodão, alfafa, uva e milho, está inserida na zona árida mexicana, com alta demanda de grãos, especialmente milho, que é seriamente afetado pelas condições meteorológicas da região. A produtividade média do milho, nessa região, é de 2.070 kg/ha, e a superfície semeada tem variado muito, de 6.500 ha, em 1967, até cerca de 34.000 ha em 1988, sendo, em sua maior parte, áreas irrigadas.

Diante do exposto, torna-se necessário dirigir esforços em pesquisas, no sentido de obter modelos de previsão de safras agrícolas, tendo como base os parâmetros agrometeorológicos, com a finalidade de determinar a influência do tempo na produção de grãos, em especial o milho. Assim, a presente pesquisa teve por objetivo principal o desenvolvimento de um modelo agroclimático, com vistas a estimar a produtividade da cultura do milho para as condições da Região Lagunera do México.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Modelos Agroclimáticos de Estimativa de Produtividade

Existem diversos trabalhos a respeito do efeito dos elementos climáticos sobre a produtividade das culturas. Muitos modelos têm sido desenvolvidos, incluindo as mudanças tecnológicas para explicar a variação total da produtividade. Dependendo da especialidade de cada pesquisador, os trabalhos enfatizam determinados aspectos e apresentam diferentes aproximações para quantificar as ações do clima na produtividade das culturas. Como exemplo, citam-se os modelos de THOMPSON (1969), BAIER (1973), BRUNINI (1982), MOTA (1983), CAMARGO (1984), LIU e LIU (1986) e CUÉLLAR (1990).

BAIER (1979) classifica os tipos básicos de modelos agroclimáticos da seguinte forma:

- a) Modelos de simulação do crescimento das culturas;
- b) Modelos de análise planta-atmosfera; e
- c) Modelos estatístico-empíricos.

Os modelos de simulação definem-se como uma representação simplificada dos mecanismos físicos, químicos e fisiológicos incluídos no processo de crescimento das culturas. Tais modelos permitem explicar as relações planta-atmosfera, determinando as causas que resultam, por exemplo, na variação da produtividade de uma cultura.

Os modelos de análise planta-atmosfera definem-se como o produto da interação de dois ou mais fatores, que representam a relação funcional entre o elemento do clima e a resposta particular da cultura, como o crescimento e a produtividade. Esses modelos constituem um instrumento prático de pesquisa para se analisarem as respostas das culturas às condições do tempo e do clima.

Os modelos estatístico-empíricos utilizam uma ou mais variáveis independentes, sendo a variável dependente a produtividade da cultura. As variáveis independentes são, freqüentemente, os elementos do clima, tais como: precipitação e temperatura do ar, ou os parâmetros agrometeorológicos derivados dos elementos do clima, sendo os coeficientes de ponderação obtidos normalmente pela análise de regressão múltipla.

No modelo de THOMPSON (1969), a influência do clima sobre a produtividade do milho é separada da tendência tecnológica, utilizando-se a análise de regressão múltipla para obter os desvios da produtividade em relação a essa tendência. Segundo esse autor, em cinco estados produtores de milho nos Estados Unidos, o período de 1930 a 1960 indicou um incremento médio anual de 201 kg/ha de grãos.

Observou-se que os desvios durante esse período foram explicados pelas condições do tempo e do clima.

SEGOVIA e ANDRADE (1982) propõem um modelo, em que a produtividade potencial de determinada cultura é função das condições de umidade do solo, reduzindo-se quando estas se afastam das condições consideradas ideais. Uma função é definida para quantificar o efeito que a precipitação exerce, indiretamente, sobre o comportamento da produtividade, por meio do balanço hídrico do solo. O modelo permite estimar as variações na safra, uma vez que são conhecidos a distribuição da precipitação pluvial e os limites de água disponível no solo que afetam o desenvolvimento da cultura.

MOTA (1983) desenvolveu um modelo que considera os processos de transferência de calor e massa no solo e na planta, utilizando-se estimativas da evapotranspiração potencial em função dos fatores geográficos (latitude, altitude e distância mínima do Oceano Atlântico) e a evapotranspiração da cultura. Outros parâmetros incluídos nesse modelo foram a precipitação diária, os eventos fenológicos da cultura e os valores de capacidade máxima de água armazenada no solo da região considerada. Introduziu-se, também, um índice de estresse diário de água, com base no princípio de que a redução na produtividade é proporcional à redução na evapotranspiração.

FRÈRE e POPOV (1980) apresentam um método para a previsão de safras agrícolas, com base em dados

agrometeorológicos. O modelo processa o balanço hídrico do solo durante a estação de crescimento de uma cultura, em períodos de sete ou 10 dias, para mostrar as perdas de produtividade associadas às condições hídricas do solo desfavoráveis à cultura. O método tem como finalidade obter um índice que representa, em percentagem, a amplitude com que as demandas hídricas de uma cultura anual são satisfeitas em cada estágio do seu período de crescimento.

CAMARGO (1984) desenvolveu um modelo agrometeorológico de estimativa de produção de grãos, com base nas produtividades potenciais de quatro cultivares de soja, em função das condições meteorológicas reinantes durante o desenvolvimento da cultura, isto é:

$$Y_{est} = Y_{pot} \cdot F_{ter} \cdot F_{def} \cdot F_{exc}, \quad (1)$$

em que:

Y_{est} = produtividade estimada;

Y_{pot} = produtividade potencial do cultivar;

F_{ter} = fator de redução associado aos graus-dias acumulados (fator térmico);

F_{def} = fator de redução associado ao déficit hídrico; e

F_{exc} = fator de redução associado ao excedente hídrico.

As estimativas da produtividade da soja pelo modelo agrometeorológico proposto anteriormente mostraram-se bastante satisfatórias. Os coeficientes de determinação da regressão entre dados observados e estimados variaram de

0,76 a 0,87, para quatro cultivares estudados.

BAIER (1973) desenvolveu um modelo no qual se avalia a interação da contribuição diária de três ou mais variáveis agrometeorológicas na produtividade da cultura, como sendo função de períodos biometeorológicos. No modelo clima-produtividade proposto, incluem-se dados climatológicos, como as temperaturas máxima e mínima do ar e parâmetros agrometeorológicos como a evapotranspirações real e potencial (ER e EP). O modelo fornece as contribuições de rendimento diário acumulado e o relacionamento matemático de cada variável de entrada com a produtividade da cultura. A partir de várias combinações da temperatura máxima, temperatura mínima e a razão ER/EP, o modelo fornece estimativas de produtividade.

STEWART e HASH (1982) apresentaram um método para avaliar o impacto do clima sobre a produção agrícola nas áreas semi-áridas do Quênia, com base na análise dos registros de precipitação de uma dada localidade, juntamente com os dados sobre o solo, manejo e fatores econômicos. Estimaram-se assim, para cada estação de chuva, a produção da cultura e o rendimento econômico.

NELSON e DALE (1978) citam que análises de vários modelos de regressão múltipla para a previsão da produtividade média do milho, para o Estado de Indiana (EUA), mostraram que as previsões de produtividade são mais precisas quando se inclui nos modelos a tendência tecnológica. Modelos que utilizam o ano como a variável para

representar tendência tecnológica apresentam grandes flutuações nos parâmetros estimados e nas previsões de produtividade. O uso de nitrogênio aplicado às áreas cultivadas (com milho) como tendência tecnológica introduziu no modelo redução na variância dos coeficientes da regressão e melhorou a estimativa da produtividade. A introdução dos principais parâmetros ambientais facilita interpretar a interação clima e tecnologia na produção de milho.

DENNET et alii (1980) analisaram as variações, ano a ano, da produtividade de trigo, da beterraba-açucareira e do tabaco, na Europa. As relações entre produtividade e clima foram estabelecidas por meio da análise de regressão múltipla. A produtividade da cultura do tabaco foi positivamente correlacionada com a temperatura e com a precipitação, respectivamente, no Norte e no Sul da Europa, no verão. Condições secas no final da estação de crescimento, ao Norte, e verões quentes no Sul da Europa diminuíram a produtividade da beterraba-açucareira. A produtividade do trigo, por sua vez, teve, em geral, correlação negativa com a precipitação e correlação positiva com a temperatura. O estudo realizado indicou que, para as áreas consideradas, aproximadamente 60-70% da variação da produtividade esteve associada às variações dos elementos do clima.

SUBBARAMAYYA e RUPA KUMAR (1980) observaram que as condições climáticas dos distritos da Costa e Sul de Andhra Pradesh, na Índia, são apropriadas para a cultura da cana-de-açúcar. Verificaram que os parâmetros do clima durante o

período de perfilhamento, que coincide com o período Pré-monsônico, tiveram profundo efeito sobre a produtividade. Uma equação de regressão múltipla de segundo grau, incluindo temperatura máxima, temperatura mínima e umidade relativa no terceiro mês do ciclo da cultura, explicou a variação da produtividade em 60%, aproximadamente.

LIU (1989) utilizou um modelo de simulação do crescimento do milho pelo processo fisiológico, denominado "CERES-Maize Model", desenvolvido no Laboratório de Pesquisas de Água e Solo do Texas (EUA), para estimar a produtividade de milho (cultivar Dina 10) na região de Sete Lagoas, Minas Gerais. O modelo simula os efeitos do código genético, do clima e das condições físicas do solo no desenvolvimento e na produtividade do milho. Os dados climáticos, de solo e da cultura naquela região mineira, no período de 1983 a 1987, foram usados para avaliar o desempenho do modelo. As produtividades estimadas pelo modelo foram iguais a 98,3, 107,1, 103,6, 90,2 e 91,3% das observadas para os anos de 1983, 1984, 1985, 1986 e 1987, respectivamente. Verifica-se, assim, um erro de estimativa menor que 10%. Entretanto, ao se aplicar o modelo de simulação para estimativa da produtividade do milho para outras regiões do Brasil, o modelo deve ser adequadamente calibrado.

COSTA et alii (1988) apresentaram um modelo agrometeorológico de previsão de produtividade da soja para as regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em Minas

Gerais, alimentado pelos seguintes elementos climáticos: precipitação, graus-dias, evapotranspiração máxima e evapotranspiração real. Separou-se a influência tecnológica na produtividade da influência climática, sendo utilizado o recurso econométrico de elaboração da curva de tendência tecnológica, que busca explicar a variação da produtividade em função do tempo, admitindo-se que todos os recursos fixos, ou seja, aqueles de menor variância de ano para ano, estão incorporados nesse ajuste. O modelo final incorporou como variáveis dominantes a variável ano, representando os fatores tecnológicos, e as variáveis agrometeorológicas, como precipitação no terceiro decêndio de setembro e graus-dias no primeiro decêndio de dezembro.

LIU e LIU (1986) desenvolveram modelos de previsão de produtividade de soja no Estado de Minas Gerais, utilizando-se dados mensais de temperaturas máxima e mínima, de umidade relativa, de precipitação, de evapotranspiração potencial, de excesso e déficit hídrico, além de interações desses parâmetros climáticos. Por meio de inspeção intensiva, dois modelos foram selecionados com diferentes vantagens. O primeiro inclui os parâmetros tendência tecnológica, déficit e excesso hídricos, temperaturas máxima e mínima e a interação de umidade relativa e temperatura mínima. Este modelo apresenta a vantagem de permitir a previsão um mês antes da colheita. O segundo modelo, que inclui os parâmetros precipitação, evapotranspiração, excesso e déficit hídricos, temperatura mínima, umidade relativa, interação de chuva e temperatura máxima e interação de

umidade relativa e temperatura mínima, possui as vantagens de ter um valor de R^2 mais elevado e os níveis de significância dos parâmetros mais altos. Os erros de previsão variam de 0,1 a 5,6% no primeiro modelo e de 0,1 a 8,3% no segundo, mediante teste de um período de 12 anos.

SILVA et alii (1986) desenvolveram modelos de previsão de produtividade do milho no Estado de São Paulo. Esses modelos cobriram o período de outubro a março. Os melhores resultados, em termos de previsão, foram obtidos com equações relacionando o rendimento às deficiências hídricas dos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março e uma variável associada à tendência tecnológica. Nos modelos com períodos de deficiência hídrica iniciados em dezembro, todos os parâmetros foram significativos a pelo menos 90% de confiança, enquanto os meses de outubro e novembro, quando introduzidos nos modelos, não foram significativos. Nesse caso, a não-significância pode estar associada à relativa resistência da cultura às pequenas deficiências no início do ciclo e/ou à possibilidade de replantios por ocasião da ocorrência de secas mais severas no início do período de desenvolvimento. O erro percentual médio do modelo com deficiências hídricas de dezembro a março foi de 3,9%.

RUNGE e ODELL (1958) utilizaram a regressão múltipla para determinar a relação entre a produtividade do milho e os elementos climáticos. Constataram que 67% da variação da produtividade do milho, durante o período de 1903 a 1956, em Illinois, Estados Unidos, foi explicada pela

variação da precipitação e da temperatura máxima diária, 50 a 74 dias antes do pendoamento e 14 a 30 dias depois do pendoamento. Quando a tendência tecnológica foi incluída no modelo, a produtividade do milho foi explicada em 75% da variação total.

CHEN e FONSECA (1980) determinaram os efeitos do clima e da tecnologia na cultura de milho, pela análise de correlação, em Ribeirão Preto, no Estado de São Paulo. Os parâmetros meteorológicos mensais que tiveram maiores influências na produtividade do milho foram a evaporação total e a umidade relativa de outubro a março. Todos os parâmetros meteorológicos utilizados na análise foram significativos em dezembro, indicando que este é o mês crítico para a produção de milho. Avanços tecnológicos no período de 1957 a 1975 tiveram influência na produtividade do milho e explicaram mais de 45% da variação total. O modelo clima-tecnologia, denominado YWT, para a previsão da produtividade, o qual utiliza a umidade relativa de outubro a março e a tendência tecnológica como variáveis independentes, estimou satisfatoriamente a produtividade do milho com até três meses antes da colheita.

CUÉLLAR (1990) desenvolveu modelos agroclimáticos para estimar a produtividade da cultura do milho para oito localidades do Estado de Minas Gerais, com base na tendência tecnológica e em variáveis derivadas do balanço hídrico decendial, isto é: necessidades hídricas, excesso hídrico, déficit hídrico e o índice "I" das necessidades hídricas. Os modelos foram desenvolvidos, utilizando-se técnicas de

regressão múltipla, e consistiram de uma variável associada à tendência tecnológica combinada com o menor número de parâmetros agroclimáticos decendiais. Tais modelos explicaram 75 a 92% da variação de produtividade nas localidades estudadas. Apresentou-se, também, um modelo geral, utilizando os dados combinados de todas as localidades, o qual explicou 96% da variação total, e constatou-se que o índice "I" das necessidades hídricas não teve a importância esperada na estimativa da produtividade de milho em Minas Gerais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. A Região de Estudo

O presente trabalho foi realizado com os dados da Região Lagunera da República Mexicana, localizada numa área geográfica que compreende uma parte do Estado de Coahuila e outra do Estado de Durango, abrangendo um total de 2.203.100 hectares.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é BWsh, seco desértico, com chuvas concentradas no verão e temperatura elevada. A precipitação média anual varia entre 200 e 300 mm e a temperatura média, entre 20 e 22 °C. Apresenta uma frequência de geadas de zero a 20 dias por ano e uma frequência de granizo de zero a um dia por ano. Nessa região, todas as culturas estabelecidas, incluindo o milho, são irrigadas, sendo a fonte de abastecimento uma bacia hidrográfica com capacidade para 3.100 milhões de m³. O volume de água usado em cada ano agrícola para irrigar uma superfície de aproximadamente

100.000 ha é controlado pela Secretaria de Agricultura e Recursos Hidráulicos (SARH). A região caracteriza-se também pela formação de parte de uma extensa planície, que facilita o uso do sistema de irrigação por superfície, o mais utilizado pelos agricultores.

3.2. Condições de Manejo da Cultura do Milho

Existem várias séries de solos na Região Lagunera, sendo a mais predominante a série Coyote, caracterizada por ter solos de textura média a pesada e com alta capacidade de retenção de umidade. A época de plantio para o milho na região é, em geral, no mês de abril, tendo a maioria dos cultivares utilizado um ciclo aproximado de 130 dias até a colheita. É comum aplicar uma irrigação de 10 a 15 dias antes da sementeira do milho, visando garantir adequada percentagem de germinação. Posteriormente, são aplicadas de três a quatro irrigações durante o ciclo da cultura, conforme os dados fornecidos pelo INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES Y AGROPECUARIAS (1984), do México.

3.3. Dados Utilizados

Para a realização deste trabalho foram utilizados os dados climatológicos diários da Estação Lerdo, considerada representativa da Região Lagunera. As coordenadas geográficas deste local de observação são as seguintes:

Latitude = 25° 30' N;

Longitude = 103° 32' W; e

Altitude = 1130 m.

Os dados meteorológicos usados foram temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, temperatura média, evaporação e precipitação pluvial, nos anos de 1967 a 1988. Os dados foram fornecidos pelo Escritório de Hidrometria da Secretaria de Agricultura e Recursos Hidráulicos (SARH) da Região Lagunera. Os dados de produtividade do milho utilizados foram obtidos de registros estatísticos dessa mesma Instituição, no período de 1967 a 1988, os quais são apresentados no Quadro 1.

3.4. Data de Plantio e Ciclo da Cultura

Considerando as épocas de plantio recomendadas para o milho, optou-se pelo terceiro decêndio de abril, com duração média do ciclo da cultura de 130 dias, aproximadamente. Desta forma, o ciclo da cultura foi dividido em 13 decêndios, ficando a data de colheita no terceiro decêndio de agosto. Considerou-se mais adequado trabalhar com intervalos curtos de tempo, uma vez que se procuraram detectar os elementos do clima que têm maior influência na produtividade da cultura.

Na Figura 1 são apresentadas a distribuição média decencial da precipitação e a variação da temperatura média decencial, ambas, durante o ciclo da cultura do milho, para a Região Lagunera. Cabe ressaltar que a precipitação total média durante o ciclo da cultura é de 155,1 mm e a

QUADRO 1 - Produtividade da Cultura do Milho na Região Lagunera - México. Período 1967-1988 (SARH)

ANO	PRODUT. (kg/ha)
1967	1.969
1968	1.800
1969	2.445
1970	1.979
1971	1.711
1972	1.714
1973	1.876
1974	2.381
1975	2.487
1976	2.499
1977	2.552
1978	2.678
1979	2.872
1980	2.892
1981	1.966
1982	2.692
1983	1.807
1984	1.743
1985	1.440
1986	1.227
1987	1.371
1988	1.419

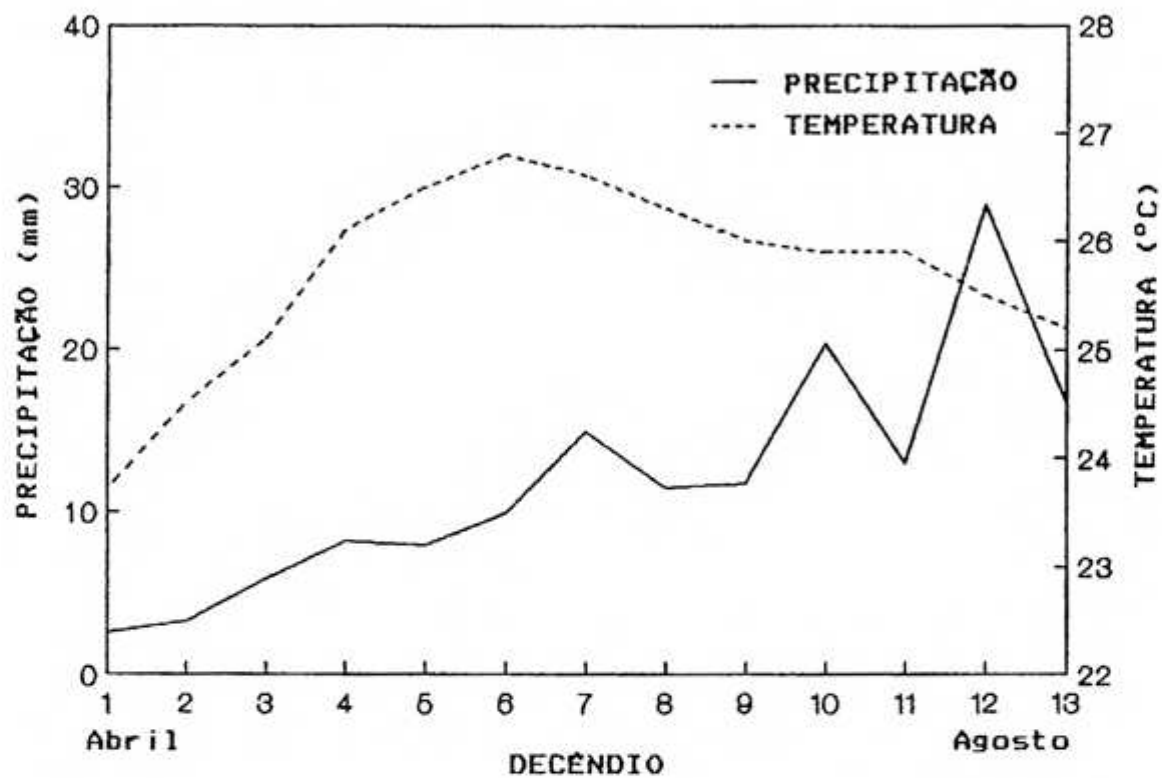


FIGURA 1 - Distribuição Média Decendial da Precipitação Pluvial e a Variação da Temperatura Média Decendial Durante o Ciclo da Cultura de Milho na Região Lagunera.

necessidade hídrica total média nesse período, de 595,0 mm. A irrigação é, portanto, indispensável na região para produzir o milho. A temperatura varia, em média, de 23,7 °C até 26,8 °C, do primeiro ao quinto decêndio, depois diminui, gradualmente, até 25,2 °C no último decêndio.

3.5. Obtenção da Evapotranspiração Potencial

Para estimar a evapotranspiração potencial (EP), em nível decendial, utilizaram-se dados de evaporação do tanque classe "A", uma vez que, dentre os métodos de Penman, Jensen-Haise, Turc, Evaporação no tanque classe A, Makkink, Norero, Blaney-Criddle modificado e Christiansen e Hargreaves, o método da evaporação no classe A foi o mais apropriado para a região, segundo GARCIA e CUÉLLAR (1990). A expressão utilizada para o cálculo da evapotranspiração potencial foi:

$$EP = C_{et} * EV, \quad (2)$$

em que EP é a evapotranspiração potencial, em mm, no período considerado; C_{et} , um coeficiente que depende das características do local de instalação do tanque classe A; e EV, a evaporação medida no tanque classe "A", em mm, no período considerado.

3.6. Determinação dos Graus-Dias

Para o cálculo dos graus-dias necessários durante todo o ciclo fenológico da cultura do milho na Região Lagunera, foi utilizado o método WB 10/30, pelo qual se

determinam as unidades térmicas, de acordo com a seguinte expressão:

$$GD = \sum_{i=1}^n [(T_{max} + T_{min}) / 2 - T_b], \quad (3)$$

em que GD são os graus-dias acumulados no período; T_{max} , a temperatura máxima diária do ar ($^{\circ}C$); T_{min} , a temperatura mínima diária do ar ($^{\circ}C$); e T_b , a temperatura base da cultura ($^{\circ}C$) que, para o milho, foi considerada igual a $10^{\circ}C$.

3.7. Modelo Agroclimático de Camargo

Elaborou-se o balanço hídrico climático, sem irrigação, para verificar o comportamento do modelo agroclimático de Camargo. Esse modelo considera a redução da produtividade potencial conforme as condições meteorológicas durante o ciclo da cultura, como mencionado anteriormente. A produtividade potencial da cultura do milho foi estimada, determinando-se a média das quatro produtividades mais altas no período estudado (de 1967 a 1988), correspondendo a 2.784 kg/ha para a região de estudo. Em tal modelo, o fator térmico (F_{ter}) corresponde à relação entre graus-dias acumulados e o valor médio dos graus-dias, dado pela seguinte expressão:

$$F_{ter} = \Sigma GD / \Sigma \bar{GD}, \quad (4)$$

em que ΣGD é o somatório de graus-dias para a cultura

específica, durante o ciclo plantio-maturação; e $\Sigma \bar{GD}$, o somatório de graus-dias médio, durante o ciclo plantio-maturação, o qual é determinado pela média dos ΣGD dos anos agrícolas estudados.

O fator associado ao déficit hídrico (Fdef) é definido em função da relação ER/EP durante o período de maior necessidade hídrica da cultura, sendo ER a evapotranspiração real e EP a potencial. Nota-se que quando a relação ER/EP foi inferior a 1 a cultura esteve sob estresse hídrico. Define-se Fdef como a raiz quadrada do produtório dessas relações por intervalos decenciais, isto é:

$$F_{def} = (\Pi ER/EP)^{1/2}, \quad (5)$$

sendo $\Pi ER/EP$ o produtório da relação entre a evapotranspiração real e a potencial, em nível decencial, entre o início de florescimento e o início de maturação.

O fator de redução associado ao excedente hídrico (Fexc) foi determinado como:

$$F_{exc} = 1 - K (1 - \Pi fe), \quad (6)$$

sendo K um fator de correção e Πfe o produtório dos fatores excedentes decenciais (fe), desde o início do florescimento até a maturação. O fator excedente decencial foi calculado pela seguinte equação:

$$fe = 1 - (Ex - EP) / Ex, \quad (7)$$

sendo E_x o excedente hídrico (mm) e EP a evapotranspiração potencial (mm). A única restrição é que o excedente tem que ser maior ou igual à evapotranspiração potencial.

Cabe ressaltar que foi utilizado o balanço hídrico segundo o método de Thornthwaite e Mather (1955), sem levar em conta a irrigação, com 150 mm de água disponível no solo. Esse balanço foi empregado segundo as propriedades físicas dos solos predominantes na região e com base decendial, conforme preconiza o modelo de Camargo, exceto a evapotranspiração potencial, que foi determinada pelo método do tanque classe "A", pelas razões anteriormente descritas.

3.8. Modelo que Considera a Tendência Tecnológica e a Influência das Variáveis Agroclimáticas

Este tipo de modelo agroclimático visa identificar a influência da tendência tecnológica sobre a produtividade da cultura como sendo o resultado integrado da ação de uma série de variáveis, tais como: irrigação, melhoramento genético, práticas culturais, práticas fitossanitárias etc. É importante destacar que a irrigação representa, em grande parte, a tendência tecnológica na Região Lagunera. Para representar essa tendência, utiliza-se uma curva que explica melhor a produtividade com o tempo, em que o ano é a variável independente e a produtividade a variável dependente, como se observa na Figura 2. Nota-se, na referida figura, que a reta representa a produtividade explicada pela tendência tecnológica e os pontos, a

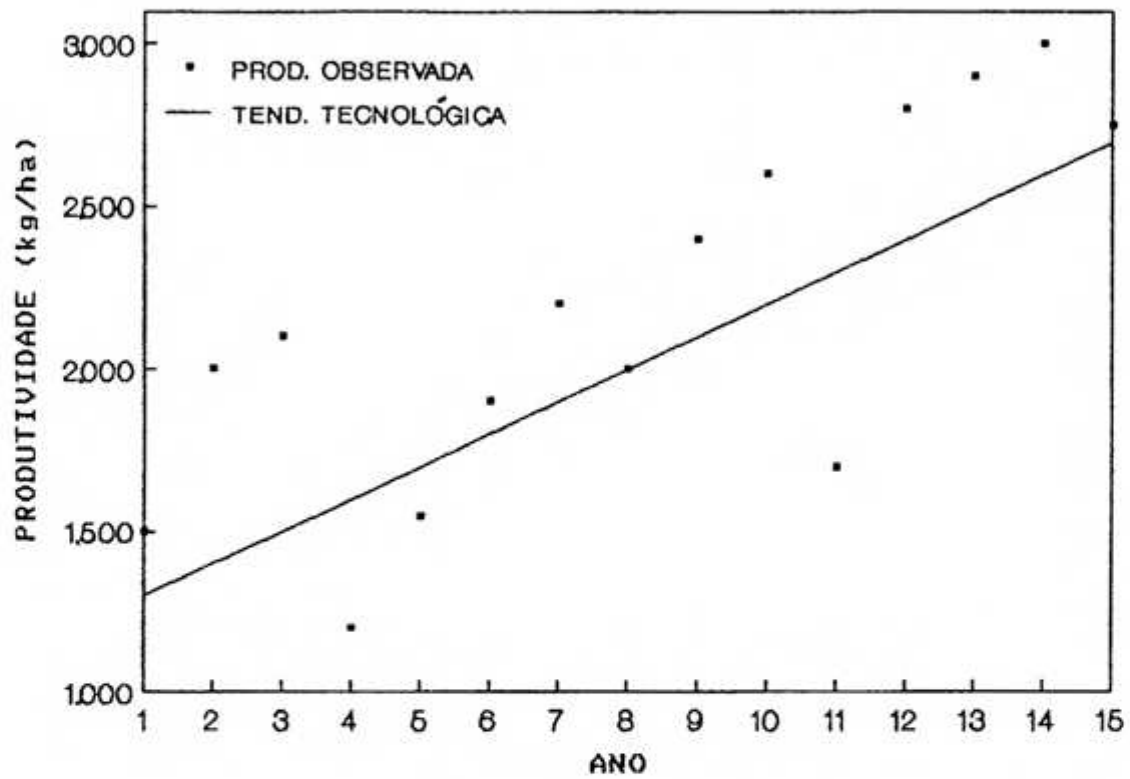


FIGURA 2 - Representação do Modelo que se Fundamenta nos Desvios entre a Produtividade Observada da Cultura e a Produtividade Estimada pela Reta da Tendência Tecnológica.

produtividade observada da cultura ao longo de um período de tempo. O modelo considera que os desvios entre os pontos de dispersão e a reta de regressão são atribuídos às variações climáticas no decorrer desses anos. Logo, para determinar a influência do clima na produtividade do milho, esses desvios foram correlacionados com os parâmetros agroclimáticos, em intervalos de 10 dias, durante o ciclo da cultura, com o objetivo de estudar as causas dessas diferenças na produtividade com relação ao tempo (ano).

Como passo prévio para a obtenção do modelo agroclimático, foram estimadas as disponibilidades hídricas, mediante o balanço hídrico proposto por FRÈRE e POPOV (1980), calculado em nível decendial e sem considerar a irrigação, em que a evapotranspiração potencial utilizada foi a determinada pelo método da evaporação no tanque classe "A". Utilizou-se uma reserva hídrica de 150 mm, e os coeficientes da cultura do milho foram obtidos dos valores publicados pela FAO (1980).

Para determinar a correlação dos desvios com os parâmetros agroclimáticos, foram propostas as seguintes variáveis independentes: temperatura média do ar, precipitação pluvial, graus-dias, necessidades hídricas e o índice de FRÈRE e POPOV (1980), sendo os dois últimos dependentes dos elementos que compõem o balanço hídrico do solo. A maneira de se obter o parâmetro necessidade hídrica da cultura do milho foi por meio do produto entre a evapotranspiração potencial (EP) e o coeficiente da cultura do milho, ambos em nível decendial.

Considerou-se importante associar os valores decendiais dos parâmetros agroclimáticos com as fases fenológicas ao longo do ciclo da cultura do milho. Assim, dividiu-se o ciclo da cultura em três fases: crescimento vegetativo, que corresponde ao período do primeiro ao quarto decêndio; espigamento ao início da maturação, que corresponde ao período do quinto ao oitavo decêndio; e, por último, a fase de maturação, que corresponde ao nono e décimo decêndio. As variáveis independentes e os desvios foram considerados até o décimo decêndio, uma vez que depois deste período a produtividade da cultura é pouco influenciada pelos elementos do clima.

Para desenvolver o modelo agroclimático do milho, selecionaram-se os parâmetros agroclimáticos decendiais, que apresentaram as mais altas correlações com os desvios da produtividade, incluindo-se, também, a variável relacionada com a tendência tecnológica. Assim, foram obtidos os modelos, mediante análises de regressão múltipla e o uso do método de eliminação de variáveis por passos, denominado "stepwise-backward".

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação do Modelo Agroclimático de Camargo para a Produtividade do Milho na Região Lagunera

Considerando que a produtividade do milho é condicionada pelas variações das condições atmosféricas, avaliou-se o modelo agroclimático de Camargo para as condições da Região Lagunera, no México, sendo que não foi considerada a irrigação na elaboração do balanço hídrico. Como descrito anteriormente, na medida em que ocorre alguma restrição climática, a produtividade potencial sofre redução pelos fatores térmico e hídricos do modelo.

Foram determinados os fatores F_{ter} , F_{def} e F_{exc} , para cada ano do período em consideração e obtidas as produtividades estimadas para o milho. Assim, utilizando-se o modelo de Camargo, a estimativa da produtividade foi muito baixa em comparação com a observada. Isto sugere, claramente, a existência de outros fatores não incluídos no modelo e que, neste caso específico, devem estar relacionados com a irrigação. A redução associada ao déficit

hídrico foi severa na maioria dos anos estudados, devido à ausência de dados de irrigação no balanço hídrico decendial. No caso do fator térmico, a redução imposta à produtividade foi desprezível, o que significa que a cultura, durante o ciclo plantio-maturação, teve condições de temperatura favoráveis ao seu desenvolvimento normal. Por outro lado, a inexistência de excedentes hídricos, devido à escassa precipitação, proporcionou um valor de F_{exc} sistematicamente igual à unidade.

É importante mencionar que o modelo de Camargo é sensível à necessidade de se incluir o componente irrigação na estimativa da produtividade do milho na Região Lagunera, onde esse componente representa, em grande parte, a tendência tecnológica.

4.2. Influência da Tendência Tecnológica e dos Parâmetros Agroclimáticos na Produtividade da Cultura do Milho

Outro método utilizado neste trabalho, para o desenvolvimento dos modelos agroclimáticos de produtividade do milho na Região Lagunera, é o que considera a influência da tendência tecnológica. Inicialmente, analisou-se o diagrama de dispersão entre a produtividade do milho e o tempo, no período estudado (1967 a 1988), como pode ser visto na Figura 3, na qual se observa, também, queda marcante na produtividade a partir do ano de 1980. Considerou-se, então, mais adequado para a avaliação dividir a influência da tendência tecnológica em dois períodos, sendo o primeiro de 1967 a 1980, em que se observou

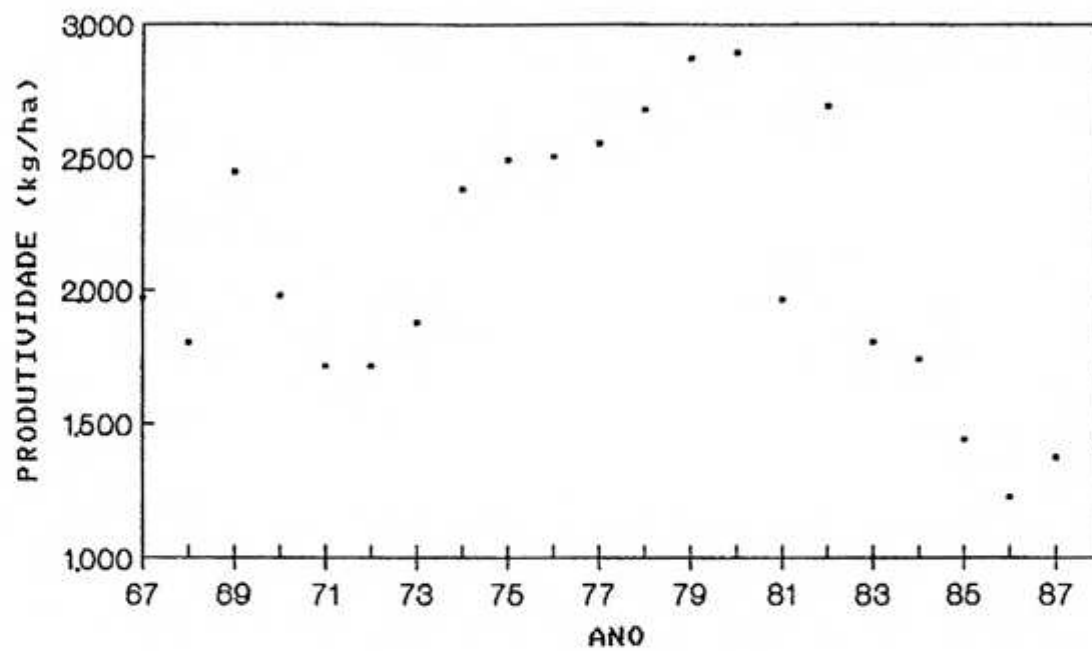


FIGURA 3 - Dispersograma entre a Produtividade do Milho e o Tempo (Ano) na Região Lagunera. Período 1967-1988.

tendência crescente na produtividade, e o segundo período de 1980 a 1988, em que essa tendência se inverteu. A tendência tecnológica foi representada por uma equação linear, isto é:

$$\text{TEND} = a + b t, \quad (8)$$

em que TEND é a produtividade da cultura do milho estimada pela tendência tecnológica, em kg/ha, e a variável tempo, expressa por $t = \text{ano}$ (1967 a 1988). O modelo linear foi escolhido por ser mais apropriado ao comportamento dos dados de produtividade. No Quadro 2 estão apresentadas as equações de regressão da tendência tecnológica, para os dois períodos mencionados, para a Região Lagunera mexicana.

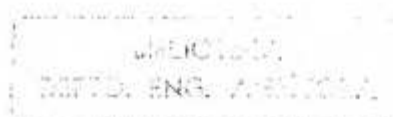
As Figuras 4 e 5 ilustram a variação anual da produtividade da cultura do milho, explicada pela tendência tecnológica, para os dois períodos estudados.

Para determinar a influência dos parâmetros

QUADRO 2 - Coeficientes de Regressão da Equação da Tendência Tecnológica (TEND). Períodos 1967-1980 e 1980-1988

Período	Coeficientes de Regressão		R ²
	a	b	
1967-1980	1671	81**	0,64
1980-1988	2754	-183**	0,72

** Significativo a 1%.



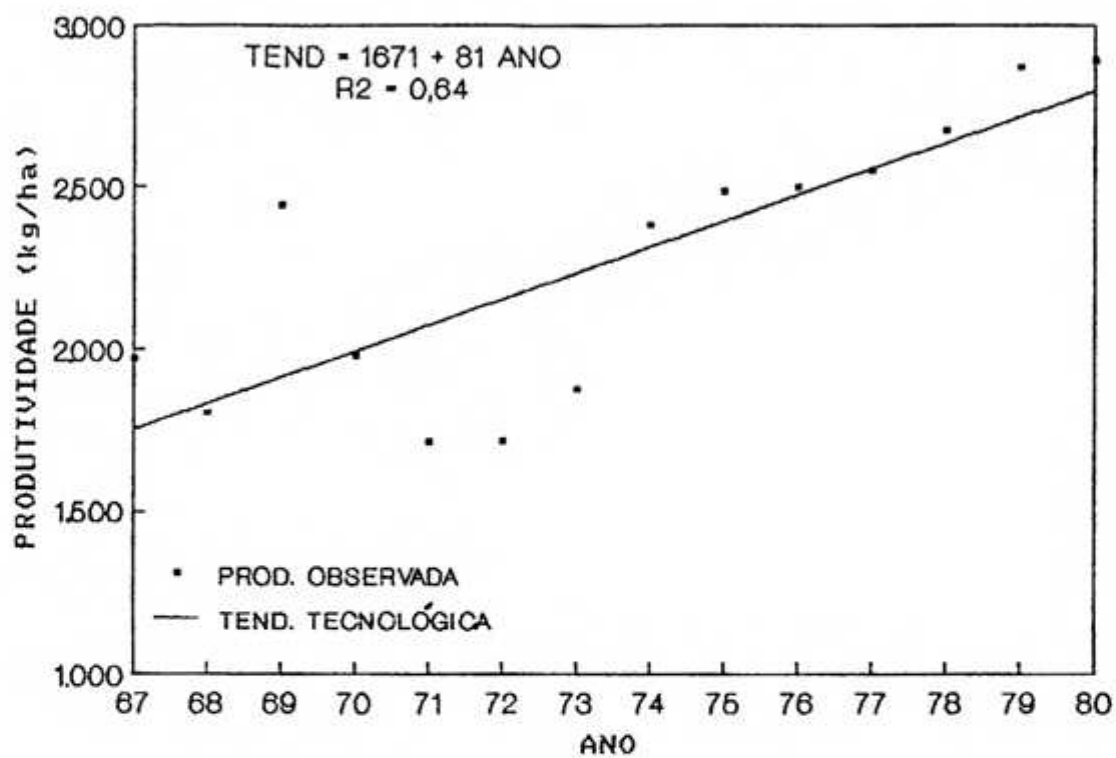


FIGURA 4 - Tendência Tecnológica da Produtividade da Cultura do Milho para a Região Lagunera. Período 1967-1980.

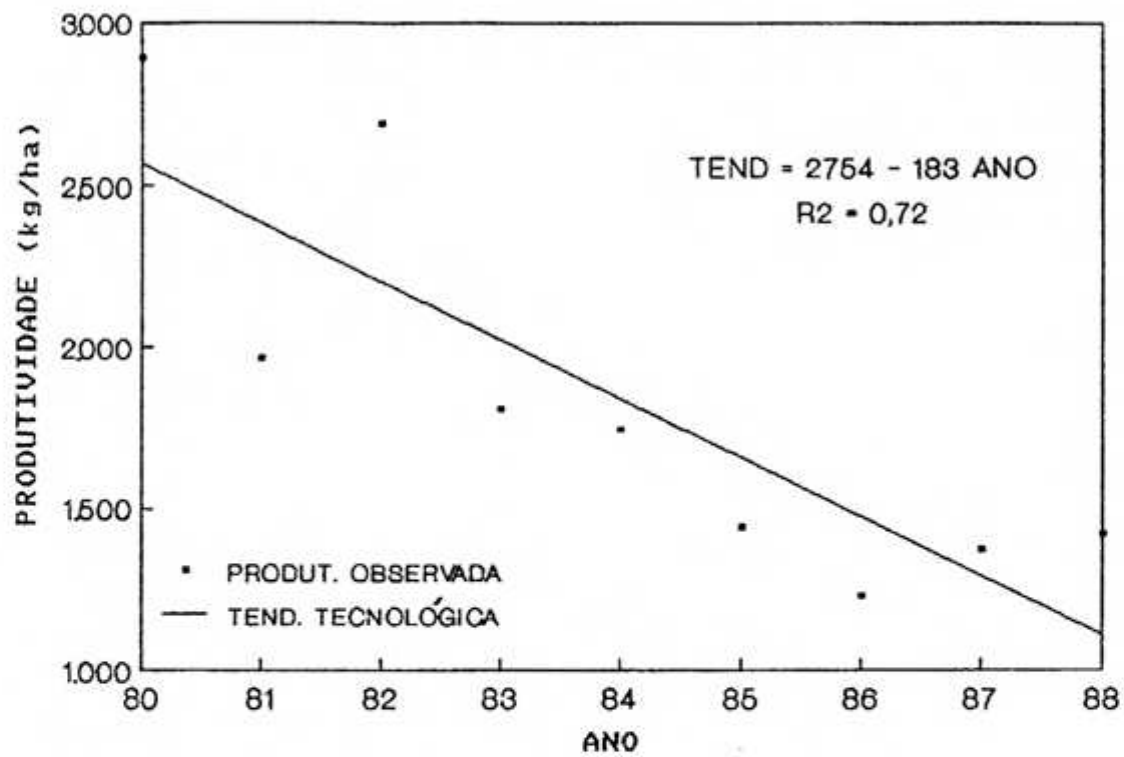


FIGURA 5 - Tendência Tecnológica da Produtividade da Cultura do Milho para a Região Lagunera. Período 1980-1988.

agroclimáticos sobre a produtividade da cultura de milho, foram obtidos os desvios entre a produtividade anual observada e a produtividade estimada pela tendência tecnológica. Esses desvios foram correlacionados com os parâmetros agroclimáticos até o décimo decênio, considerado como o decênio limite superior, em que as variações climáticas, depois desse período, têm pouca ou nenhuma influência sobre a produtividade do milho.

No Quadro 3, apresentam-se as correlações entre os desvios da produtividade do milho a partir da tendência tecnológica e os valores deceniais dos parâmetros agroclimáticos da localidade estudada, para o período de 1967 a 1980. Durante o segundo decênio do ciclo da cultura do milho, correspondente ao período de crescimento vegetativo, a precipitação e a necessidade hídrica tiveram correlações negativa e positiva, respectivamente, com os desvios da produtividade. Durante o sétimo decênio, que coincidiu com a fase de espigamento ao início da maturação do milho, a temperatura, a necessidade hídrica e os graus-dias correlacionaram-se positivamente com os desvios da produtividade, enquanto a precipitação correlacionou negativamente. No período de maturação da cultura do milho, a precipitação e o índice de Frère e Popov correlacionaram-se negativamente com os desvios da produtividade (nono e décimo decênios).

No Quadro 4 são apresentadas as correlações entre os desvios da produtividade do milho e os parâmetros agroclimáticos deceniais para a Região Lagunera, nos anos

QUADRO 3 - Correlações entre os Desvios da Produtividade de Milho e os Seguintes Parâmetros Agroclimáticos Decendiais: Temperatura (T), Precipitação (P), Necessidade Hídrica (NH), Graus-Dias (GD) e Índice de Frère e Popov (I), para a Região Lagunera. Período 1967-1980

DEC	T	P	NH	GD	I
1	-0,11	0,24	0,14	-0,11	
2	-0,13	-0,67*	0,57*	-0,13	
3	0,27	-0,44	0,41	0,27	
4	-0,40	-0,35	0,15	-0,40	
5	0,38	-0,16	0,10	0,39	
6	0,28	-0,33	0,37	0,29	
7	0,49*	-0,50*	0,49*	0,49*	
8	0,31	0,17	-0,02	0,32	
9	0,36	-0,47*	0,35	0,36	
10	0,32	-0,01	0,01	0,33	-0,51*

* Correlações mais altas.

QUADRO 4 - Correlações entre os Desvios da Produtividade de Milho e os Seguintes Parâmetros Agroclimáticos Decendiais: Temperatura (T), Precipitação (P), Necessidade Hídrica (NH), Graus-Dias (GD) e Índice de Frère e Popov (I), para a Região Lagunera. Período 1980-1988

DEC	T	P	NH	GD	I
1	-0,16	0,21	-0,18	-0,16	
2	0,07	-0,59*	0,08	0,07	
3	-0,10	-0,01	-0,23	-0,10	
4	0,36	-0,40	0,58*	0,35	
5	0,41	-0,04	0,51	0,41	
6	0,26	-0,51	0,31	0,26	
7	0,49	-0,16	0,52	0,49	
8	0,05	0,57*	-0,21	0,05	
9	0,28	-0,11	0,15	0,28	
10	-0,32	0,20	-0,16	-0,32	-0,55*

* Correlações mais altas.

de 1980 a 1988. Durante a fase de crescimento vegetativo da cultura, a precipitação correlacionou-se negativamente (segundo decêndio) com os desvios da produtividade, e a necessidade hídrica o fez positivamente, no quarto decêndio. Na fase de espigamento ao início de maturação, a precipitação correlacionou-se positivamente, no oitavo decêndio, com os desvios da produtividade, e na fase de maturação o índice de Frère e Popov correlacionou-se negativamente com esses desvios, no décimo decêndio. Cabe mencionar, observando-se os Quadros 3 e 4, que a temperatura, graus-dias e necessidade hídrica foram, na maioria dos decêndios, positivamente correlacionados com os desvios entre a produtividade observada e a estimada pela tendência tecnológica. Isto ocorreu pelo fato de que graus-dias é um parâmetro derivado dos dados de temperatura e a necessidade hídrica é, também, função direta da temperatura. Essa correlação positiva indica que o nível de produtividade do milho explicado pela tendência tecnológica, ou irrigação, foi influenciado diretamente pela variação da temperatura durante o ciclo da cultura, isto é, observaram-se maiores desvios entre a produtividade estimada somente pela tendência e a produtividade observada, com os valores de temperatura média do ar. A correlação negativa entre a precipitação e os desvios entre a produtividade observada e a estimada pela tendência tecnológica indica que, em época chuvosa, a produtividade estimada pela tendência aproxima-se da produtividade observada. Pode ser, também, uma indicação de que a irrigação praticada pelos agricultores

não atende plenamente à exigência hídrica da cultura, ou seja, a eficiência da irrigação na região provavelmente é pequena.

4.3. Influência da Tendência Tecnológica e dos Parâmetros Agroclimáticos do Modelo de Camargo na Produtividade da Cultura do Milho

Tendo em vista que o modelo agroclimático de Camargo identificou a necessidade de integrar o componente irrigação para estimar a produtividade da cultura do milho nessa região, inclui-se, em tal modelo, a influência da tendência tecnológica, estando a irrigação integrada nesta variável. Os parâmetros usados para se correlacionarem com os desvios entre a produtividade observada e a estimada pela tendência tecnológica foram os fatores F_{ter} e F_{def} , a razão ER/EP , as deficiências hídricas (DEF) e a diferença entre a precipitação pluvial e a evapotranspiração potencial (PEP).

No Quadro 5, mostram-se as correlações entre os desvios na produtividade do milho e os parâmetros agroclimáticos decendiais utilizados no modelo de Camargo, para a Região Lagunera, no período de 1967 a 1980. Durante o segundo decênio, a diferença PEP correlacionou-se negativamente com os desvios da produtividade; no terceiro decênio, a razão ER/EP , a deficiência hídrica e a diferença PEP correlacionaram-se negativamente com os desvios da produtividade; e no quarto decênio a razão ER/EP correlacionou-se negativamente. Nota-se que os três decênios mencionados correspondem à fase de crescimento

QUADRO 5 - Correlações entre os Desvios da Produtividade do Milho e os Parâmetros Agroclimáticos Decendiais Utilizados no Modelo de Camargo, na Região Lagunera. Período 1967-1980

DEC	ER/EP	DEF	PEP	FTER	FDEF
1	0,18	0,05	0,00		
2	-0,15	-0,38	-0,67*		
3	-0,49*	-0,51*	-0,49*		
4	-0,50*	-0,44	-0,33		
5	-0,27	-0,18	-0,12		
6	-0,53*	-0,51*	-0,51		
7	-0,57*	-0,53*	-0,51*		
8	0,11	0,10	0,13		
9	-0,41	-0,44	-0,46		
10	-0,07	-0,08	0,00	0,44	-0,31

* Correlações mais altas.

vegetativo da cultura de milho. Já no sexto decênio, a razão ER/EP e a deficiência hídrica correlacionaram-se negativamente com os desvios da produtividade. Durante o sétimo decênio, a razão ER/EP, a deficiência hídrica e a diferença PEP correlacionaram-se negativamente com os desvios da produtividade. Os decênios sexto e sétimo estão incluídos na fase de espigamento ao início de maturação.

No Quadro 6, apresentam-se as correlações entre os desvios da produtividade do milho e os parâmetros agroclimáticos decendiais utilizados no modelo de Camargo, para a Região Lagunera, no Período de 1980 a 1988. Na fase de crescimento vegetativo, a razão ER/EP correlacionou-se negativamente com os desvios da produtividade, no quarto decênio. Da fase de espigamento ao início de maturação, a razão ER/EP e a deficiência hídrica, ambas no sexto decênio, correlacionaram-se negativamente com os desvios da produtividade.

De maneira geral, observa-se, nos Quadros 5 e 6, que a razão ER/EP, a deficiência hídrica e a diferença PEP foram, na maioria dos decênios, negativamente correlacionadas com os desvios entre a produtividade observada e a estimada pela tendência tecnológica. Isto é, como esses três parâmetros agroclimáticos dependem da precipitação, eles indicam que em época chuvosa a produtividade estimada pela tendência aproxima-se da produtividade observada. Pode ser, também, uma indicação de que a irrigação praticada pelos agricultores não atende plenamente à exigência hídrica da cultura.

QUADRO 6 - Correlações entre os Desvios da Produtividade do Milho e os Parâmetros Agroclimáticos Decendiais Utilizados no Modelo de Camargo, na Região Lagunera. Período 1980-1988

DEC	ER/EP	DEF	PEP	FTER	FDEF
1	-0,15	-0,02	0,21		
2	-0,47	-0,33	-0,44		
3	-0,30	-0,10	0,13		
4	-0,55*	-0,54	-0,46		
5	-0,20	-0,36	-0,21		
6	-0,58*	-0,56*	-0,52		
7	-0,31	-0,39	-0,27		
8	0,45	0,32	0,47		
9	-0,19	-0,18	-0,14		
10	0,12	0,11	0,20	0,30	-0,32

* Correlações mais altas.

4.4. Modelos Agroclimáticos de Estimativa de Produtividade do Milho na Região Lagunera do México

Para o desenvolvimento dos modelos agroclimáticos de estimativa da produtividade do milho na Região Lagunera, utilizou-se a análise de regressão múltipla, que gera equações do tipo:

$$\text{PROD} = a + b \text{TEND} + \sum c_n X_n + e, \quad (9)$$

em que PROD é a produtividade do milho, a é uma constante, TEND é a tendência tecnológica da produtividade do milho, X_n são os parâmetros agroclimáticos decendiais, b e c_n são os coeficientes de regressão múltipla, e representa o erro ou valor não explicado pelo modelo agroclimático.

Os parâmetros agroclimáticos decendiais que tiveram as mais altas correlações com os desvios na produtividade foram selecionados para gerar os modelos agroclimáticos, eliminando-se posteriormente, pelo "método stepwise-backward", as variáveis que contribuíram menos para explicar a variação na produtividade do milho.

No Quadro 7, apresentam-se os modelos agroclimáticos de estimativa da produtividade do milho, determinados para a Região Lagunera, nos dois períodos estudados. Incluem-se também, nesse quadro, os coeficientes de determinação (R^2). O primeiro modelo agroclimático desenvolvido para a Região Lagunera, no período de 1967 a 1980, e que considerou a tendência tecnológica e os parâmetros agroclimáticos do balanço hídrico de Frère e Popov, bem como os graus-dias, teve como principal fonte de variação a precipitação pluvial

QUADRO 7 - Modelos Agroclimáticos de Estimativa da Produtividade do Milho na Região Lagunera do México. Períodos 1967-1980 e 1980-1988

PERÍODO	MODELO AGROCLIMÁTICO	R ²
FRÈRE e POPOV		
1967-1980	$\text{PROD} = -1093,92 + 0,96 \text{ TEND} - 6,45 \text{ PVII}$ $+ 40,27 \text{ NHII}$	0,83
1980-1988	$\text{PROD} = 2106,61 + 0,64 \text{ TEND} - 37,24 \text{ I}$ $- 9,53 \text{ PII} + 8,48 \text{ PVIII}$	0,99
CAMARGO (COM TENDÊNCIA TECNOLÓGICA)		
1967-1980	$\text{PROD} = -962,14 + 0,95 \text{ TEND}$ $-22,66 \text{ PEPII} - 312,22 \text{ (ER/EP)VII}$	0,87
1980-1988	$\text{PROD} = 69,01 + 1,08 \text{ TEND}$ $-463,05 \text{ (ER/EP)VI}$	0,82

no sétimo decênio (PVII), assim como a necessidade hídrica da cultura no segundo decênio (NHII).

Na Figura 6, representam-se o comportamento da produtividade do milho estimada pelo modelo agroclimático de Frère e Popov e a produtividade observada na Região Lagunera, nos anos de 1967 a 1980. Pode-se observar a tendência crescente da produtividade do milho na maioria dos anos analisados e destacar que as estimativas do modelo agroclimático proporcionaram boas aproximações, o que explica em até 83% a variação total da produtividade do milho. Antes de ser incluída a participação dos parâmetros agroclimáticos, o modelo explicou apenas 64% da variação total, quando se considerou somente a tendência tecnológica. A contribuição da variação dos elementos climáticos na produtividade do milho foi de apenas 19%, para o período de 1967 a 1980.

O segundo modelo agroclimático com base no balanço hídrico de Frère e Popov e graus-dias, para o período de 1980 a 1988, mostrou ser mais sensível ao índice de Frère e Popov (I) e à precipitação pluvial do segundo e do oitavo decênios (PII e PVIII) do ciclo da cultura. É importante ressaltar que a alta contribuição do índice de Frère e Popov, que representa a amplitude com que as demandas hídricas de uma cultura anual são satisfeitas, em cada estágio do seu ciclo de crescimento, é consistente com pesquisas de modelagem clima-produtividade, realizadas em zonas áridas de diferentes países, onde tal índice apresentou contribuições aceitáveis na explicação da

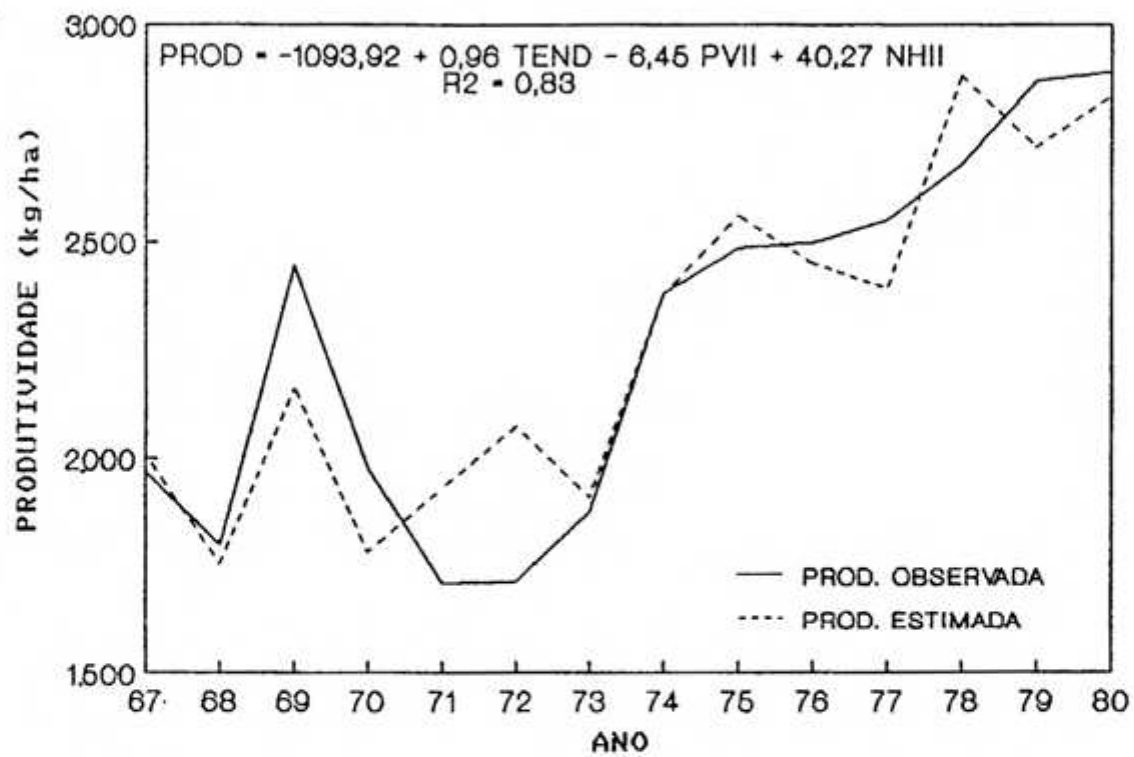


FIGURA 6 - Produtividade do Milho Observada e Estimada pelo Modelo Agroclimático de Frère e Popov na Região Lagunera. Período 1967-1980.

variação total da produtividade para diferentes culturas. Considera-se importante incluir o uso deste índice agroclimático em pesquisas futuras de previsão de safra nas zonas áridas e semi-áridas do México.

A Figura 7 ilustra a produtividade do milho estimada pelo modelo agroclimático e a produtividade observada na Região Lagunera, no período de 1980-1988. Aqui, o modelo explicou 99% da variação total da produtividade do milho na região. O modelo, considerando-se somente a tendência tecnológica, explicou 72% da variação total; ao incluir os demais parâmetros agroclimáticos, explicou próximo do total dessa variação, ou seja, as oscilações dos elementos do clima contribuíram com 28% na produtividade do milho, aproximadamente.

É importante mencionar, também, que a tendência decrescente da produtividade nesse período de 1980 a 1988 foi devida a diferentes fatores, tais como problemas relacionados a investimentos tecnológicos e em defensivos agrícolas, irrigação inadequada, melhoramento genético, práticas culturais etc. Nesse período, foram dirigidos recursos para outras atividades, com prejuízos visíveis para os produtores agrícolas, especialmente os produtores de milho.

O modelo agroclimático de Camargo foi também avaliado, considerando-se a participação da tendência tecnológica com os parâmetros agroclimáticos decendiais. Como pode ser visto no Quadro 8, no modelo de Camargo (incluindo a tendência tecnológica), para o período de 1967-

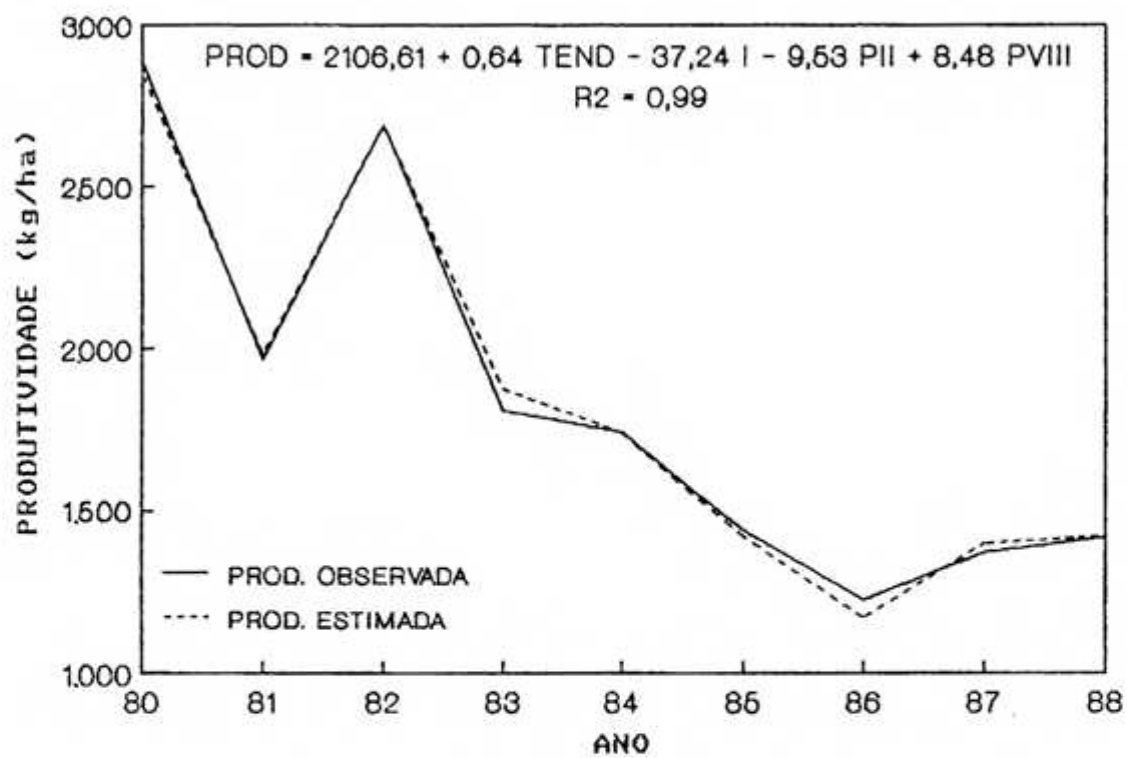


FIGURA 7 - Produtividade do Milho Observada e Estimada pelo Modelo Agroclimático de Frère e Popov na Região Lagunera. Período 1980-1988.

1980, destacaram-se as variáveis PEP no segundo decênio (PETPII) e a razão ER/EP no sétimo decênio (ER/EP)VII.

A Figura 8 ilustra as variações observadas da produtividade do milho e as estimadas pelo modelo agroclimático de Camargo (com tendência tecnológica) para a Região Lagunera, nos anos de 1967 a 1980. Esse modelo explicou 87% da variação total da produtividade, sendo que a tendência tecnológica somente explicou 64% dessa variação. Portanto, a inclusão dos parâmetros agroclimáticos no modelo de Camargo elevou em 23% a explicação da produtividade do milho na região considerada.

Para o segundo período (1980 a 1988), no modelo agroclimático de Camargo (com tendência tecnológica) destaca-se a variável ER/EP no sexto decênio do ciclo da cultura de milho (ER/EP)VI, que explicou 82% da variação total da produtividade, sendo o clima responsável por apenas 10% dessa variação.

Na Figura 9, apresentam-se as estimativas da produtividade do milho pelo modelo agroclimático de Camargo (com tendência tecnológica) e a produtividade observada. Tal modelo foi determinado com um nível de significância de 10% na eliminação "stepwise backward", já que a 5% nenhuma das variáveis agroclimáticas consideradas teve significância no modelo, o que resultou na equação que inclui somente a tendência tecnológica.

Os quatro modelos agroclimáticos obtidos no presente trabalho (Quadro 7) podem ser considerados adequados para a estimativa da produtividade do milho a curto prazo, na

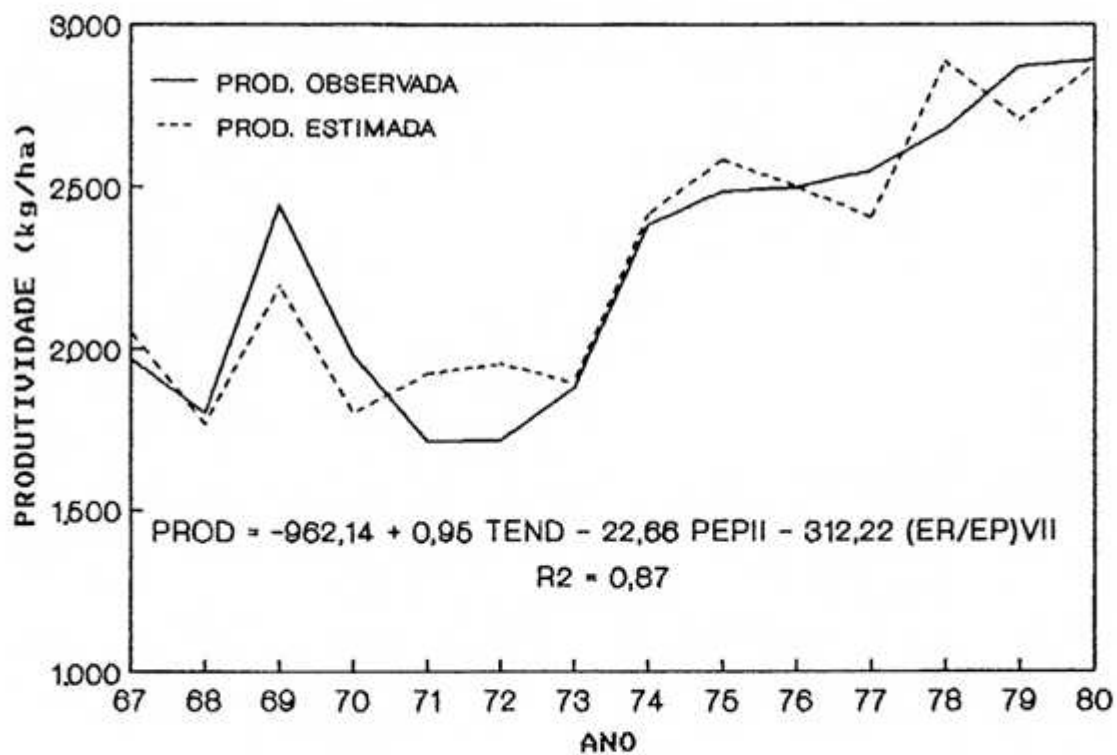


FIGURA 8 - Produtividade do Milho Observada e Estimada pelo Modelo Agroclimático de Camargo (com Tendência Tecnológica) na Região Lagunera. Período 1967-1980.

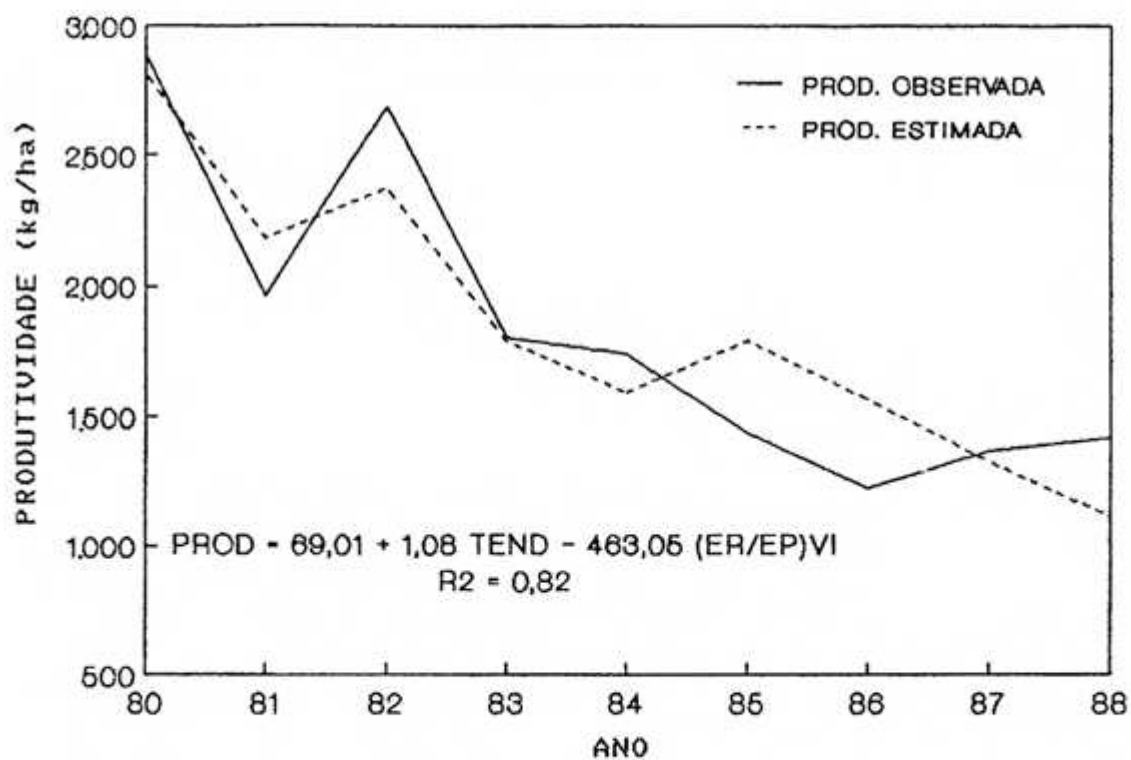


FIGURA 9 - Produtividade do Milho Observada e Estimada pelo Modelo Agroclimático de Camargo (com Tendência Tecnológica) na Região Lagunera. Período 1980-1988.

Região Lagunera. Entretanto, para serem utilizados na previsão de safras de médio a longo prazo, há necessidade de se verificar a consistência de tais modelos, com informações de prazos mais longos, sobre a produtividade da cultura e sobre dados climáticos, uma vez que os modelos analisados não permitem, com segurança, projeções a longo prazo. Nota-se que as séries de dados utilizados foram de períodos curtos.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de desenvolver um modelo agroclimático de estimativa da produtividade da cultura do milho para a Região Lagunera, México, foram avaliados dois métodos. O primeiro baseou-se no modelo agroclimático de Camargo, que considera a redução da produtividade potencial da cultura pelos fatores térmico e hídricos (deficiências e excedentes). O segundo método teve como base o modelo que considera a tendência tecnológica e a influência dos parâmetros agroclimáticos. Foram utilizados os seguintes parâmetros agroclimáticos decendiais: temperatura média do ar, precipitação pluvial, graus-dias, necessidade hídrica e o índice de Frère e Popov. Os anos estudados foram de 1967 a 1988, subdivididos em dois períodos: o primeiro de 1967-1980 e o segundo de 1980-1988.

Pelas avaliações feitas, podem-se estabelecer as seguintes conclusões:

- 1) O modelo agroclimático proposto por Camargo foi sensível à necessidade de se incluir o componente irrigação

na estimativa da produtividade do milho na Região Lagunera, onde tal componente é representado, em grande parte, pela tendência tecnológica.

2) O modelo agroclimático gerado para o período de 1967-1980 teve como principais fontes de variação a precipitação do sétimo decênio e a necessidade hídrica da cultura no segundo decênio.

3) No modelo agroclimático gerado para o período de 1980-1988 tiveram maiores influências o índice de Frère e Popov e as precipitações do segundo e oitavo decênios do ciclo da cultura.

4) O modelo agroclimático de Camargo, incluindo a tendência tecnológica, para o período de 1967-1980, teve como mais significativas as seguintes variáveis: diferença entre a precipitação pluvial e a evapotranspiração potencial no segundo decênio e a razão ER/EP no sétimo decênio.

5) No modelo agroclimático de Camargo, incluindo a tendência tecnológica, para o período de 1980-1988, deve-se levar em conta a razão ER/EP no sexto decênio.

É importante desenvolver pesquisas de modelos de previsão de safra em diferentes regiões do México, utilizando-se o modelo agroclimático de Camargo, já que contém parâmetros agroclimáticos com potencial preditivo.

BIBLIOGRAFIA

6. BIBLIOGRAFIA

- 1- BAIER, W. Crop-weather analysis model: Review and model development. Journal Of Applied Meteorology, 12: 937-47, 1973.
- 2- BAIER, W. Note on the terminology of crop-weather models. Agricultural Meteorology, 20: 137-45, 1979.
- 3- BRUNINI, O.; MIRANDA, M.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; PEREIRA, J.C.V.N.; SCHIMIDT, N.C. Teste de um modelo agroclimático que relacione o regime pluviométrico com as variações da produtividade agrícola. Coleção Análise e Pesquisa, 24: 21-46, 1982.
- 4- CAMARGO, M. B. P. Exigências bioclimáticas e estimativa 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.).
- 5- CHEN, S.C. & FONSECA, L.B. Corn yield model for Ribeirão Preto, São Paulo State, Brazil. Agricultural Meteorology, 22: 341-9, 1980.
- 6- COSTA, L.C.; COSTA, J.M.N.; SEDIYAMA, T.; ASPIAZU, C. Modelo agrometeorológico de previsão de produtividade da soja para as regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Minas Gerais. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Rio de Janeiro, ANAIS... Rio de Janeiro. 1988.
- 7- CUELLAR, V. M. Estimativa da produtividade do milho em Minas Gerais, baseada em variáveis agroclimáticas e em tendência tecnológica. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1990. 68 p. (Tese M.S.).

- 8- DENNET, M.D.; ELSTON, J.; DIEGO, Q.R. Weather and yields off tobacco, sugar beet and wheat in Europe. Agricultural Meteorology, 21: 265-79, 1980.
- 9- DRAPER, N.R. & SMITH, H. Applied regression analysis. New York, John Wiley & Sons, 1966. 407 p.
- 10- FRÈRE, M. & POPOV, G. F. Pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos. Roma, FAO, 1980. 68 p. (Estudio FAO: Producción y Protección Vegetal, 17).
- 11- GARCIA, G.H. & CUÉLLAR, V.M. Avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração da cultura de trigo irrigada na Região Lagunera-México. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Salvador-Bahia. ANAIS... Salvador-Bahia, 1990.
- 12- GRANGER, O.E. The impact of climatic variation on the yield of selected crops in three California counties. Agricultural Meteorology, 22: 367-86, 1980.
- 13- HUDDLESTON, H. F. Técnicas de muestreo para la medición y pronosticación de los rendimientos de los cultivos [s.l.] Servicio de Economía, Estadística y Cooperativas. Departamento de Agricultura de los EE. UU. de A, 1978. 171 p.
- 14- HUFF, F.A. & NEILL, J.C. Effects of natural climatic fluctuations on the temporal and spatial variation in crops yields. Journal of Applied Meteorology, 21: 540-50, 1982.
- 15- INSTITUTO DE ESTADISTICA, GEOGRAFIA E INFORMATICA (INEGI) México perfil de una nación. México, Ediciones del Equilibrista, 1987. 445 p.
- 16- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES Y AGROPECUARIAS. Guía para la asistencia técnica Agrícola. La Laguna. CAELALA. Matamoros, Coahuila, México, 1984.
- 17- JENSEN, M.E. Consumptive use of water and irrigation water requirements. New York, Published by American Society of Civil Engineers, 1973. 215 p.
- 18- KEENER, M.E.; RUNGE, E.C.A.; KLUGH, B.F. The testing of a limited-data corn yield model for large-area corn yield predictions. Journal of Applied Meteorology, 19: 1245-53, 1980.
- 19- LIU, W.T.H. & LIU, B.W.Y. Modelo de previsão de produtividade de soja no Estado de Minas Gerais. In: I CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA. ANAIS... Brasília, 1986.

- 20- LIU, W.T.H. Estimativa da produtividade de milho usando o modelo fisiológico Ceres-Maize. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. Maceió-AL. ANAIS... Maceió-AL, 1989.
- 21- MOTA, F. S. Weather - Technology models for corn and soybeans in the South of Brazil. Agricultural Meteorology, 28: 49-64, 1983.
- 22- MOTA, F. S. Meteorologia agrícola. 7a. ed. São Paulo, Nobel, 1985. 376 p.
- 23- NELSON, W. L. & DALE, R. F. Effect of trend or technology variables and record period on prediction of corn yields with weather variables. Journal of Applied Meteorology, 17: 926-33, 1978.
- 24- RUNGE, E. C. A. & ODELL, R. T. The relation between precipitation temperature and the yield of corn on the agronomy South Farm, Urbana, Illinois. Agronomy Journal, 50: 448-54, 1958.
- 25- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS (SARH). In:.... Archivos climatologicos de la Seccion de Hidrologia. Ciudad Lerdo, Durango, México, 1988.
- 26- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS. In:.... Estadisticas de la produccion agrícola. Ciudad Lerdo, Durango, México, 1988.
- 27- SEGOVIA, R. M. & ANDRADE, E. G. Um modelo de determinação do efeito da precipitação pluviométrica na produtividade agrícola. Coleção Análise e Pesquisa, 24: 11-8, 1982.
- 28- SILVA, G. L. S. P.; VICENTE, J. R.; CASER, D. V. Variações do tempo e produtividade agrícola. um subsídio à previsão de safras no Estado de São Paulo. Campinas, Fundação Cargill, 1986. 148 p.
- 29- STEWART, J. I. & HASH, C. T. Impact of weather analysis on agricultural production and planning decisions for the semiarid areas of Kenya. Journal of Applied Meteorology, 21: 477-93, 1982.
- 30- SUBBARAMAYYA, I. & RUPA KUMAR, K. Crop-weather relationships of sugarcane and yield prediction in northeast Andhra Pradesh, India. Agricultural Meteorology, 21: 265-79, 1980.
- 31- THOMPSON, L. M. Weather and technology in the production of corn in the U.S. corn belt. Agronomy Journal, 61: 453-6, 1969.