

DEFICIÊNCIAS HÍDRICAS NO SOLO E ÉPOCAS DE PLANTIO
DE MILHO (*Zea mays*) EM CAMBARÁ E LONDRINA - PR

JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI
Engenheiro Cartógrafo

Orientador: Prof. Dr. NILSON AUGUSTO VILLA NOVA

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Agrometeorologia.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Julho - 1992

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

T661d Tommaselli, José Tadeu Garcia
Deficiências hídricas no solo e épocas de plantio
de milho (*Zea mays*) em Cambará e Londrina - PR. Pi-
racicaba, 1992.
78p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Irrigação 2. Milho - Plantio - Efeito do clima
3. Solo - Deficiência hídrica I. Escola Superior de
Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba

CDD 633.15



DEFICIÊNCIAS HÍDRICAS NO SOLO E ÉPOCAS DE PLANTIO
DE MILHO (*Zea Mays*) EM CAMBARÁ E LONDRINA - PR.

JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI

Aprovada em: 18.09.1992

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova

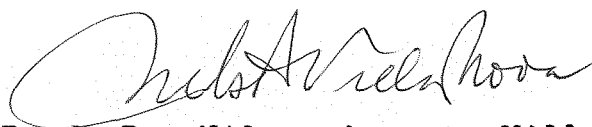
ESALQ/USP

Prof. Dr. Luiz Roberto Angelocci

ESALQ/USP

Prof. Dr. Octávio Freire

FCT/UNESP



Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova

Orientador

DEDICO

Aos meus filhos, Guillherme e Fernando.

À minha mulher, Girlene, especialmente.

Aos meus pais, Idelfonso e Idalina.

Aos meus irmãos, Toninho e Cida.

À Dora, uma segunda mãe.

À Cleonice, que muito nos faz rir.

E por fim, mas não menos importante, ao Nilson, pelos bons momentos, pelas anedotas trocadas, pela orientação recebida, por uma lição de vida e pelo seu despreendimento.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova, pela orientação.
- Ao Corpo Docente do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ-USP, pelos ensinamentos recebidos.
- Ao Departamento de Ciências Ambientais da FCT-UNESP, pela oportunidade da realização do curso.
- À CAPES, pelo apoio financeiro.
- Aos grandes amigos Neri e Carlão, pelos conhecimentos trocados, e pelo convívio pacífico.
- Ao Prof. Dr. Octávio Freire, pelos ensinamentos que recebi e venho recebendo.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	v
SUMMARY.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Introdução.....	4
2.2. Épocas de seca e de precipitação.....	4
2.3. Comportamento da água no solo.....	9
2.4. Evapotranspiração.....	12
2.5. Efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento e o desenvolvimento das culturas.....	18
2.6. Relações entre água e rendimento.....	21
3. MATERIAIS E METODOS.....	24
4. RESULTADOS.....	34
5. DISCUSSÃO.....	57
6. CONCLUSÕES.....	68
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

DEFICIÊNCIAS HÍDRICAS NO SOLO E ÉPOCAS DE PLANTIO
DE MILHO (*Zea Mays*) EM CAMBARÁ E LONDRINA - PR

Autor: José Tadeu Garcia Tommaselli
Orientador: Nilson Augusto Villa Nova

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito quantitativo das deficiências hídricas sobre a queda da produção numa cultura de milho (*Zea mays*) a partir dum modelo climático de previsão das deficiências hídricas e determinação das melhores épocas de plantio.

Este modelo foi aplicado nas localidades de Cambará (lat. 23°00'S, long. 50°02'WGr, elev. 450m) e Londrina (lat. 23°23'S, long. 51°11'WGr, elev. 566m), Paraná. O modelo fornece uma estimativa da perda de produção, em relação à potencial, em função das datas de plantio, que condicionam as épocas de floração e enchimento dos grãos, períodos altamente críticos em relação às deficiências hídricas. As estimativas foram feitas a partir dos valores de deficiência hídrica esperada, ao nível de 80% de probabilidade, e da somatória dos graus-dias acumulados.

A distribuição destas deficiências permitem a determinação das épocas propícias ao plantio sob condições naturais e fornecem elementos para a estimativa da água necessária a irrigação e para o dimensionamento dos equipamentos de irrigação.

WATER DEFICIT IN SOILS AND CORN (*Zea Mays*) SOWING DATES AT
CAMBARÁ AND LONDRINA - PR, BRAZIL

Author: José Tadeu Garcia Tommaselli

Adviser: Nilson Augusto Villa Nova

SUMMARY

The aim of this study was to try the understanding of the quantitative effect of water deficits on corn (*Zea mays*) crop yield decrease on a basis of a climatic model of water deficit forecast.

This model was applied at two sites of the Paraná State, Brazil: Cambará (lat. 23°00'S, long. 50°02'WGr, elev. 450m) and Londrina (lat. 23°23'S, long. 51°11'WGr, elev. 566m). The model estimates yield decrease, in relation to potencial values, as a function of the sowing date which determines flowering and grain filling dates, highly critical times in relation to water deficit, from expected values of water deficit, at 80% probability level and acumulated degrees-days.

The distribution of this deficits allows the determination of favorable sowing dates under natural conditions and provides elements for water needs estimation with respect to irrigation and to irrigation equipment dimentioning.

1. INTRODUÇÃO

Uma questão básica, com a qual se defronta a agricultura, é a maneira mais prática de se evitar a falta d'água durante as épocas mais importantes do desenvolvimento da cultura: a floração e a formação da produção.

As condições do solo, do clima e a constituição genética das plantas são fundamentais para o seu crescimento e desenvolvimento. O manejo do solo e as práticas genéticas já são, em determinado grau, dominadas pelo Homem. O clima não pode, ainda, ser controlado, exceto em escala reduzida, onde se lhe podem ajustar as práticas agrícolas.

Um outro aspecto importante é a previsão dos rendimentos agrícolas em função das condições meteorológicas. O clima determina muitas fases da produção agrícola e as decisões devem levar em conta as condições passadas, presentes e futuras do clima.

Dentre todas as causas de perdas que a agricultura sofre (seca, excesso de umidade, granizo, geada, ventos, enchentes e outras), cerca de 50% são devidas à seca, ou seja, à deficiência hídrica. São exemplos constantes, as perdas de safras de arroz de sequeiro no Brasil Central, mortandade de gado no Rio Grande do Sul e as conhecidas secas do Nordeste.

Não resta dúvida que um planejamento que minimize a ação dessas épocas de deficiência hídrica na fase mais importante da cultura (floração, para o milho) deverá representar uma melhoria no rendimento agrícola, na maior parte dos anos.

Ao tentarmos estabelecer algum modelo de previsão, deparamos com dados que mostram ampla variabilidade espacial e temporal, principalmente a precipitação, ao contrário dos valores de evapotranspiração potencial, que apresentam uma variabilidade temporal menos acentuada. Deste modo, a precipitação mostra ser o parâmetro de maior influência sobre a produção das culturas, via deficiência hídrica.

A primeira idéia de controle dessas deficiências é a utilização da irrigação; mas esta tem custo elevado, principalmente em função da área utilizada. É uma medida que exige uma análise criteriosa da relação custo-benefício para ser economicamente viável.

Existem maneiras mais práticas e econômicas de se lidar com o problema da deficiência hídrica, tais como consorciação de culturas, variedades mais resistentes à seca, plantio direto, cobertura do solo e outras; mas não apresentam eficiência total na resolução do problema da deficiência hídrica.

Uma abordagem nova, que vem sendo adotada sistematicamente nos Estados Unidos e na Europa, é a aplicação dos modelos probabilísticos das distribuições das deficiências hídricas (DOORENBOS & KASSAN, 1979) com vistas à previsão das épocas mais favoráveis ao plantio, evitando-se a ocorrência de altos valores de deficiência hídrica durante a época de floração (milho, para o nosso caso).

Usando-se esse tipo de método, já existem, no âmbito nacional, vários pesquisadores envolvidos em modelagem que estabelecem a relação deficiência hídrica versus produção (BRUNINI *et alii*, 1982; CENTURION, 1982; CAMARGO *et alii*, 1984; OLIVEIRA, 1989 e MATA, 1991, entre outros).

Seguindo-se esse método, optamos por estudar um modelo estocástico que definisse a perda de produção, em relação à potencial, em função das deficiências hídricas para a cultura de milho em duas localidades do Norte do Es-

tado do Paraná, a saber, Cambará e Londrina, variando-se a época de plantio a nível de decêndio. Foram estimadas as necessidades de recursos hídricos para a irrigação. O modelo também estimou as melhores épocas de plantio de milho.

Além dessas possibilidades, o modelo em questão poderá ser utilizado como co-adjuvante dos modelos de previsão de safra, nas estimativas das necessidades de irrigação, nos dimensionamentos de equipamentos de irrigação e na caracterização das probabilidades de atendimento hídrico.

Esperamos que, em uma etapa posterior, o modelo possa ser aplicado em outras regiões e para outras culturas. Ressaltamos que tal aplicação deverá obedecer às mudanças dos parâmetros do modelo de acordo com a nova região e cultura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução

O Homem vem adotando várias medidas a fim de reduzir o efeito das adversidades climáticas, causadas por deficiência hídrica, sobre a população e a produção agrícola. O quadro 1, na página 5, (adaptado de QUEIRÓZ, 1988) mostra essas medidas.

Nenhuma das medidas, arroladas no quadro 1, produz eficiência máxima, se tomada isoladamente. Cada medida deve ser parte do esforço global a fim de se maximizar o aproveitamento das disponibilidades climáticas.

Os itens 2.2.6.2 e 2.2.6.3 do quadro 1, na página seguinte, direcionam este estudo. Para tanto faremos uso de um modelo clima-rendimento, que é uma representação simplificada das relações entre o clima e o comportamento das culturas através de técnicas estatísticas. A figura 1 (reproduzida de MOTA & ROSKOFF, 1982), na página 6, mostra o fluxograma deste tipo de modelo.

2.2. Épocas de seca e de precipitação

O parâmetro climático de maior variabilidade espacial e temporal e de maior importância para a agricultura é a precipitação. É a principal fonte de suprimento de água para as plantas.

A variabilidade temporal da chuva governa as colheitas e determina a escolha das culturas em um local. A

1. Medidas que visam a redução do efeito da queda de produção sobre a população e a economia.

- 1.1. Formação de estoques reguladores : reserva mundial de alimentos.
- 1.2. Previsão de safras por métodos convencionais e por satélites artificiais.
- 1.3. Política de preços mínimos e garantias governamentais ao produtor agrícola.
- 1.4. Movimentação de safras: importações e exportações de emergência de produtos agrícolas.
- 1.5. Seguro agrícola facultativo.

2. Medidas que visam reduzir o efeito das adversidades climáticas sobre a produção e o rendimento agrícola.

- 2.1. Artificiais.
 - 2.1.1. Irrigação.
 - 2.1.2. Estimulação artificial da precipitação.
- 2.2. Naturais.
 - 2.2.1. Melhoramento para resistência à seca.
 - 2.2.2. Práticas de conservação do solo que reduzam as perdas de água por escoamento superficial ou evaporação, e aumentem o tempo de residência da água do solo.
 - 2.2.3. Zoneamento agrícola.
 - 2.2.4. Diversificação de culturas.
 - 2.2.5. Instalação de determinada cultura em ampla área geográfica e com grande diversidade de condições ambientais num mesmo ano agrícola.
 - 2.2.6. Práticas culturais e de modificação do microclima.
 - 2.2.6.1. Plantio direto e sobre semeadura.
 - 2.2.6.2. Determinação da época de plantio que maximize o ajuste entre o período crítico da cultura, em relação à deficiência hídrica, com o período de máxima disponibilidade.
 - 2.2.6.3. Diversificação de épocas de plantio e da densidade de plantio.
 - 2.2.6.4. Diversificação de cultivares na lavoura.

Quadro 1. Medidas adotadas pelo Homem para reduzir os efeitos das adversidades climáticas causadas por deficiência hídrica sobre a produção agrícola e a disponibilidade de alimentos. Adaptado de QUEIRÓZ (1988).

questão mais importante da chuva diz respeito ao começo, fim e extensão da estação chuvosa, à distribuição dos totais durante o ano e o risco de períodos de seca.

A respeito destes tópicos, muitas pesquisas vem sendo executadas, mas poucas baseadas em dados diários, de-

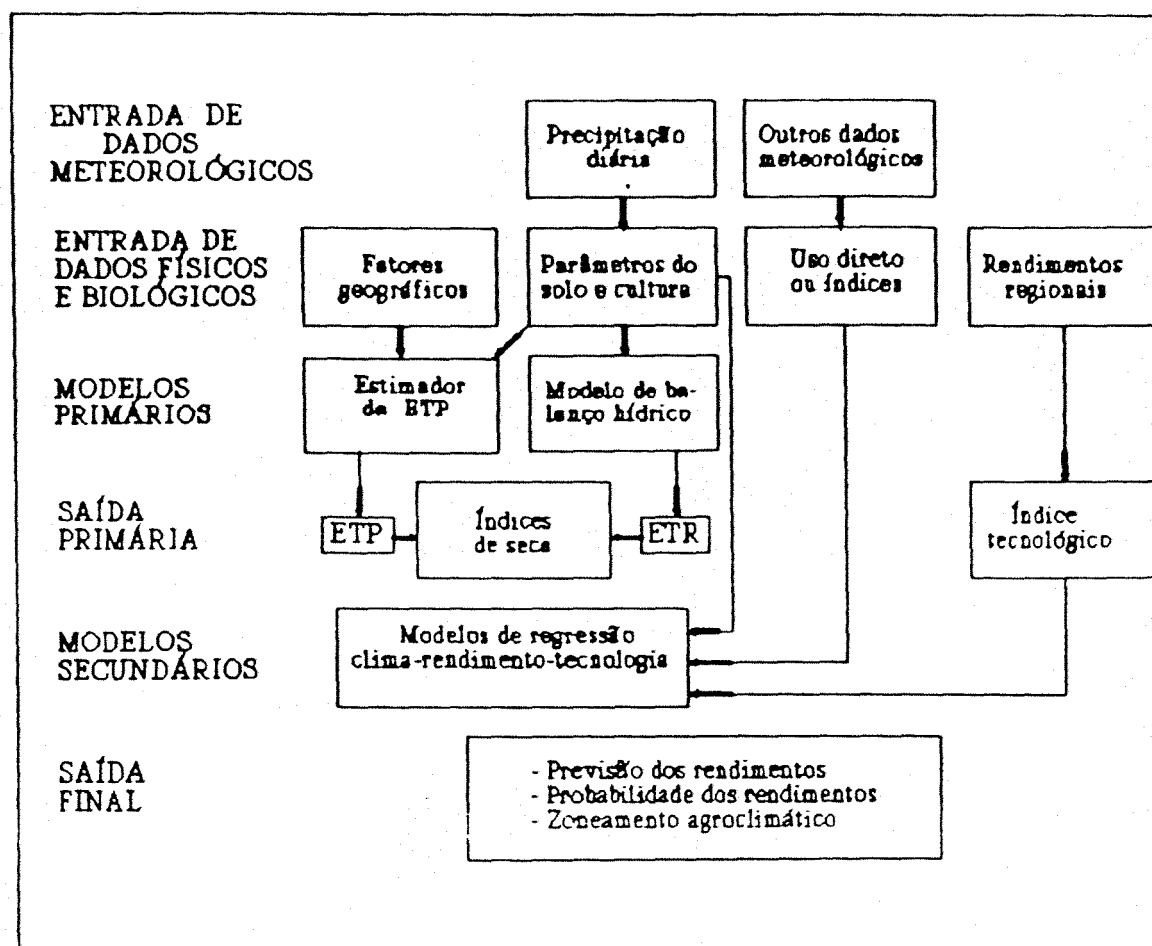


Figura 1. Entradas e saídas de um modelo clima-rendimento-tecnologia. Adaptado de MOTA & ROSKOFF (1982).

vido à sua complexidade. Este aspecto, aliado ao fato de que o consumo hídrico das plantas, para períodos de dez dias, pode ser encontrado pela variação de água armazenada no solo, resultaram em análises climáticas agrupadas em vários dias. Contudo, perde-se muita informação de utilidade agrônômica nos estudos baseados em totalizações, notadamente os períodos de estiagem e o começo e fim das chuvas.

Na região Norte do Estado do Paraná (onde se encontram Cambará e Londrina) as chuvas tendem a se concentrar nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e a estação seca, pouco definida, parece ocorrer nos meses de inverno (junho, julho e agosto), o que representa um clima tipo Cfa, segundo a classificação de Koeppen (FIAPAR, 1978).

Nestas regiões de clima úmido ou semi-úmido, a precipitação é suficiente para o desenvolvimento das culturas, no período chuvoso, mas é comum a ocorrência de veranicos, mais frequentemente nos meses de janeiro e fevereiro, que é a fase de floração da maioria das culturas, resultando em baixos níveis de rendimento de grãos.

Os níveis de rendimento de grãos são funções do nível de tecnologia aplicada, aptidão edáfica e aptidão climática da região. MATZENAUER & SULITI (1983) consideraram a falta d'água como o fator que mais limita a obtenção de altos rendimentos de milho, quando são adotadas as técnicas culturais recomendadas e ALDRICH *et alii* (1975) afirmam que o milho requer uma grande quantidade de água, sendo uma das culturas mais eficientes na produção de matéria seca em relação à água que utiliza.

O estudo da distribuição temporal das chuvas é uma idéia que é muito utilizada, via tabelas de frequência ou probabilidades de distribuição de totais de chuva, quando se deseja uma avaliação das épocas de seca.

ARRUDA & PINTO (1980) elaboraram um modelo de distribuição gama para totais de precipitação para períodos de cinco dias, que fornece rápida interpretação dos dados de chuva, identificando as probabilidades de ocorrência de períodos secos.

Uma outra idéia é o ajuste de modelos sobre os dados de precipitação. STERN & COE (1982) descreveram vários modelos e obtiveram resultados a partir das relações de recorrência ou simulações. Os resultados produzidos são, geralmente, períodos de seca, início das chuvas e balanços hídricos.

Entre esses tipos de modelo, os mais aplicados para se determinar a probabilidade de ocorrência de dias secos ou úmidos são os que utilizam o modelo de cadeia de Markov (MEDHI, 1975).

ALFONSI *et alii* (1989) analisaram a precipitação

por meio de curvas de distribuição de frequência, introduzindo a evapotranspiração máxima no modelo, a fim de identificar as melhores épocas de plantio para o milho, soja e arroz de sequeiro, no estado de São Paulo.

Quando o total de água evapotranspirada excede o total de água prontamente disponível no solo, as plantas ficam sob *stress* hídrico, caracterizando um estado de seca.

BLUMENSTOCK (1942), BARGER & THOM (1949), VAN BAVEL (1952), DECKER (1957) e AMIR *et alii* (1977), todos têm definições específicas para dias secos, mas o que se observa é que não há, entre eles, um consenso, caracterizando uma indefinição do conceito de dia seco.

As análises estatísticas dos totais diários de precipitação mostram que eles não seguem uma distribuição normal. A distribuição exponencial tem sido bastante utilizada (TODOROVIC & WOOLHISER, 1975), mas a distribuição gama tem demonstrado ser a mais apropriada (BUISHAND, 1977).

SUBBARAMAYYA & RAO (1964) determinaram uma função hiperbólica a partir de histogramas de frequência de precipitação diária e RAO & BIAZI (1983) comparando modelos de períodos secos e úmidos mostraram que o melhor ajuste dos dados eram obtidos pelo modelo binomial truncado negativo.

Um outro aspecto importante na determinação do grau de seca é a quantificação da chuva efetiva. De acordo com JENSEN *et alii* (1990), chuva efetiva é a parte da precipitação total utilizada no processo da evapotranspiração que atende a demanda atmosférica. Para REICHARDT (1987), chuva efetiva é a componente da chuva que infiltra no solo e fica disponível para as raízes dos vegetais.

2.3. Comportamento da água no solo

O solo é um ambiente complexo onde se unem materiais bióticos e abióticos, que fornece apoio e suporte para toda uma gama de vida vegetal. É, por excelência, um ar-

mazenador de água e das energias associadas a ela.

Considerando cada solo a cada profundidade, é possível estabelecermos limites de armazenamento, dentre os quais as culturas se desenvolvem adequadamente.

GARDNER (1965) diz que a identificação desses limites, entre os quais a água encontra-se disponível, tem sido generalizados como capacidade de campo e ponto de murcha permanente, conceitos estes estabelecidos por VEIHMEYER & HENDRICKSON (1955) e BRIGGS & SHANTZ (1912), respectivamente.

O ponto de murcha permanente é a percentagem de água que um solo contém quando as plantas que nele se desenvolvem chegam a um estado de murchamento permanente, não adquirindo mais turgidez, independente do total de injeção de saturação no ambiente. Para a maioria dos solos isto ocorre a um potencial de 15 bars. Segundo WINTER (1976), a adoção do segundo critério (potencial de 15 bars) é mais segura pois independe da variável biótica.

A capacidade de campo é a quantidade de água retida pelo solo após a drenagem da água gravitacional. Isto ocorre, para a maioria dos solos, a um potencial de 0,33 bar. Como a diminuição da taxa de drenagem é função da umidade, ela só será nula, sem excesso de umidade, e continuará, ficando sem sentido o termo capacidade de campo.

De acordo com WINTER (1976) a capacidade de campo pode ser facilmente medida e tem ampla utilidade nas aplicações de irrigação.

A adoção dos valores de 0,33 bar para a capacidade de campo e 15 bars para o ponto de murcha permanente, como critério prático, é corroborada por REICHARDT (1975), ressaltando que, segundo GARDNER (1965) e WINTER (1976), a definição precisa destes termos é desnecessária, pois as plantas ainda absorvem água fora deste intervalo (0,33-15 bars) e cerca de 70% da água disponível é removida do solo a 5 bars.

A diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, representa a capacidade de água disponível do solo, um parâmetro que deve ser avaliado com vistas à frequência de irrigação (SCARDUA, 1972).

A quantidade de água que pode ser armazenada na zona radicular de um solo depende de sua profundidade e do tipo de estrutura do solo e o modo como poderá ser aproveitada são, ainda, assunto de discussão.

Segundo VEIHMEYER & HENDRICKSON (1949), a planta aproveita toda a água retida no solo desde a capacidade de campo até o ponto de murcha permanente. Por outro lado, RICHARDS & WADLEIGH (1952) argumentam que à medida que o teor de água do solo se aproxima do ponto de murcha permanente, a planta tem maior dificuldade em aproveitar a água.

THORNTHWAITE & MATHER (1955) mostram que a taxa de queda da umidade do solo, sob uma evapotranspiração constante, tem um comportamento de decréscimo exponencial, entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente.

Atualmente, a idéia básica que prevalece, e que será utilizada neste estudo, é aquela preconizada por PENMAN (1949), de que a água estará prontamente disponível da capacidade de campo até um determinado ponto (crítico), a partir do qual, até o ponto de murcha permanente, o decréscimo de umidade do solo comportá-se-á em taxa de queda exponencial.

A determinação deste ponto crítico, foi inicialmente esclarecida por DENMEAD & SHAW (1962) definindo-o, basicamente, em função dos parâmetros do solo, vegetação e das condições atmosféricas (vide figura 2, na página 11).

Para casos de baixa demanda atmosférica, a taxa de decréscimo de umidade do solo segue o modelo estabelecido por VEIHMEYER & HENDRICKSON (1949). Nas condições de alta demanda atmosférica, a taxa de decréscimo de umidade do solo obedece o padrão encontrado por PENMAN (1949).

A parte fracional da água prontamente disponível

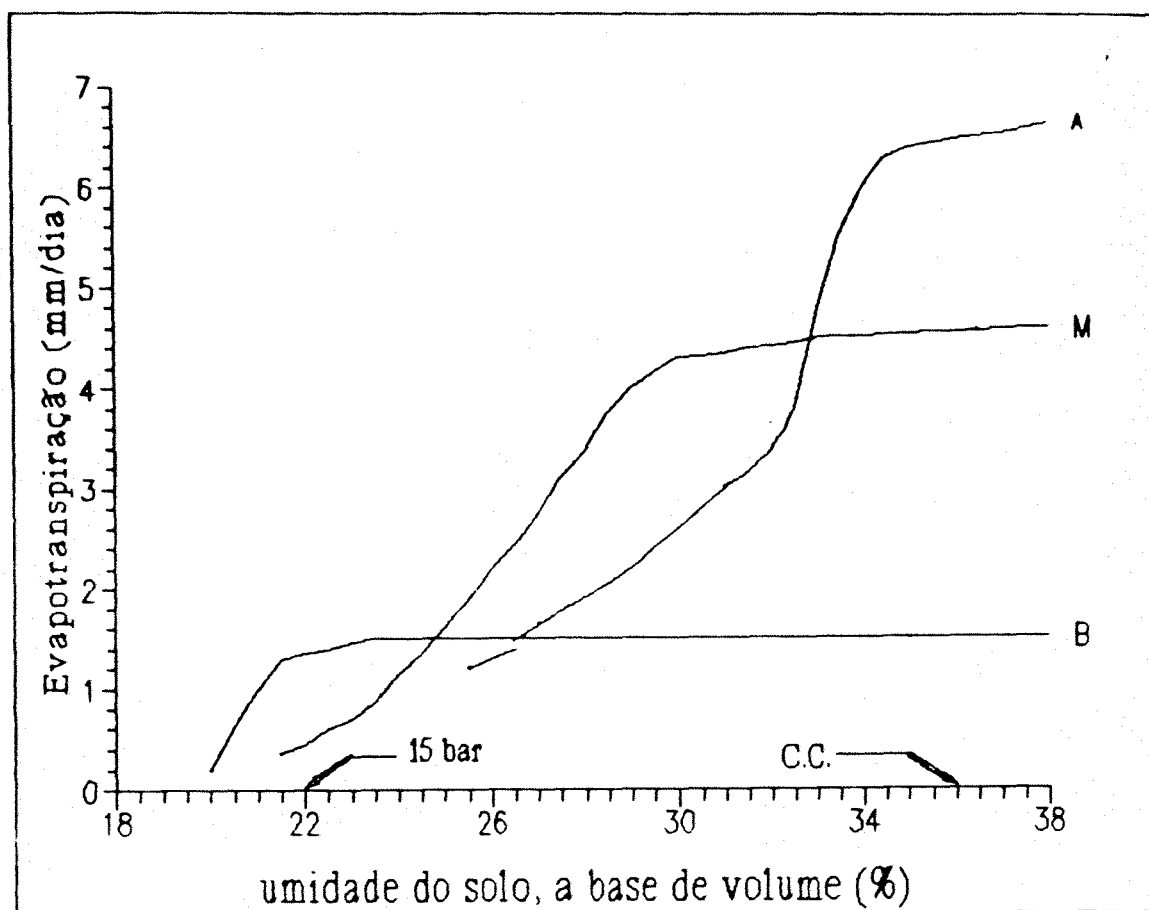


Figura 2. Evapotranspiração em função do conteúdo de umidade do solo. A = alta demanda atmosférica, B = baixa demanda e M = média demanda. Adaptado de DENMEAD & SHAW (1962).

é função da espécie vegetal e da demanda atmosférica (DOORENBOS & KASSAN, 1979) e representa a fração da capacidade de água disponível, na qual a evapotranspiração real se mantém igual a evapotranspiração máxima.

De acordo com o modelo de BRAGA (1982) toda a água solicitada pela demanda atmosférica é prontamente atendida, até que se atinja um valor crítico de armazenamento (consumo de toda a água disponível efetiva), representando um comportamento linear. Abaixo desse limite, o modelo supõe uma queda de água armazenada no solo, de acordo com o modelo exponencial de THORNTHWAITE & MATHER (1955).

Para a determinação do teor de água do solo podemos usar as medidas de tensão de água (tensiômetros) ou,

simplesmente, medir o teor de água (método gravimétrico). Mas estes métodos são onerosos e pouco práticos para trabalhos de rotina e além disso, necessitam de várias repetições para mostrar alguma confiabilidade.

O que se tem observado é o emprego abundante do método do balanço hídrico (vide MATA, 1991), principalmente para estimativas de água necessária à irrigação, o que tem sido feito a partir de curvas de frequência dos valores de deficiência hídrica.

2.4. Evapotranspiração

Grande parte da água absorvida pelos vegetais é perdida, como vapor, através da transpiração. Esta é um processo evaporativo modificado pela estrutura da planta e pelo comportamento fisiológico de seus estômatos. A transpiração é, basicamente, um processo de difusão de vapor d'água.

A transpiração, aliada à evaporação dos solos, são funções do sistema solo-planta-atmosfera e são causadas pela demanda atmosférica. A energia disponível para estes processos advém, na grande maioria, da radiação líquida e, como fonte secundária, podemos citar a advecção de calor sensível (VILLA NOVA, 1973).

A evaporação dos solos e a transpiração dos vegetais são processos que ocorrem concomitantemente, tornando difícil uma distinção entre ambos, fato pelo qual aglutinamos estes dois termos em um único, ao qual denominamos evapotranspiração.

A demanda atmosférica é representada por um valor potencial de evapotranspiração que, recentemente, vem sendo substituído pela evapotranspiração de referência, face à semelhança conceitual entre estes dois termos (DOORENBOS & PRUITT, 1977).

Não é difícil perceber a estreita relação entre

evapotranspiração, vegetação e condições meteorológicas.

A vegetação exercerá sua influência afetando o albedo, a rugosidade, a cobertura do solo e o sistema radicular (BERLATO & MOLION, 1981).

PENMAN, citado por CHANG (1968), mostrou que a evapotranspiração potencial era determinada, basicamente, pelos elementos meteorológicos, quando a cobertura do solo era completa.

Por outro lado, TANNER (1967) demonstrou que para os mais variados tipos de vegetação cobrindo completamente o solo e sem deficiência de água, os valores de evapotranspiração potencial não são muito diferentes, mas afirmam que podem ser observadas grandes diferenças em intervalos curtos de tempo.

MOLION & BENTACURT (1980) argumentam que o menor albedo das florestas levaria, via aumento da radiação líquida, a um aumento da evapotranspiração potencial.

O fator de controle da vegetação sobre a evapotranspiração potencial não é significativo e, desta maneira, ela é função exclusiva dos parâmetros meteorológicos, sendo que o mais importante é a radiação solar (80%), seguida de vento (14%) e umidade do ar (6%), segundo os dados de MUKAMMAL & BRUCE (1960).

A determinação precisa dos valores de evapotranspiração é um problema que tem afligido os climatologistas, até o presente momento. No estado atual da climatologia, existem vários métodos para se medir a evapotranspiração, mas os que se tem mostrado mais confiáveis são aqueles baseados em lisímetros (evapotranspiração real) e evapotranspirômetros (evapotranspiração potencial). Os lisímetros são, evidentemente, mais precisos e permitem medidas de evapotranspiração (real) para períodos de tempo menores. Recentemente, com o advento da eletrônica, tem surgido instrumentos mais completos e mais precisos, que resolvem automaticamente a equação do balanço de energia, fornecendo

como resultado a evaporação real. São exemplos destes instrumentos, o Evapotron e o Fluxatron (v. BERLATO & MOLION, 1981).

A grande dificuldade das medições de evapotranspiração reside no fato de que elas são, via de regra, morosas, onerosas e de praticabilidade duvidosa, dificultando um procedimento rotineiro. Face a estes problemas, as estimativas ganharam terreno, pois se baseiam, quase todas, em parâmetros meteorológicos medidos regularmente.

Estas estimativas baseiam-se na idéia de que se a evapotranspiração é um processo de transformação de energia, aplica-se o princípio da conservação de energia para se avaliar o transporte de vapor para a atmosfera.

Dentre os inúmeros métodos disponíveis, tres modalidades se destacam: o método das *resistências* (MONTEITH, 1965), o método combinado (PENMAN, 1956) e os métodos empíricos.

McGUINNESS & BORDNE (1972) compararam, durante um ano, quatorze métodos de estimativa da evapotranspiração potencial a partir de medidas climáticas rotineiras, com os dados de uma curva padrão de evapotranspiração potencial derivada de um lisímetro. Os métodos de KOHLER *at all* (1955), KOHLER & RICHARDS (1962), JENSEN & HAISE (1963), CHRISTIANSEN (1968), BLANEY & CRIDDLE (1967), PENMAN (1948) e do tanque classe A (todos citados por McGUINNESS & BORDNE, 1972) foram os que forneceram os melhores ajustes à curva de evapotranspiração potencial derivada do lisímetro.

PARMELE & McGUINNESS (1974) compararam a evapotranspiração potencial medida com as estimadas pelos métodos considerados satisfatórios por McGUINNESS & BORDNE (1972). Foi observado que as estimativas baseadas em radiação solar global ou líquida são superiores às demais. Para condições potenciais, a radiação líquida era um bom parâmetro avaliador da evapotranspiração. Utilizando-se de parâmetros da rugosidade aerodinâmica, em versões do método

combinado, houve uma superestimativa da evapotranspiração potencial, sobre o milho, de quarenta e quatro por cento.

De acordo com PARMELE & McGUINNESS (1974), os métodos de estimativa da evapotranspiração que melhor se ajustam aos valores observados no lisímetro são, em ordem: o método do *Weather Bureau* (KOHLENER *et alii*, 1955), o método de VAN BAVEL (1966) e o método de PENMAN (1956).

BEHNKE & MAXEY (1969), estudando a evapotranspiração em Nevada - EUA (clima árido), mostraram que o método de THORNTWHAITE (1948), embora exija apenas dados de temperatura, fornece estimativas muito baixas. Os valores estimados pelo método de OLIVIER (1964) tem boa correlação com os valores observados nos lisímetros e com os valores ajustados do tanque classe A. Este modelo trabalha bem sob condições de céu claro e limpo.

Utilizando um modelo derivado do modelo de MONTEITH (1965), para avaliar o fluxo de calor latente sobre superfícies de grama e pinho, DEHREER-AMISSAH (1984) concluiu que as medidas de umidade do solo são parâmetros importantes na avaliação do fluxo de calor latente. Concluíram, também, que as diferenças entre os valores estimados e os observados eram de dez por cento para o pinho e quinze por cento para a grama.

THOMPSON (1982) estudando o modelo híbrido de *Penman-Monteith*, estruturado de modo a ajustar valores calculados da energia disponível e levar em consideração os efeitos das diferenças entre as temperaturas da superfície e do ar, concluiu que este modelo fornece resultados aceitáveis.

O Comitê Técnico da Divisão de Irrigação e Drenagem da Sociedade Americana de Engenharia Civil (JENSEN, 1973) comparou vários métodos de estimativa da evapotranspiração potencial com medidas lisimétricas, em dez localidades de condições climáticas muito diferentes. A análise mostrou um melhor desempenho do método de *Penman*. A partir

desse estudo, o referido Comitê recomenda os métodos e o período de tempo mínimo para as estimativas, a saber: *Penman*, 1 dia; *Jensen-Haise*, 5 dias; *Makkink*, 10 dias; *Thornthwaite*, 1 mes e *Blaney & Criddle*, sazonal.

O que se tem feito, a nível nacional, é a avaliação da evapotranspiração potencial pelo método de *Penman*, em locais onde haja disponibilidade de dados necessários ao modelo, e avaliação da evapotranspiração potencial pelo método de *Thornthwaite*, onde haja apenas dados de temperatura. A seguir as estimativas pelo método de *Thornthwaite* são ajustadas pelos valores estimados pelo método de *Penman* (SCARDUA *et alli*, 1984; FEITOZA *et alli*, 1979).

Da análise efetuada até aqui, fica passível que estimativas diárias da evapotranspiração de referência, deverão ser executadas pelo método de *Penman*.

Evapotranspiração máxima (ET_m) ou demanda climática ideal é a perda d'água de uma cultura em qualquer estágio de crescimento, desde que a mesma não sofra restrições d'água e está relacionada à evapotranspiração potencial, ou de referência (ET_o), via coeficiente de cultura (k_c), na forma $ET_m = k_c \cdot ET_o$ (VILLA NOVA, 1982).

A variação do coeficiente de cultura (k_c) está intimamente relacionada às características da planta e ao seu estágio de desenvolvimento. O valor de k_c cresce da emergência para o pico de desenvolvimento (k_c máximo), declinando durante a fase de maturação (DOORENBOS & KASSAN, 1979; VILLA NOVA, 1982).

Nos trabalhos com modelos de balanço hídrico, vários autores tem adotado a unidade para o valor do coeficiente de cultura (BRAGA, 1982; CARAMORI & FARIA, 1987). Mas o que se observa é que o valor do coeficiente da cultura é função da cultivar, estágio de desenvolvimento e época de plantio. DOORENBOS & PRUITT (1977) mostram os valores destes coeficientes, considerando-os variáveis nos quatro principais estádios de desenvolvimento das culturas, es-

tabelecem uma função matemática, onde o primeiro e o terceiro estádios apresentam valores constantes, o segundo, valores crescentes e o quarto, valores decrescentes.

MATTA (1991) adotou valores unitários para o coeficiente de cultura no cálculo das deficiências hídricas, mas posteriormente, para determinar as melhores épocas de plantio e para estimativa de água da irrigação, adotou valores corrigidos das deficiências hídricas, utilizando os valores reais do coeficiente de cultura, da evapotranspiração potencial do período e das deficiências hídricas previamente calculadas. Este procedimento será o adotado em nosso estudo.

Na análise de DOORENBOS & KASSAN (1979), a demanda hídrica da cultura será determinada pela água do solo, via sistema radicular, ou seja, se a água do solo será suficiente ou se a cultura sofrerá deficiência hídrica.

A avaliação da evapotranspiração real exige o conhecimento da capacidade de água disponível do solo (CAD), da fração p da CAD, do intervalo de tempo decorrido após o solo entrar em capacidade de campo, da evapotranspiração máxima neste período, do tipo de cultura e dos fatores meteorológicos. Por sua vez a fração p da CAD é função da cultura, do solo e da evapotranspiração máxima.

Segundo GARDNER (1960), o gradiente de potencial entre a raiz e o solo, necessário para se manter a demanda de água da raiz, é proporcional à demanda atmosférica e inversamente proporcional à condutibilidade capilar do solo. Assim, para se manter a transpiração, em um solo que está secando, quando há decréscimo da condutibilidade capilar e aumento do potencial na raiz, há a necessidade de um aumento contínuo do potencial nas folhas, para manter este gradiente entre as folhas e as raízes. O aumento deste gradiente nas folhas diminui a pressão de turgor, fecha os estômatos e desidrata a folha. Por conseguinte, decresce a permeabilidade ao fluxo de água e a transpiração declina.

2.5. Efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento e o desenvolvimento das culturas

A deficiência hídrica restringe a produção das culturas, não apenas nas áreas áridas e semi-áridas, mas em qualquer local onde a demanda evaporativa exceda a precipitação, durante as estações de crescimento.

A deficiência hídrica leva à mudanças no ambiente físico das culturas, levando-a a mudanças fisiológicas, ou vice-versa, que variam em função da espécie vegetal, tipo de solo, nutrientes e clima.

O crescimento da cultura é afetado diretamente pelo *stress* hídrico da planta e indiretamente pelo *stress* hídrico do solo. À medida que o solo seca, diminui o seu potencial hídrico e sua condutibilidade hidráulica e a planta tem dificuldade em extrair água do solo, o que diminui o seu potencial hídrico, diminuindo a pressão de turgescência nas células, afetando o processo de expansão das folhas. A queda de turgescência leva ao murchamento das folhas, diminuindo sua interceptação de luz, o que reduz a taxa fotossintética, ou ainda, o fechamento dos estômatos inibe a absorção de CO₂ (KRAMER, 1963).

Tanto a diminuição da expansão foliar como o fechamento estomatal restringem a fotossíntese, desacelerando a acumulação de matéria seca, reduzindo o suprimento de assimilados que originarão os processos de diferenciação e expansão dos novos tecidos celulares.

Se a disponibilidade d'água do solo influencia o potencial hídrico das folhas, então influencia, também, o seu alongamento, conforme constataram ACEVEDO *et alii* (1971) em seu estudo sobre uma cultura de milho.

O *stress* hídrico nas plantas, também pode levar a um excesso na taxa de respiração, conforme foi corroborado em um estudo sobre o milho, executado por BREVEDAN & HODGES (1973), onde eles mostraram uma inibição da taxa de assimi-

laço do CO₂, em função da diminuição do potencial hídrico da folha, e redução da taxa de translocação de assimilados da folha para as outras partes da planta.

As reações bioquímicas dentro das plantas sempre são alteradas pelo *stress* hídrico. De acordo com KESSLER (1959), há um aumento da conversão de amido para açúcar e ocorrem distúrbios no metabolismo do hidrogênio. Há também um aumento da taxa de destruição do RNA, mudanças no metabolismo mineral e rápida senescência das folhas.

A deficiência hídrica ocasiona efeitos diferentes sobre as plantas e, também, sobre uma mesma variedade, segundo a ocorrência dentro do ciclo de desenvolvimento da planta. A ocorrência de períodos de desenvolvimento de diferentes sensibilidades às deficiências hídricas advém do efeito mais pronunciado nos tecidos e órgãos que estão em processo de formação (SLATYER, 1969).

VEIHMEYER (1956), citado por KRAMER (1963), mostrou que o crescimento, a transpiração e a produção de certas culturas não eram reduzidas até que o conteúdo de umidade do solo caísse bem próximo ao ponto de murcha permanente. MOSS *et alli* (1961) relataram um decréscimo na fotossíntese do milho, no campo, antes do murchamento tornar-se visível.

De acordo com DOORENBOS & KASSAM (1979), o milho é relativamente tolerante às deficiências hídricas durante os estádios vegetativo e de maturação. As maiores perdas de produção ocorrem no período de floração (pendoamento) e de formação dos grãos, sendo que o período de floração é muito mais sensível às deficiências hídricas.

De maneira geral, as medidas do conteúdo de água do solo e do *stress* hídrico do solo não podem fornecer informações adequadas para se avaliar os efeitos dos suprimentos de água sobre os processos das plantas e sobre a produção das culturas. É impossível a previsão de qual nível de *stress* hídrico do solo limitará o crescimento vege-

tal, a não ser que se considere as condições atmosféricas, o tipo de planta e o estágio de desenvolvimento da mesma.

Durante períodos de altas temperaturas e umidades baixas, até mesmo as plantas que crescem em solos próximos a capacidade de campo podem estar sujeitas às deficiências hídricas severas. Por outro lado, sob condições de tempo úmido e frio, quando a transpiração é baixa, as plantas que se desenvolvem em solos secos podem não estar sujeitas às deficiências hídricas.

LETEY & PETERS (1957) mostraram que, embora a produção de milho estivesse estreitamente correlacionada com o stress hídrico do solo, o efeito deste estava relacionado às condições atmosféricas.

Nas condições em que o suprimento de água não atende à demanda da cultura ($ETR < ET_m$), as respostas às deficiências oscilam de acordo com o tipo da cultura. O milho, especificamente, diminui a eficiência do uso de água proporcionalmente ao aumento da deficiência hídrica (DOORENBOS & KASSAM, 1979).

Embora seja exigente em água (500 a 800 mm), a cultura de milho é altamente eficiente no uso d'água, ou seja, é daquelas que produz grandes quantidades de matéria seca por unidade de água absorvida (REICHARDT, 1987).

Para se evitar as deficiências, deverá ser mantido um equilíbrio entre a oferta de água e a demanda (ET_m) da cultura. Uma vez mantido este equilíbrio, a produção será a potencial (do ponto de vista hídrico). Para se compensar eventuais rupturas deste equilíbrio, podemos controlar a demanda atmosférica (diminuir a evapotranspiração) ou aumentar a oferta d'água (irrigação).

2.6. Relações entre água e rendimento

Sem dúvida, a maneira mais prática e corriqueira de se evitar o "stress" hídrico do solo é a irrigação, que

deve ser considerada apenas como uma alternativa para evitar que a cultura sofra um *stress* hídrico numa de suas fases críticas.

Para uma avaliação correta da água necessária à irrigação torna-se necessário o conhecimento do conteúdo de água do solo e em que estado de umidade devemos irrigar para a obtenção de um rendimento máximo.

A produção de matéria seca é proporcional à água transpirada e, desse modo, a aplicação de água que satisfaça a demanda da transpiração representa um desenvolvimento foliar rápido, quando a cultura é jovem, e uma fotossíntese máxima, quando a cultura atinge um índice de área foliar ótimo.

HAGAN & VAADIA (1961) e VILLA NOVA (1982) consideraram a evapotranspiração potencial como um guia para a aplicação de água a fim de se obter um rendimento máximo. Isto posto, é fácil ver que as exigências de água serão estabelecidas em função da cultura estar ou não cobrindo o solo.

A limitação ao uso da evapotranspiração potencial como fator de referência para a irrigação está no fato de que a deficiência hídrica tem diferentes efeitos sobre vários aspectos do crescimento vegetal (HAGAN *et alii*, 1957).

As lavouras de milho no Paraná não são, via de regra, irrigadas, sendo que o rendimento final fica condicionado ao suprimento hídrico natural. Quando não ocorrem deficiências hídricas, principalmente durante os estádios mais críticos, os rendimentos finais são satisfatórios.

O total de água necessário para suprir a cultura durante o seu ciclo deve ser distribuído de modo a atender as exigências hídricas de cada época fenológica. As necessidades hídricas dos vegetais variam de acordo com estas épocas fenológicas (AZZI, 1959). Durante os períodos críticos para a umidade, as deficiências hídricas diminuem o rendimento econômico, de modo mais acentuado que em outros

períodos.

Para a cultura do milho, a época mais crítica, quanto à deficiência de água, é aquela do espigamento e pendoamento. O milho é uma das culturas mais sensíveis à falta d'água durante o período de fertilização (PARTENIANI, 1978). A irrigação neste estágio de desenvolvimento apresenta um efeito substancial sobre a produção de grãos, nas condições em que o suprimento de água do solo seja escasso (MENGEL & KIRKBY, 1982; REICHARDT, 1987). Por outro lado, o conhecimento dos valores de deficiência hídrica permite a estimativa das perdas e da necessidade de irrigação.

As relações entre o rendimento relativo e a evapotranspiração relativa (ETR/ET_m) e entre o rendimento relativo e a razão P/ET_m vem sendo utilizadas com frequência em vários estudos de modelos causa-efeito, relacionando disponibilidades hídricas e energéticas e rendimento de grãos (CAMARGO *et alii*, 1984; MEDEIROS *et alii*, 1991; MATA, 1991; YAO, 1974).

BEGG & TURNER (1976) recomendam o uso do coeficiente de rendimento ou eficiência do uso d'água para comparar os rendimentos de determinada cultura sob diferentes condições de deficiência hídrica.

Uma vez estabelecida a curva de resposta entre a evapotranspiração relativa e o rendimento relativo, torna-se possível a avaliação da eficiência da irrigação sobre o rendimento, o que permite obter-se uma estimativa com e sem o uso da irrigação, a partir de dados do balanço hídrico (MEDEIROS *et alii*, 1991).

Conhecendo-se o consumo de água do milho, a nível potencial, poderemos usar a evapotranspiração relativa, obtida a partir do balanço hídrico, para estabelecermos a curva de resposta, eliminando o inconveniente do efeito diferencial das deficiências hídricas sobre o crescimento e rendimento das culturas (DOORENBOS & KASSAN, 1979).

De maneira geral, a irrigação bem executada, me-

hora a qualidade e a quantidade do produto colhido. Para o caso específico do milho, a irrigação aumenta o peso da espiga desfolhada, aumenta a porcentagem de grãos úteis para a industrialização e aumenta o tamanho dos grãos, conforme demonstram as pesquisas de VITTUM *et alii* (1963).

Da análise retro-executada parece-nos razoável concluir que a evapotranspiração relativa (ETR/ET_m) é um meio objetivo para estabelecermos o potencial da cultura, necessidades de irrigação, alternativas do uso agrícola da terra e interações clima-terra.

Parece-nos, contudo, que ainda existe muita pesquisa a ser desenvolvida para um melhor conhecimento da ação do clima e do solo sobre as culturas. Não resta dúvida que a exploração dos recursos de cada local, da maneira mais eficiente possível, leva a uma condição de maior produção, o que, no contexto geral, será mais lucrativo para o produtor (mais produção = mais dinheiro) e para o consumidor (mais produção = mais oferta = preços mais baixos).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi efetuado a partir dos dados meteorológicos das estações de duas localidades do Norte do Estado do Paraná, a saber:

- Cambará (lat. 23°S, long. 50°02'WGr, elev. 450m), no período de janeiro de 1957 a dezembro de 1987;
- Londrina (lat. 23°23'S, long. 50°01'WGr, elev. 556m), no período de janeiro de 1957 a dezembro de 1987.

Os dados utilizados foram os de temperatura média mensal (t), total mensal do número de horas de brilho solar (n), umidade relativa média mensal (UR), valores das médias mensais da velocidade do vento a dez metros de altura (u_{10}) e os dados dos valores diários de precipitação (P).

Os tipos de solos predominantes na região em estudo são o Latossolo Roxo e a Terra Roxa Estruturada.

A cultura em estudo, o milho, sob condições naturais, é semeada nos meses de setembro, outubro ou novembro, nessa região e a colheita realiza-se, em média, 120 dias após o plantio.

A escolha da cultura de milho não foi por acaso, e sim pela sua importância, conforme pode ser demonstrado na tabela 1, on-

Cultura	Área Plantada (ha.10 ⁶)	Rendimento (kg/ha)
Milho	2,24	2455
Soja	2,12	2270
Trigo	1,78	1831
Feijão	0,74	595
Café	0,49	465
Algodão	0,47	1860
Arroz	0,19	1668
Cana	0,17	74000

Tabela 1. Área plantada, rendimento e produção das culturas mais importantes do estado do Paraná, em 1988 (Fonte: I.E.A., 1988).

de vê-se que o milho é a cultura que tem a maior área plantada no Estado do Paraná.

A tabela 2, que segue, mostra a evolução da área plantada e do rendimento da cultura de milho no Estado do Paraná.

⇒ O principal objetivo a ser atingido é o cálculo das deficiências hídricas médias decendiais e dos graus-dias corrigidos médios decendiais, que conjugados, fornecerão os parâmetros do modelo de avaliação das épocas de plantio mais propícias ao milho, com o intuito de se evitar altos valores de deficiência hídrica na época da floração.

Período	Área plantada (ha.10 ^e)	Rendimento (Kg/ha)
1957-60	0,85	1438
1961-70	1,29	1649
1971-80	2,02	1944
1981-87	2,39	2323

Tabela 2. Área plantada, rendimento e produção da cultura de milho, no estado do Paraná, entre os anos de 1957 a 1987 (Fonte: I.E.A., 1988).

Serão, ainda, avaliadas as quedas de produção (em relação à produção potencial) de acordo com cada época de plantio e as necessidades suplementares de irrigação.

Para a elaboração do balanço hídrico seriado, baseado no modelo de THORNTHWAITE & MATHER (1955), modificado por BRAGA (1982), há a necessidade de se ter em mãos dois parâmetros: precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ETP), que para este caso foi considerada igual à evapotranspiração de referência (ET_o), uma vez que foi estabelecido que o coeficiente de cultura (k_c) era igual à unidade, o que na época de floração e enchimento dos grãos, não foge muito à realidade, segundo DOORENBOS & KASSAN (1979). As tabelas 3 e 4, na página seguinte, mostram os valores médios decendiais de precipitação para Cambará e Londrina, mostrando as épocas úmidas e secas e cada localidade, bem definidas.

Para se efetuar as estimativas da evapotranspiração de referência (ET_o) há a necessidade da estimativa de

três outros parâmetros: a radiação líquida, ou balanço de radiação (R^*), o poder evaporante do ar (E_a) e o fator de partição de energia (w), que é função da temperatura média do ar e da altitude do local, conforme DOORENBOS & PRUITT (1977).

Decêndios	P(mm)	Decêndios	P(mm)	Decêndios	P(mm)
jan 01-10	58,0	mai 01-10	20,7	set 01-10	20,2
jan 11-20	49,2	mai 11-20	28,4	set 11-20	24,1
jan 21-31	70,6	mai 20-31	30,5	set 21-30	28,8
fev 01-10	60,2	jun 01-10	24,9	out 01-10	46,7
fev 11-20	62,7	jun 11-20	32,5	out 11-20	39,6
fev 21-28	49,7	jun 21-30	17,1	out 21-31	48,2
mar 01-10	48,8	jul 01-10	23,0	nov 01-10	37,9
mar 11-20	51,0	jul 11-20	18,6	nov 11-20	49,3
mar 21-31	44,4	jul 21-31	9,5	nov 21-30	46,1
abr 01-10	33,1	ago 01-10	10,4	dez 01-10	54,0
abr 11-20	19,4	ago 11-20	22,5	dez 11-20	66,5
abr 21-30	24,3	ago 21-31	20,1	dez 21-31	63,1

Tabela 3. Valores médios decendiais de precipitação (mm) para a localidade de Cambará-PR, no período de 1957 a 1987.

Decêndios	P(mm)	Decêndios	P(mm)	Decêncios	P(mm)
jan 01-10	66,6	mai 01-10	32,5	set 01-10	25,1
jan 11-20	67,4	mai 11-20	32,1	set 11-20	41,6
jan 21-31	75,3	mai 20-31	41,5	set 21-30	40,1
fev 01-10	60,3	jun 01-10	29,5	out 01-10	53,3
fev 11-20	66,8	jun 11-20	42,6	out 11-20	55,8
fev 21-28	48,6	jun 21-30	24,1	out 21-31	57,1
mar 01-10	51,8	jul 01-10	27,8	nov 01-10	55,6
mar 11-20	48,7	jul 11-20	24,5	nov 11-20	53,2
mar 21-31	39,0	jul 21-31	10,5	nov 21-30	47,0
abr 01-10	56,0	ago 01-10	13,3	dez 01-10	66,3
abr 11-20	30,5	ago 11-20	19,7	dez 11-20	81,0
abr 21-30	27,5	ago 21-31	19,5	dez 21-31	82,2

Tabela 4. Valores médios decendiais de precipitação (mm) para a localidade de Londrina-PR, no período de 1958 a 1987.

A equação que relaciona a evapotranspiração de referência com estes três parâmetros, segundo PENMAN (1956), é dada por:

$$ET_e = w \cdot \frac{R^*}{59} + (1-w) \cdot E_a \quad (1)$$

onde R^* é dado em $\text{cal.cm}^{-2}\text{dia}^{-1}$, E_a em mm.dia^{-1} e w é adimensional e já foram anteriormente definidos.

A parametrização de R^* segue o modelo abaixo, baseado nas equações de PENMAN (1956) e BRUNT (1939):

$$R^* = (1-r)R_0 \left(a + b \frac{D}{N} \right) - st^4 (0,56 - 0,09\sqrt{e}) \left(0,9 + 0,1 \frac{D}{N} \right) \quad (2)$$

onde r é o albedo da superfície evaporante, adotado como o valor médio de 0,22; R_0 é o valor de *Angot*, em $\text{cal.cm}^{-2}\text{dia}^{-1}$, a e b são as constantes da equação de *Angstron*, determinadas segundo o método de CHANG (1968); s é a constante de *Stefan-Boltzmann* ($1,91 \cdot 10^{-7} \text{ cal.cm}^{-2}\text{dia}^{-1}\text{K}^{-4}$); e é a pressão de vapor d'água em mmHg e N é a duração máxima do dia, em horas.

A estimativa de E_a segue o modelo de PENMAN (1956):

$$E_a = 0,203 \cdot (1 + 0,54 \cdot u_2) \cdot (e_s - e) \quad (3)$$

onde u_2 é a velocidade de vento, em m.s^{-1} , a 2 metros de altura e e_s é a pressão de saturação do vapor d'água, em mmHg.

A redução dos valores de velocidade do vento (dados a dez metros de altura) para os valores a 2 metros de altura (u_2) seguiu o modelo logarítmico, apresentado por TUBELIS & NASCIMENTO (1980), conforme segue:

$$\frac{u_{10}}{u_2} = \left(\frac{z_{10}}{z_2} \right)^{\frac{1}{7}} = 1,2585 \quad (4)$$

onde u_{10} (m.s^{-1}) é a velocidade do vento a dez metros de altura e z (m) é a altura.

De posse dos valores estimados de E_a e R^* e dos valores dos parâmetros de partição de energia (w), foi nos

possível estimar os valores da evapotranspiração de referência (ET_0) para as localidades escolhidas, dentro dos intervalos de tempo já mencionados.

A seguir deu-se início à execução do balanço hídrico seriado baseado no modelo de THORNTHWAITE & MATHER (1955), modificado por BRAGA (1982), partindo dos parâmetros básicos: precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ET_0), estimada pelo modelo de PENMAN (1956), que de acordo com a análise efetuada na revisão bibliográfica, parece ser o mais adequado.

O modelo de BRAGA (1982) supõe um decréscimo linear da água armazenada no solo até se atingir um valor limite de armazenamento, a partir do qual a água já não está mais livremente disponível.

A água livremente disponível é função da demanda atmosférica (ET_m) e do tipo de cultura (parâmetros do sistema radicular e do sistema foliar) ou ainda, a água estará livremente disponível durante o período em que a evapotranspiração real iguale a demanda atmosférica ($ETR = ET_m$).

Quando o armazenamento de água cai abaixo do valor limite, o decréscimo de água armazenada no solo segue o modelo exponencial de THORNTHWAITE & MATHER (1955).

Sabendo-se que a profundidade média do sistema radicular do milho está em torno de 50 cm e sabendo-se que para a maioria dos solos agricultáveis dos locais deste estudo, o valor médio da capacidade de água disponível é da ordem de 100 milímetros de água para cada metro de profundidade do solo, poderemos adotar, sem perda de generalidade, o valor da CAD (capacidade de água disponível) completa dentro da ordem de 50 milímetros.

Para a determinação do valor limite de armazenamento de água no solo (DOORENBOS & KASSAN, 1979), a demanda atmosférica média da estação de crescimento da cultura deverá ser da ordem de metade da capacidade de água disponível, ou seja, para o nosso caso, teremos um valor limite de

água livremente disponível da ordem de 25 milímetros.

A partir da execução do balanço hídrico diário, combinando os dois modelos supra-mencionados, extraímos os valores diários de evapotranspiração real, que relacionados com os valores diários médios da evapotranspiração potencial (ou máxima) segundo a equação abaixo (extraída de DOORENBOS & KASSAN, 1979), forneceu-nos os valores diários dos índices de deficiência hídrica:

$$D = 1 - \frac{ETR}{ET_m} \quad (5)$$

onde D representa o índice de deficiência hídrica, ETR (mm) representa a evapotranspiração real e ET_m (mm) representa a evapotranspiração máxima.

Estes valores do índice de deficiência hídrica foram obtidos para todos os dias de cada ano em estudo, para cada uma das localidades estudadas.

Para se ter uma noção mais geral do comportamento das deficiências hídricas, houvemos por bem separá-las em classes de aproximadamente dez dias em cada mês, estabelecendo três decêndios por mês. O primeiro decêndio varia do primeiro ao décimo dia de cada mês, o segundo, do décimo primeiro ao vigésimo dia de cada mês e o terceiro varia do vigésimo primeiro até o último dia de cada mês.

A seguir para cada ano, calculamos os valores médios dos índices de deficiência hídrica de cada decêndio de todos os meses, resultando para cada ano, em 36 valores calculados de índices médios de deficiência hídrica.

Em uma etapa posterior agrupamos os valores dos índices calculados de deficiência hídrica de cada decêndio do ano, para cada localidade, em classes de deficiências para os valores menores ou iguais a 0,1, menores ou iguais a 0,2 e assim sucessivamente, até os valores menores ou iguais a 1,0, estabelecendo assim a frequência de ocorrência de cada uma das dez classes.

A seguir, as frequências de ocorrência foram transformadas em períodos de retorno, gerando uma série de 36 conjuntos relacionando índice de deficiência hídrica versus período de retorno.

Para uma melhor interpretação dos dados em questão, havemos por bem colocá-los em forma gráfica, o que nos levou ao ajuste de uma curva exponencial da forma:

$$T = a.D^{-b} \quad (6)$$

onde T é o período de retorno, a e b são constantes determinadas empiricamente para cada conjunto de dados e D já foi anteriormente definido.

De posse dos valores das constantes empíricas e das equações para cada curva (representando cada decêndio), determinamos que o estudo das deficiências hídricas seria baseado em uma frequência relativa de 80%, o que equivale a um período de retorno de 1,25 anos. Esta frequência relativa de ocorrência representa a ocorrência de oito casos em dez possíveis, o que representa uma margem de risco bem aceita pelo produtor.

Este procedimento levou-nos à obtenção de um único valor de deficiência hídrica máxima para cada decêndio (36 decêndios no ano). São estas deficiências hídricas ao nível de 80% de probabilidade que ilustram o comportamento dos valores de deficiência hídrica com o decorrer do ano.

A opção pelas probabilidades de ocorrência deve-se ao fato de que as médias das deficiências hídricas por decêndio poderiam ocultar alguma variabilidade em sua distribuição.

A partir desse momento era necessário estabelecer um modelo que determinasse a duração do ciclo e as fases da cultura do milho em função da época de plantio. Para tanto, escolhemos o modelo de estimativa dos graus-dias corrigidos (VILLA NOVA, 1989) que avalia os efeitos combinados da temperatura média do ar e do fotoperíodo médio sobre o desen-

volvimento da cultura, conforme segue:

$$GDC = (t - t_b) \cdot \left(\frac{N}{24 - N}\right)^2 \cdot \frac{N_f}{N_i} \quad (7)$$

onde GDC é o valor dos graus-dias corrigidos, t é a temperatura média do ar, t_b é a temperatura base (10°C para o milho), N é o valor médio do fotoperíodo e N_f e N_i são os fotoperíodos do final e do início do período considerado.

Através desses valores de graus-dias poderemos estabelecer a disponibilidade de energia térmica ao longo dos decêndios, bem como efetuar uma estimativa do tempo de duração de cada fase da cultura de milho.

Estabelecendo-se uma relação entre este esquema de plantio simulado e os valores de deficiência hídrica máxima ao nível de 80% de probabilidade de ocorrência, para cada decêndio, poderemos inferir as épocas mais favoráveis ao plantio, evitando a coincidência das fases críticas (floração e enchimento dos grãos) com os períodos de probabilidade de ocorrência das maiores deficiências hídricas. Esta simulação pretende assegurar a possibilidade de uma produção relativa máxima da cultura do milho.

Como uma análise de reforço, face à escolha de um outro nível de probabilidade, e como base para os cálculos das deficiências hídricas ao nível de 80% de probabilidade, também foram calculadas as deficiências hídricas médias decendiais aos níveis de 40, 50, 60 e 70% de probabilidade.

Na elaboração do balanço hídrico optamos por um coeficiente de cultura de valor unitário ($k_c = 1$) para todo o ciclo vegetativo. A literatura demonstra que, para a grande maioria das culturas, o valor médio do coeficiente de cultura para todo o período vegetativo oscila em torno de 0,85 e 0,90. Por outro lado, DOORENBOS & KASSAN (1979), demonstram que nos estádios de floração e formação da produção, o valor do coeficiente de cultura está muito próximo a um, o que justifica a nossa escolha por este valor para a

execução do balanço hídrico seriado.

Mas durante o ciclo normal de uma cultura, o valor do coeficiente de cultura oscila. Assim sendo, nas análises de melhores épocas de plantio e estimativa da água suplementar de irrigação, havemos por bem estabelecermos uma correção para o valor do coeficiente de cultura, de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura.

Esta correção foi formalizada pela equação abaixo (vide MATA, 1991):

$$D' = D - ET_o \cdot (1 - k_c) \quad (8)$$

onde D' representa o valor da deficiência hídrica (mm) para qualquer valor de k_c , D representa o valor da deficiência hídrica (mm) supondo o valor unitário de k_c , ET_o é o valor da evapotranspiração de referência do período (mm) e k_c já foi definido. O valor percentual de D' é calculado dividindo-se seu valor em milímetros pela demanda atmosférica do período considerado.

A avaliação do efeito das deficiências hídricas sobre a produção foi feita a partir do modelo proposto por DOORENBOS & KASSAN (1979), que obedece a seguinte relação:

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = k_y \cdot \left(1 - \frac{ETR}{ET_m}\right) \quad (9)$$

onde $1 - Y_a/Y_m$ representa a deficiência relativa de produção, no qual Y_a refere-se à produção obtida (real) e Y_m à produção ideal (potencial ou esperada); k_y é o fator que quantifica a queda da produção face à resposta do stress hídrico da planta ao stress hídrico do solo e $1 - ETR/ET_m$ representa a deficiência hídrica relativa.

Aqui devemos frisar que o valor de k_y parte do pressuposto de que a variação da deficiência relativa de produção em função da deficiência hídrica do solo tenha um caráter linear e tem sua validade estabelecida apenas no

intervalo de 0 a 50% de deficiência hídrica.]

A literatura, de modo geral, apresenta como épocas críticas do milho, em relação à deficiência hídrica, os estádios de floração e enchimento dos grãos, o que nos orientou a optar por estes dois períodos para um estudo mais detalhado dos efeitos da deficiência hídrica sobre a produção. Para tanto, seguindo o modelo de DOORENBOS & KASSAN (1979), utilizamos um valor de k_y igual a 1,5 para o estágio da floração e igual a 0,5 para o período de enchimento dos grãos (formação da produção).

Para finalizar, foram efetuadas as estimativas das lâminas suplementares de irrigação em simulações de plantios de milho, adotando-se os valores corrigidos dos índices de deficiência hídrica e estimativas da lâmina total por ciclo.

4. RESULTADOS

Os resultados relativos às estimativas dos valores médios decendiais da evapotranspiração de referência, calculadas a partir da equação 1, segundo o modelo de PENMAN (1956), representativos das localidades de Londrina-PR e Cambará-PR, estão apresentados nas tabelas 5 e 6, ambas na página 37, respectivamente.

Relacionando-se os valores de evapotranspiração de referência com os valores de evapotranspiração real (obtidos a partir do balanço hídrico seriado) obtivemos os valores de deficiência hídrica, conforme a equação 5, que foram separados em classes de frequência e colocados em forma gráfica, com posterior ajuste de uma curva do tipo de potência que melhor representasse o comportamento desses índices, conforme o ajuste apresentado pela equação 6.

A representação gráfica desses valores de deficiência hídrica, em função de seus respectivos períodos de retorno, bem como as curvas de ajuste, para cada decêndio do ano, estão apresentadas nas figuras 3, na página 38; 4, na página 39 e 5, na página 40, para a localidade de Cambará-PR, e nas figuras 6, na página 41; 7 na página 42 e 8 na página 43, para a localidade de Londrina-PR.

A partir do ajuste das curvas para os valores dos índices de deficiência hídrica versus período de retorno, obtivemos os valores dos coeficientes a e b (v. equação 6) para cada decêndio do ano. Estes valores estão apresentados na tabela 7, da página 44, para os locais de Cambará-PR e Londrina-PR.

Para a obtenção da extensão de cada estágio de desenvolvimento foi utilizado o modelo dos graus-dias corrigidos, estimados segundo o modelo representado pela equação 7, de acordo com o método de VILLA NOVA (1989), conforme mostram as tabelas 8 e 9, ambas na página 45, para as localidades de Cambará-PR e Londrina-PR, respectivamente.

Levando-se em consideração a época tradicional do plantio de milho no norte do estado do Paraná (perto de 21 de outubro, segundo o FIAPAR, 1978) em função dos dados fenológicos correspondentes, estimou-se o número de graus-dias corrigidos para cada estágio de desenvolvimento. De acordo com o número de graus-dias corrigidos de cada estágio de desenvolvimento, foram estimados os períodos necessários para cumprir os valores de graus-dias corrigidos dos estágios de desenvolvimento, para cada época de plantio. Os resultados estão apresentados nas tabelas 10 (Cambará-PR) e 11 (Londrina-PR), ambas na página 46.

Em função da equação 6 foram estimados os valores das deficiências hídricas máximas esperadas para cinco níveis de probabilidade (40%, 50%, 60%, 70% e 80%), ou períodos de retorno (2,50, 2,00, 1,67, 1,43 e 1,25 anos). Estes valores foram determinados em porcentagem e milímetros, conforme demonstram as tabelas 12 (Cambará-PR), presente à página 47 e 13 (Londrina-PR), à página 48.

O nosso estudo foi executado considerando-se um nível de probabilidade de 80% (critério já explicado no capítulo 3) e com intuito de uma avaliação mais realista, optamos por corrigir esses valores de deficiência hídrica esperada ao nível de 80% de probabilidade, em função da variação do coeficiente de cultura, para cada estágio de desenvolvimento, conforme o estabelecido pela equação 8. As tabelas 14 (Cambará-PR), na página 49 e 15 (Londrina-PR), na página 50, mostram o comportamento desses valores, de acordo com cada decêndio, durante todo o ano.

A seguir, em função da duração de cada estágio de

desenvolvimento, para cada época de plantio, foram determinados os valores de deficiência hídrica média diária (em porcentagem), já corrigidos do coeficiente de cultura, conforme estão apresentados nas tabelas 16 (Cambará-PR) e 17 (Londrina-PR), ambas presentes à página 51.

Segundo DOORENBOS & KASSAN (1979) existe uma relação linear entre a deficiência hídrica e a deficiência de produção. Esta relação é quantificada de acordo com a equação 9. Os resultados da deficiência de produção esperada ao nível de 80% de probabilidade (em relação a um valor potencial) em função das deficiências hídricas esperadas, para os estádios de floração ou formação da produção (independentemente) estão apresentados na tabela 18, para as localidades de Cambará-PR e Londrina-PR, na página 52.

Uma primeira avaliação das necessidades de irrigação suplementar é o conhecimento da demanda evaporativa de cada fase de desenvolvimento da cultura de milho. Estes valores estão apresentados nas tabelas 19 (Cambará-PR) e 20 (Londrina-PR), ambas presentes à página 53, considerando-se várias simulações de plantio, apresentando-os distribuídos por estádios de desenvolvimento e para o ciclo total da cultura.

As avaliações das lâminas de irrigação suplementar para cada decêndio do ano, em função apenas das demandas evaporativas e das deficiências hídricas estão apresentadas na tabela 21, da página 54, para a localidade de Cambará-PR e na tabela 22, da página 55, para a localidade de Londrina-PR.

As tabelas 23 (para Cambará-PR) e 24 (para Londrina-PR), ambas presentes à página 56, mostram as estimativas das lâminas suplementares de irrigação, em milímetros e m^3/ha , para cada estádio de desenvolvimento e o valor total para os plantios simulados do milho, pressupondo-se diferentes épocas de plantio.

Decêndios	ET _o (mm)	Decêndios	ET _o (mm)	Decêndios	ET _o (mm)
jan 01-10	44,6	mai 01-10	21,8	set 01-10	33,9
jan 11-20	44,6	mai 11-20	21,8	set 11-20	33,9
jan 21-31	49,1	mai 20-31	24,0	set 21-30	33,9
fev 01-10	42,1	jun 01-10	17,9	out 01-10	41,4
fev 11-20	42,1	jun 11-20	17,9	out 11-20	41,4
fev 21-28	33,7	jun 21-30	17,9	out 21-31	45,6
mar 01-10	38,6	jul 01-10	20,0	nov 01-10	45,6
mar 11-20	38,6	jul 11-20	20,0	nov 11-20	45,6
mar 21-31	42,4	jul 21-31	22,0	nov 21-30	45,6
abr 01-10	31,0	ago 01-10	26,9	dez 01-10	42,9
abr 11-20	31,0	ago 11-20	26,9	dez 11-20	42,9
abr 21-30	31,0	ago 21-31	29,6	dez 21-31	47,2

Tabela 5. Valores médios decendiais de evapotranspiração de referência (mm), estimados pelo modelo de PENMAN (1956), para a localidade de Cambará-PR, no período de 1957 a 1987.

Decêndios	ET _o (mm)	Decêndios	ET _o (mm)	Decêndios	ET _o (mm)
jan 01-10	45,8	mai 01-10	22,0	set 01-10	33,2
jan 11-20	45,8	mai 11-20	22,0	set 11-20	33,2
jan 21-31	50,4	mai 20-31	24,2	set 21-30	33,2
fev 01-10	43,5	jun 01-10	17,9	out 01-10	40,6
fev 11-20	43,5	jun 11-20	17,9	out 11-20	40,6
fev 21-28	34,8	jun 21-30	17,9	out 21-31	44,6
mar 01-10	39,2	jul 01-10	20,1	nov 01-10	46,1
mar 11-20	39,2	jul 11-20	20,1	nov 11-20	46,1
mar 21-31	43,1	jul 21-31	22,1	nov 21-30	46,1
abr 01-10	31,6	ago 01-10	26,9	dez 01-10	44,9
abr 11-20	31,6	ago 11-20	26,9	dez 11-20	44,9
abr 21-30	31,6	ago 21-31	29,5	dez 21-31	49,4

Tabela 6. Valores médios decendiais de evapotranspiração de referência (mm), estimados pelo modelo de PENMAN (1956), para a localidade de Londrina-PR, no período de 1958 a 1987.

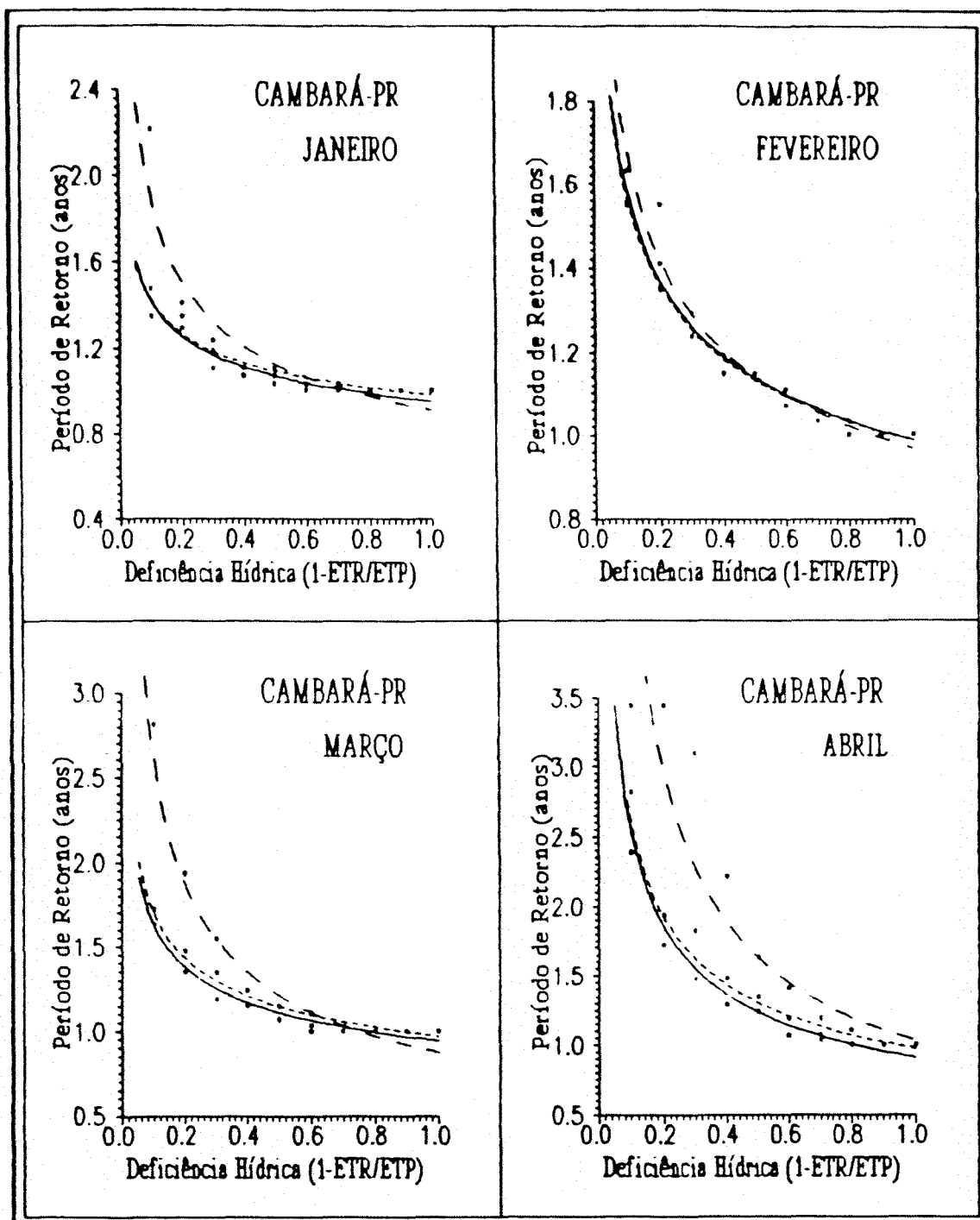


Figura 3. Relações entre valores do período de retorno e valores menores ou iguais de deficiência hídrica correspondentes, considerando-se os três decêndios dos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, em Cambará-PR. A linha contínua representa a curva ajustada para o primeiro decêndio de cada mês, a tracejada curta, para o segundo decêndio e a tracejada longa para o terceiro.

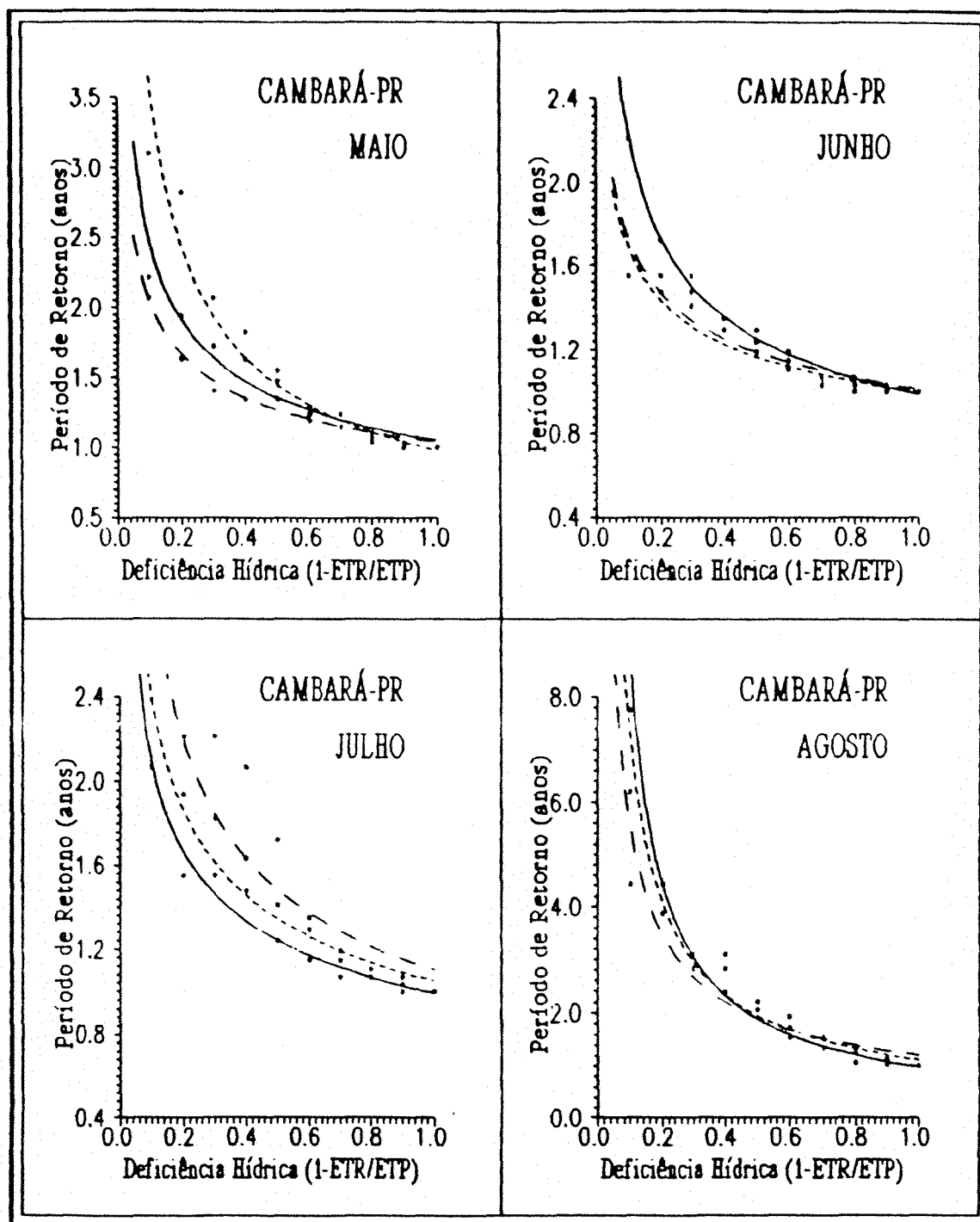


Figura 4. Relações entre valores do período de retorno e valores menores ou iguais de deficiência hídrica correspondentes, considerando-se os três decêndios dos meses de maio, junho, julho e agosto, em Cambará-PR. A linha contínua representa a curva ajustada para o primeiro decêndio de cada mês, a tracejada curta, para o segundo decêndio e a tracejada longa para o terceiro.

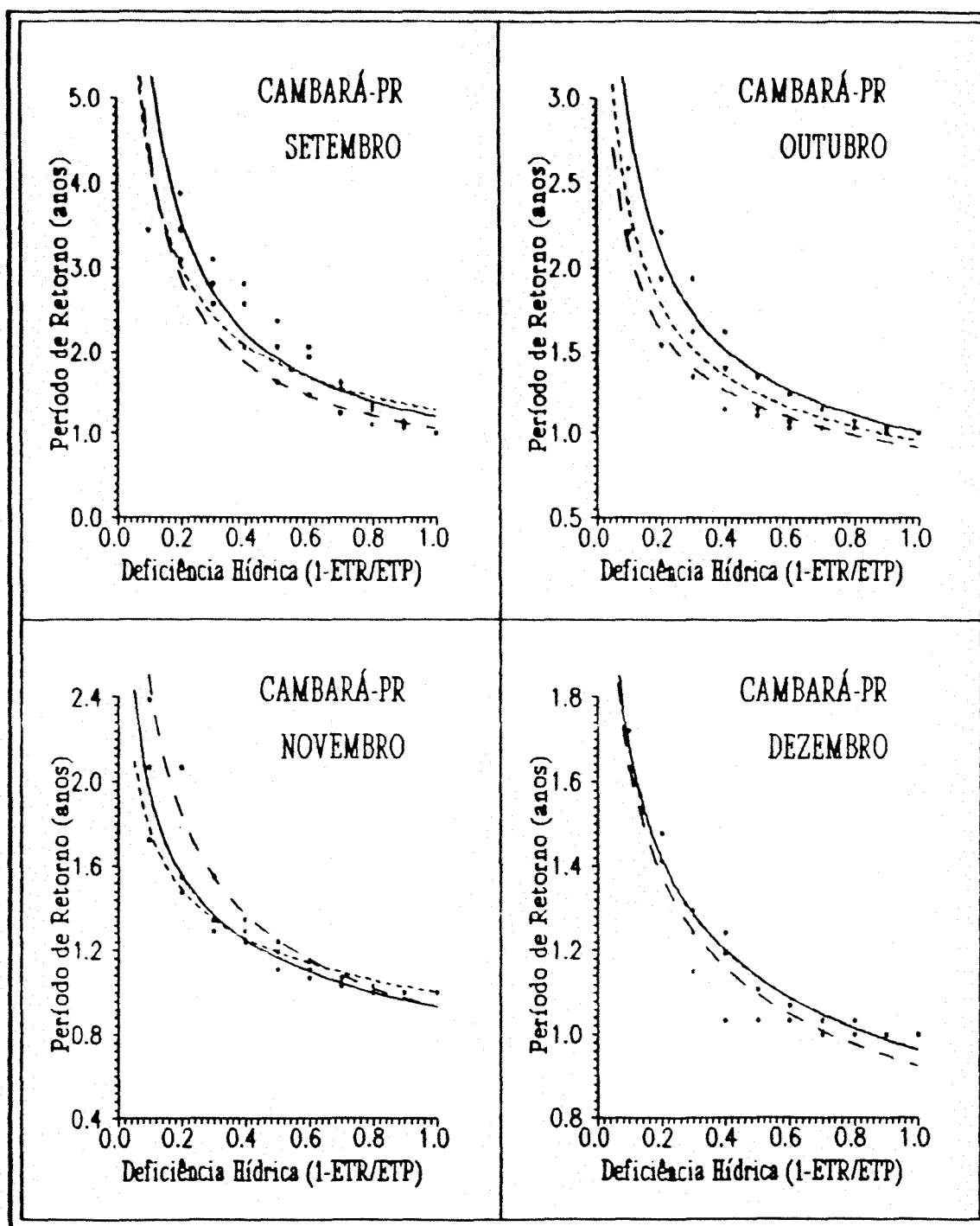


Figura 5. Relações entre valores do período de retorno e valores menores ou iguais de deficiência hídrica correspondentes, considerando-se os três decêndios dos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, em Cambará-PR. A linha contínua representa a curva ajustada para o primeiro decêndio de cada mês, a tracejada curta, para o segundo decêndio e a tracejada longa para o terceiro.

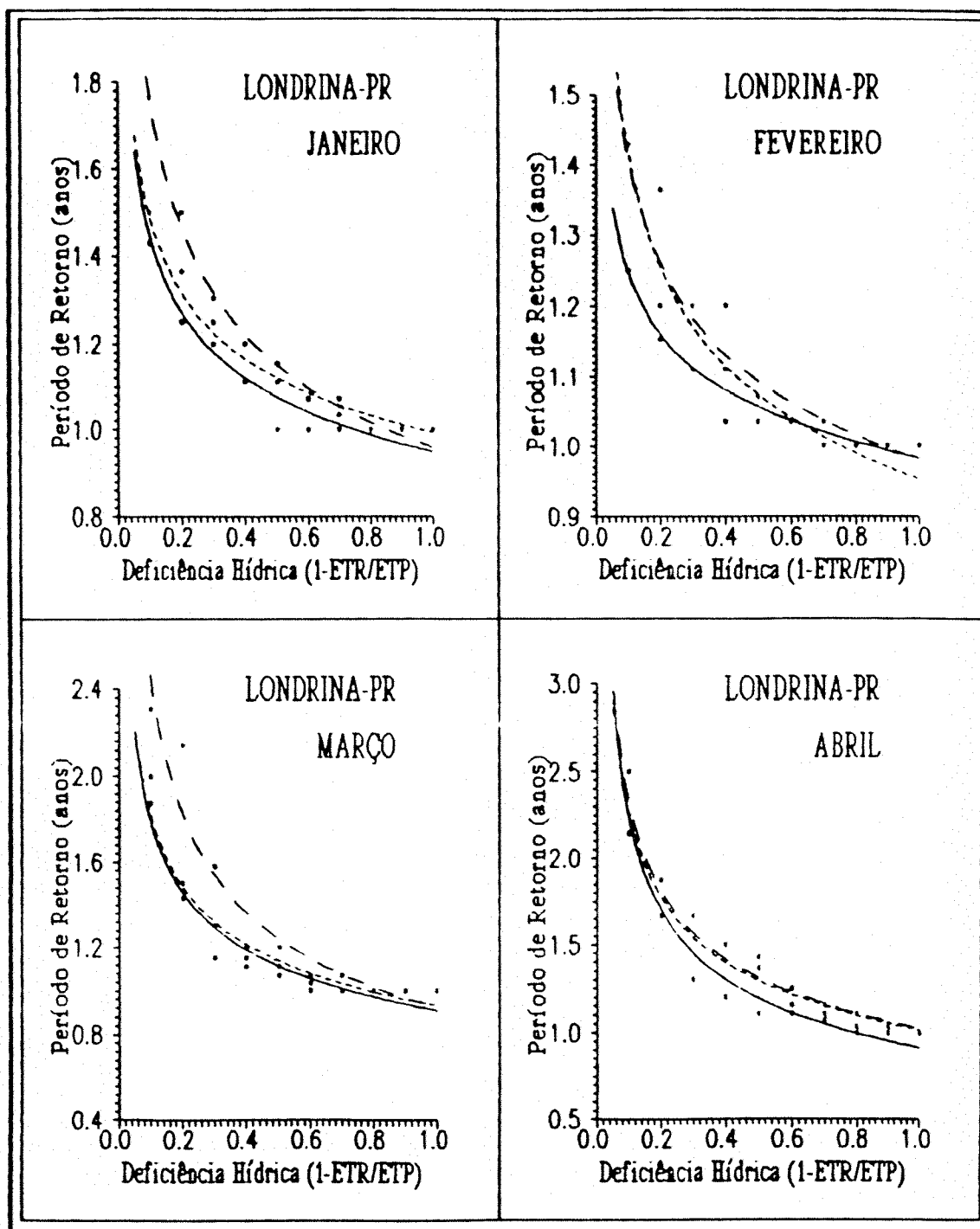


Figura 6. Relações entre valores do período de retorno e valores menores ou iguais de deficiência hídrica correspondentes, considerando-se os três decêndios dos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, em Londrina-PR. A linha contínua representa a curva ajustada para o primeiro decêndio de cada mês, a tracejada curta, para o segundo decêndio e a tracejada longa para o terceiro.

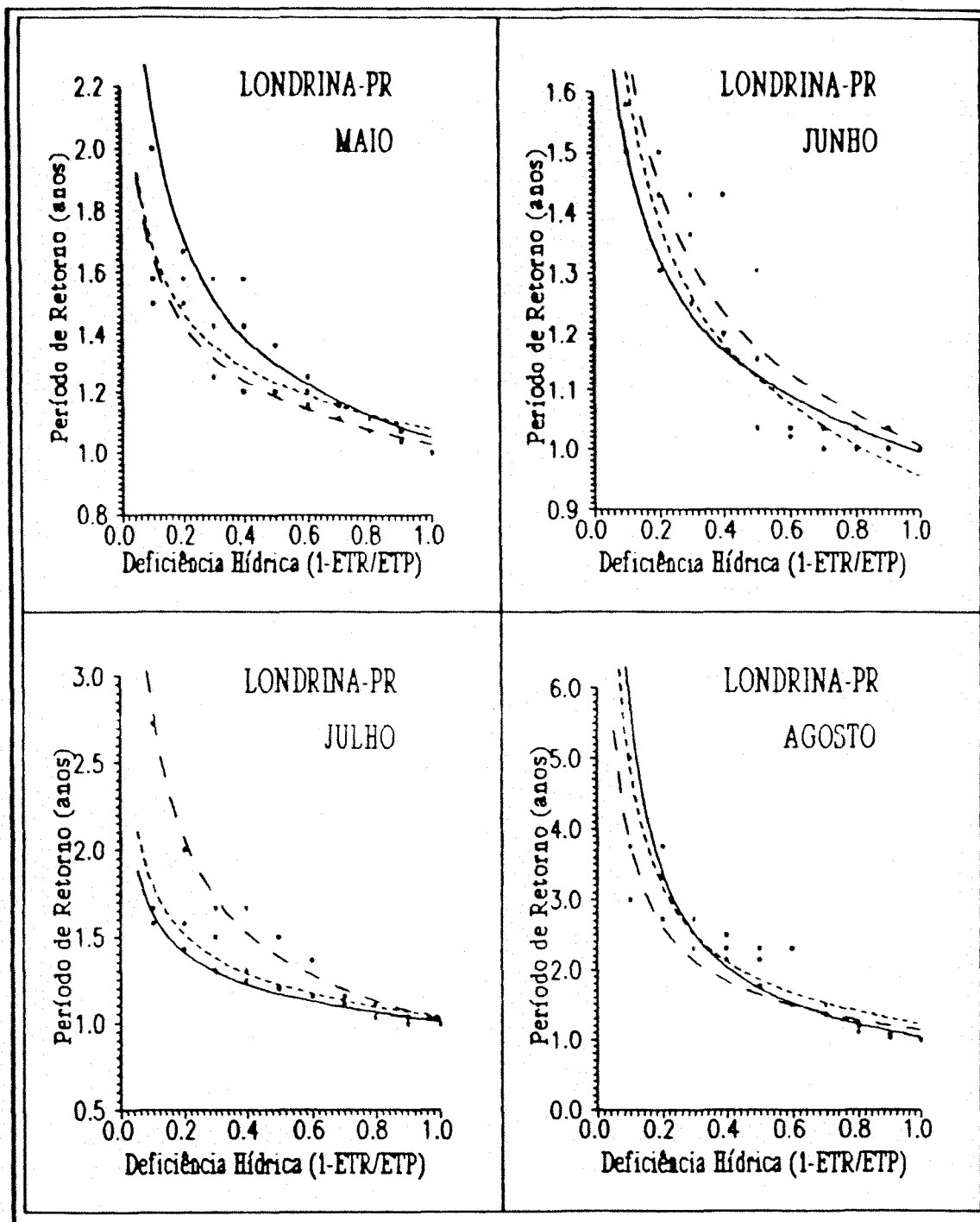


Figura 7. Relações entre valores do período de retorno e valores menores ou iguais de deficiência hídrica correspondentes, considerando-se os três decêndios dos meses de maio, junho, julho e agosto, em Londrina-PR. A linha contínua representa a curva ajustada para o primeiro decêndio de cada mês, a tracejada curta, para o segundo decêndio e a tracejada longa para o terceiro.

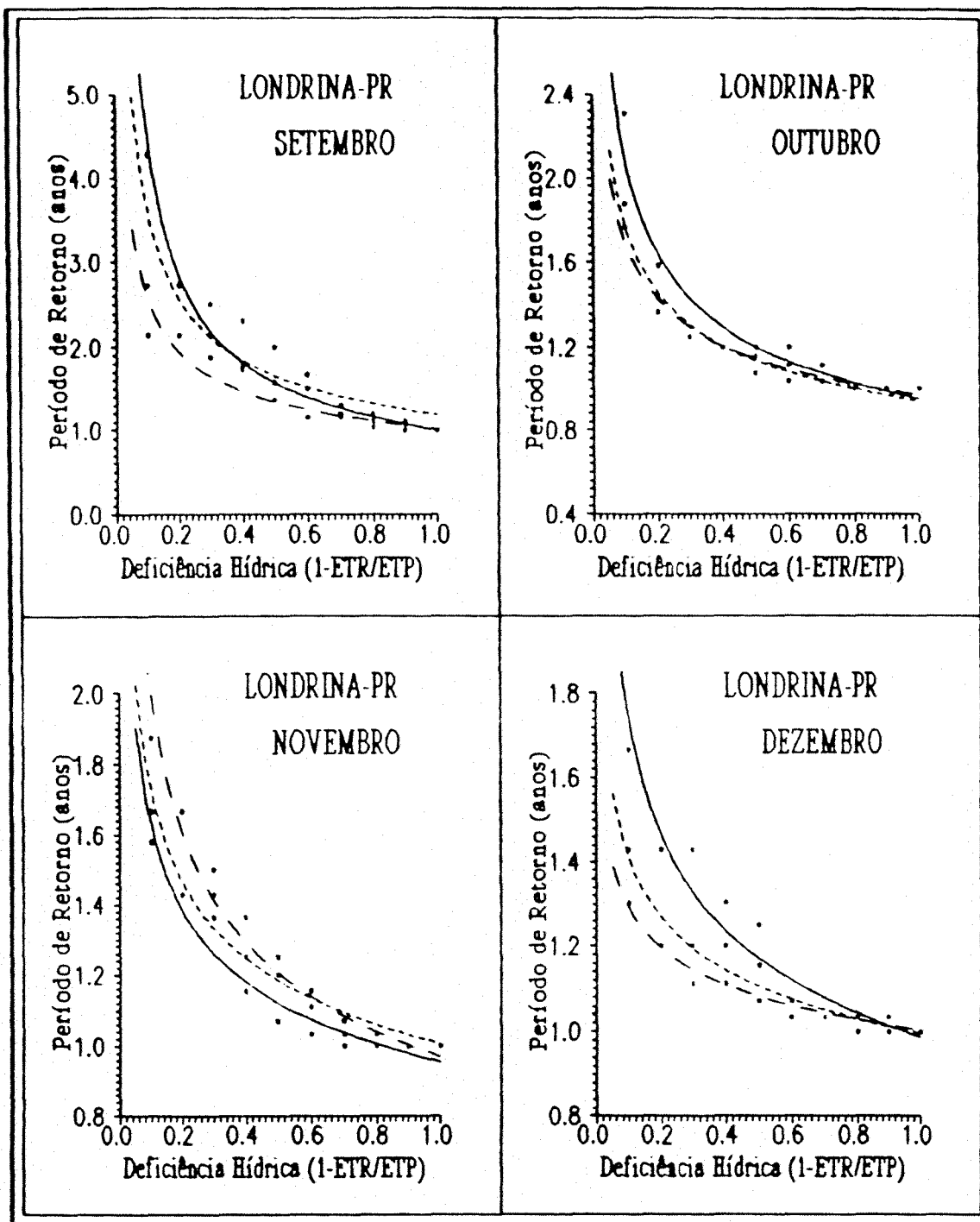


Figura 8. Relações entre valores do período de retorno e valores menores ou iguais de deficiência hídrica correspondentes, considerando-se os três decêndios dos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, em Londrina-PR. A linha contínua representa a curva ajustada para o primeiro decêndio de cada mês, a tracejada curta, para o segundo decêndio e a tracejada longa para o terceiro.

decêndios	Coeficientes			
	Cambará		Londrina	
	a	b	a	b
jan 01-10	0,175	0,948	0,183	0,948
jan 11-20	0,161	0,978	0,175	0,993
jan 21-31	0,317	0,905	0,263	0,959
fev 01-10	0,203	0,987	0,103	0,983
fev 11-20	0,200	0,985	0,171	0,953
fev 21-28	0,233	0,968	0,156	0,980
mar 01-10	0,236	0,941	0,290	0,911
mar 11-20	0,242	0,968	0,287	0,933
mar 21-31	0,473	0,872	0,420	0,926
abr 01-10	0,444	0,907	0,385	0,914
abr 11-20	0,422	0,972	0,345	1,018
abr 21-30	0,654	1,033	0,354	1,025
mai 01-10	0,371	1,050	0,305	1,049
mai 11-20	0,567	0,978	0,193	1,076
mai 20-31	0,296	1,035	0,206	1,026
jun 01-10	0,350	0,986	0,179	0,994
jun 11-20	0,225	0,999	0,231	0,955
jun 21-30	0,230	1,015	0,225	1,006
jul 01-10	0,322	0,993	0,206	1,014
jul 11-20	0,356	1,051	0,236	1,038
jul 21-31	0,426	1,104	0,435	1,024
ago 01-10	0,934	0,987	0,734	1,041
ago 11-20	0,802	1,122	0,592	1,232
ago 21-31	0,655	1,208	0,519	1,142
set 01-10	0,680	1,200	0,645	1,005
set 11-20	0,528	1,291	0,478	1,189
set 21-30	0,624	1,061	0,403	1,014
out 01-10	0,456	1,003	0,338	0,950
out 11-20	0,393	0,950	0,274	0,938
out 21-31	0,364	0,910	0,242	0,966
nov 01-10	0,319	0,933	0,230	0,956
nov 11-20	0,246	1,003	0,233	1,007
nov 21-30	0,423	0,931	0,312	0,971
dez 01-10	0,240	0,962	0,246	0,987
dez 11-20	0,238	0,963	0,151	0,995
dez 21-31	0,246	0,925	0,108	1,004

Tabela 7. Valores dos coeficientes das equações de regressão dos índices de deficiência hídrica versus período de retorno, para os locais de Cambará-PR (1957 a 1987) e Londrina-PR (1958-1987).

decêndios	GDC	decêndios	GDC
jan 01-10	222,1	jul 01-10	42,7
jan 11-20	214,2	jul 11-20	44,1
jan 21-31	223,4	jul 21-31	50,8
fev 01-10	193,0	ago 01-10	61,7
fev 11-20	180,6	ago 11-20	65,6
fev 21-28	135,9	ago 21-31	77,4
mar 01-10	147,7	set 01-10	92,2
mar 11-20	137,2	set 11-20	99,0
mar 21-31	139,3	set 21-30	106,6
abr 01-10	96,8	out 01-10	134,6
abr 11-20	90,2	out 11-20	144,6
abr 21-30	84,3	out 21-31	171,3
mai 01-10	58,9	nov 01-10	189,3
mai 11-20	55,9	nov 11-20	191,4
mai 20-31	58,7	nov 21-30	200,4
jun 01-10	42,2	dez 01-10	216,2
jun 11-20	41,5	dez 11-20	220,0
jun 21-30	41,6	dez 21-31	242,0

Tabela 8. Valores dos graus-dias corrigidos (segundo o método de VILLA NOVA, 1979) para cada decêndio do ano, na localidade de Cambará-PR (1957 a 1987).

decêndios	GDC	decêndios	GDC
jan 01-10	217,7	jul 01-10	43,7
jan 11-20	209,7	jul 11-20	45,1
jan 21-31	218,5	jul 21-31	52,0
fev 01-10	187,3	ago 01-10	61,6
fev 11-20	175,0	ago 11-20	65,5
fev 21-28	131,5	ago 21-31	77,4
mar 01-10	144,4	set 01-10	88,5
mar 11-20	133,9	set 11-20	95,2
mar 21-31	135,8	set 21-30	102,5
abr 01-10	95,7	out 01-10	126,9
abr 11-20	89,1	out 11-20	136,4
abr 21-30	83,2	out 21-31	161,8
mai 01-10	57,5	nov 01-10	183,2
mai 11-20	54,4	nov 11-20	185,3
mai 20-31	57,1	nov 21-30	194,3
jun 01-10	41,3	dez 01-10	208,9
jun 11-20	40,7	dez 11-20	212,7
jun 21-30	40,8	dez 21-31	233,9

Tabela 9. Valores dos graus-dias corrigidos (segundo o método de VILLA NOVA, 1979) para cada decêndio do ano, na localidade de Londrina-PR (1958 a 1987).

Estabelecimento		Per. Vegetativo		Floração		Form. Produção		Ciclo
Período	N.D.	Período	N.D.	Período	N.D.	Período	N.D.	Total
01ago-20set	51	20set-13nov	55	13nov-05dez	23	05dez-16jan	43	169
11ago-26set	47	26set-17nov	53	17nov-08dez	22	08dez-18jan	42	161
21ago-01out	42	01out-20nov	51	20nov-11dez	22	11dez-23jan	44	156
01set-07out	37	07out-24nov	49	24nov-15dez	22	15dez-26jan	43	148
11set-14out	34	14out-29nov	46	29nov-19dez	21	19dez-30jan	43	141
21set-21out	31	21out-03dez	43	03dez-23dez	21	23dez-04fev	44	136
01out-28out	28	28out-08dez	42	08dez-28dez	21	28dez-10fev	45	133
11out-04nov	25	04nov-14dez	41	14dez-03jan	21	03jan-17fev	46	130
21out-12nov	23	12nov-21dez	40	21dez-10jan	21	10jan-25fev	47	128
01nov-21nov	21	21nov-29dez	39	28dez-18jan	20	18jan-09mar	51	128
11nov-30nov	20	30nov-06jan	38	06jan-27jan	22	27jan-22mar	55	122
21nov-09dez	19	09dez-15jan	38	15jan-06fev	23	06fev-02abr	62	139
01dez-18dez	18	18dez-25jan	39	25jan-16fev	23	16fev-02mar	76	150
11dez-28dez	18	28dez-04fev	39	04fev-01mar	26	01mar-10jun	104	184
21dez-07jan	18	07jan-16fev	41	16fev-16mar	29	16mar-02ago	140	225

Tabela 10. Número de dias de duração de cada estágio de desenvolvimento do milho e o número de dias de duração do ciclo vegetativo total, na localidade de Cambará-PR.

Estabelecimento		Per. Vegetativo		Floração		Form. Produção		Ciclo
Período	N.D.	Período	N.D.	Período	N.D.	Período	N.D.	Total
01ago-18set	49	18set-13nov	57	13nov-05dez	23	05dez-16jan	43	169
11ago-25set	46	25set-16nov	53	16nov-08dez	23	08dez-19jan	44	163
21ago-01out	42	01out-20nov	51	20nov-11dez	22	11dez-22jan	42	154
01set-07out	37	07out-24nov	49	24nov-15dez	22	15dez-26jan	43	148
11set-14out	34	14out-28nov	46	28nov-19dez	22	19dez-31jan	44	143
21set-21out	31	21out-03dez	44	03dez-23dez	21	23dez-05fev	45	138
01out-28out	28	28out-08dez	42	08dez-28dez	21	28dez-10fev	45	133
11out-04nov	25	04nov-14dez	41	14dez-03jan	21	03jan-17fev	46	130
21out-12nov	23	12nov-21dez	40	21dez-10jan	21	10jan-25fev	46	127
01nov-21nov	21	21nov-28dez	38	28dez-17jan	21	17jan-08mar	51	128
11nov-30nov	20	30nov-06jan	38	06jan-26jan	21	26jan-22mar	56	132
21nov-09dez	19	09dez-14jan	37	14jan-05fev	23	05fev-07abr	62	138
01dez-18dez	18	18dez-24jan	38	24jan-16fev	24	16fev-30abr	74	151
11dez-28dez	18	28dez-03fev	38	03fev-28fev	26	28fev-09jun	102	181
21dez-07jan	18	07jan-15fev	40	15fev-15mar	29	15mar-18jul	126	210

Tabela 11. Número de dias de duração de cada estágio de desenvolvimento do milho e o número de dias de duração do ciclo vegetativo total, na localidade de Londrina-PR.

Cambará-PR		deficiência esperada (níveis de probabilidade)									
Epoca		40%	50%	60%	70%	80%	40%	50%	60%	70%	80%
decêndio	ET _o	em porcentagem					em milímetros				
Jan 01-10	44,6	0,38	1,38	3,94	9,53	20,4	0,2	0,6	1,8	4,3	9,1
Jan 11-20	44,6	0,29	1,16	3,62	9,44	21,6	0,1	0,5	1,6	4,2	9,7
Jan 21-31	49,1	4,04	8,17	14,5	23,6	36,0	2,0	4,0	7,1	11,6	17,7
fev 01-10	42,1	1,03	3,09	7,59	16,2	31,2	0,4	1,3	3,2	6,8	13,2
fev 11-20	42,1	0,95	2,91	7,24	15,6	30,4	0,4	1,2	3,0	6,6	12,8
fev 21-28	33,7	1,71	4,45	9,73	18,8	33,4	0,6	1,5	3,3	6,3	11,3
mar 01-10	38,6	1,58	4,09	8,86	17,0	29,9	0,6	1,6	3,4	6,6	11,6
mar 11-20	38,6	1,99	5,01	10,6	20,0	34,8	0,8	1,9	4,1	7,7	13,4
mar 21-31	42,4	10,7	17,2	25,4	35,1	46,6	4,6	7,3	10,8	14,9	19,8
abr 01-10	31,0	10,1	16,8	25,3	35,9	48,5	3,2	5,2	7,9	11,1	15,0
abr 11-20	31,0	10,6	18,1	27,8	40,1	55,1	3,3	5,6	8,6	12,5	17,1
abr 21-30	31,0	25,9	36,4	48,1	60,9	74,7	8,0	11,3	14,9	18,9	23,2
mai 01-10	21,8	9,62	17,5	28,7	43,5	62,4	2,1	3,8	6,3	9,5	13,6
mai 11-20	21,8	19,0	28,2	39,0	51,2	64,8	4,2	6,2	8,5	11,2	14,2
mai 20-31	24,0	5,07	10,7	19,9	33,6	52,7	1,2	2,6	4,8	8,1	12,7
jun 01-10	17,9	7,00	13,2	22,3	34,6	50,7	1,3	2,4	4,0	6,2	9,1
jun 11-20	17,9	1,70	4,59	10,3	20,4	36,9	0,3	0,8	1,8	3,7	6,6
jun 21-30	17,9	2,00	5,27	11,6	22,7	40,5	0,4	0,9	2,1	4,1	7,2
jul 01-10	20,0	5,67	11,3	20,0	32,2	48,9	1,1	2,3	4,0	6,4	9,8
jul 11-20	20,0	8,74	16,3	27,3	42,1	61,4	1,7	3,3	5,5	8,4	12,3
jul 21-31	22,0	14,7	24,8	38,0	54,6	74,8	3,2	5,5	8,4	12,0	16,4
ago 01-10	26,9	36,9	46,9	57,0	67,2	77,6	10,0	12,6	15,4	18,1	20,9
ago 11-20	26,9	36,8	48,6	61,0	73,9	87,3	9,9	13,1	16,4	19,9	23,5
ago 21-31	29,6	32,9	46,3	61,1	77,4	94,8	9,8	13,7	18,1	22,9	28,1
set 01-10	33,9	33,9	47,1	61,7	77,4	94,2	11,5	16,0	20,9	26,2	31,9
set 11-20	33,9	28,6	43,6	61,6	82,5	100,0	9,7	14,8	20,9	27,9	33,9
set 21-30	33,9	25,3	36,1	48,4	62,0	76,8	8,6	12,3	16,4	21,0	26,0
out 01-10	41,4	13,5	22,0	32,8	46,0	61,7	5,6	9,1	13,6	19,1	25,6
out 11-20	41,4	8,48	14,9	23,8	35,3	49,6	3,5	6,2	9,9	14,6	20,6
out 21-31	45,6	6,22	11,4	18,9	28,9	41,8	2,8	5,2	8,6	13,2	19,1
nov 01-10	45,6	4,56	9,18	16,2	26,3	40,0	2,1	4,2	7,4	12,0	18,2
nov 11-20	45,6	2,45	6,07	12,7	23,8	40,9	1,1	2,8	5,8	10,8	18,6
nov 21-30	45,6	9,65	16,3	25,2	36,3	49,8	4,4	7,5	11,5	16,5	22,7
dez 01-10	42,9	1,87	4,75	10,1	19,3	33,6	0,8	2,0	4,4	8,3	14,5
dez 11-20	42,9	1,81	4,63	9,97	19,0	33,4	0,8	2,0	4,3	8,2	14,4
dez 21-31	47,2	1,74	4,33	9,10	17,0	29,3	0,8	2,0	4,3	8,1	13,9

Tabela 12. Ocorrência dos valores diários médios decendiais de deficiência hídrica (em % e mm), aos níveis de 40, 50, 60, 70 e 80% de probabilidade, considerando-se valores unitários de k_c , para a localidade de Cambará-PR (CAD = 50 mm).

Londrina-PR		deficiência esperada (níveis de probabilidade)									
Época		40%	50%	60%	70%	80%	40%	50%	60%	70%	80%
decêndio	ET _o	em porcentagem					em milímetros				
jan 01-10	45,8	0,49	1,67	4,55	10,6	22,0	0,2	0,8	2,1	4,9	10,1
jan 11-20	45,8	0,51	1,83	5,20	12,5	26,9	0,2	0,8	2,4	5,7	12,3
jan 21-31	50,4	2,62	6,13	12,2	22,0	36,5	1,3	3,1	6,2	11,1	18,4
fev 01-10	43,5	0,01	0,10	0,59	2,64	9,7	0,0	0,0	0,3	1,2	4,2
fev 11-20	43,5	0,35	1,31	3,81	9,38	20,5	0,2	0,6	1,7	4,1	8,9
fev 21-28	34,8	0,24	1,04	3,34	8,97	21,1	0,1	0,4	1,2	3,1	7,4
mar 01-10	39,2	3,08	6,66	12,4	21,2	33,6	1,2	2,6	4,9	8,3	13,2
mar 11-20	39,2	3,22	7,02	13,2	22,6	36,1	1,3	2,8	5,2	8,9	14,2
mar 21-31	43,1	9,38	15,9	24,6	35,6	48,9	4,0	6,9	10,6	15,4	21,1
abr 01-10	31,6	7,34	13,1	21,0	31,3	44,4	2,3	4,1	6,6	9,9	14,0
abr 11-20	31,6	7,37	14,0	23,9	37,4	55,1	2,3	4,4	7,5	11,8	17,4
abr 21-30	31,6	8,01	15,0	25,2	39,0	57,0	2,5	4,8	8,0	12,3	18,0
mai 01-10	22,0	5,78	12,0	21,8	36,2	56,2	1,3	2,7	4,8	8,0	12,4
mai 11-20	22,0	1,27	4,04	10,3	23,0	46,1	0,3	0,9	2,3	5,1	10,2
mai 20-31	24,2	1,32	3,90	9,47	20,0	38,4	0,3	0,9	2,3	4,9	9,3
jun 01-10	17,9	0,57	1,99	5,53	13,1	27,7	0,1	0,4	1,0	2,4	5,0
jun 11-20	17,9	1,56	4,10	9,02	17,5	31,3	0,3	0,7	1,6	3,1	5,6
jun 21-30	17,9	1,75	4,72	10,6	21,0	38,1	0,3	0,8	1,9	3,8	6,8
jul 01-10	20,1	1,24	3,68	8,93	18,8	36,1	0,2	0,7	1,8	3,8	7,2
jul 11-20	20,1	2,41	6,22	13,4	25,8	45,6	0,5	1,2	2,7	5,2	9,1
jul 21-31	22,1	12,8	21,4	32,6	46,5	63,2	2,8	4,7	7,2	10,3	13,9
ago 01-10	26,9	30,3	41,1	52,6	64,9	78,0	8,1	11,0	14,1	17,5	20,9
ago 11-20	26,9	30,2	44,1	60,0	77,8	97,6	8,1	11,8	16,1	20,9	26,2
ago 21-31	29,5	22,0	33,9	48,2	64,9	84,0	6,5	10,0	14,2	19,2	24,8
set 01-10	33,2	24,3	34,4	45,6	57,9	71,3	8,1	11,4	15,1	19,2	23,7
set 11-20	33,2	21,1	33,6	49,3	68,0	100,0	7,0	11,2	16,4	22,6	33,2
set 21-30	33,2	10,6	18,5	29,1	42,7	59,5	3,5	6,1	9,7	14,2	19,7
out 01-10	40,6	5,72	11,0	18,9	29,9	44,5	2,3	4,5	7,7	12,2	18,0
out 11-20	40,6	2,78	6,29	12,2	21,5	35,0	1,1	2,6	5,0	8,7	14,2
out 21-31	44,6	1,94	4,91	10,4	19,7	34,4	0,9	2,2	4,7	8,8	15,3
nov 01-10	46,1	1,52	4,02	8,89	17,4	31,1	0,7	1,9	4,1	8,0	14,3
nov 11-20	46,1	2,02	5,26	11,5	22,3	39,6	0,9	2,4	5,3	10,3	18,2
nov 21-30	46,1	4,83	9,88	17,7	29,0	44,5	2,2	4,6	8,2	13,4	20,5
dez 01-10	44,9	2,27	5,64	11,8	22,1	38,2	1,0	2,5	5,3	10,0	17,2
dez 11-20	44,9	0,22	0,97	3,26	9,09	22,1	0,1	0,4	1,5	4,1	9,9
dez 21-31	49,4	0,02	0,17	0,92	3,84	13,2	0,0	0,1	0,5	1,9	6,5

Tabela 13. Ocorrência dos valores diários médios decendiais de deficiência hídrica (em % e mm), aos níveis de 40, 50, 60, 70 e 80% de probabilidade, considerando-se o valor unitário de k_c para a localidade de Londrina-PR (CAD = 50 mm).

Cambará-PR		D' (nível 80% prob.) corrigido do coef. cultura								
Época		k _c	0,5	0,8	1,2	1,0	0,5	0,8	1,2	1,0
		fase	I	II	flor	prod	I	II	flor	prod
decêndio	ET _o	D	em milímetros				em porcentagem			
jan 01-10	44,6	9,1	0,0	0,2	18,1	9,1	0,0	0,6	33,7	20,5
jan 11-20	44,6	9,7	0,0	0,8	18,6	9,7	0,0	2,1	34,7	21,7
jan 21-31	49,1	17,7	0,0	7,9	27,5	17,7	0,0	20,1	46,7	36,1
fev 01-10	42,1	13,2	0,0	4,7	21,6	13,2	0,0	14,1	42,7	31,3
fev 11-20	42,1	12,8	0,0	4,4	21,2	12,8	0,0	13,1	42,1	30,5
fev 21-28	33,7	11,3	0,0	4,5	18,0	11,3	0,0	16,8	44,5	33,4
mar 01-10	38,6	11,6	0,0	3,9	19,3	11,6	0,0	12,5	41,7	30,0
mar 11-20	38,6	13,4	0,0	5,7	21,1	13,4	0,0	18,5	45,7	34,8
mar 21-31	42,4	19,8	0,0	11,3	28,3	19,8	0,0	33,3	55,6	46,7
abr 01-10	31,0	15,0	0,0	8,8	21,2	15,0	0,0	35,7	57,1	48,5
abr 11-20	31,0	17,1	1,6	10,9	23,3	17,1	10,3	43,9	62,6	55,1
abr 21-30	31,0	23,2	7,7	17,0	29,4	23,2	49,5	68,4	79,0	74,7
mai 01-10	21,8	13,6	2,7	9,3	18,0	13,6	24,9	53,1	68,7	62,5
mai 11-20	21,8	14,2	3,2	9,8	18,5	14,2	29,6	56,0	70,7	64,8
mai 20-31	24,0	12,7	0,7	7,9	17,5	12,7	5,6	41,0	60,7	52,8
jun 01-10	17,9	9,1	0,1	5,5	12,6	9,1	1,5	38,4	59,0	50,8
jun 11-20	17,9	6,6	0,0	3,0	10,2	6,6	0,0	21,2	47,5	37,0
jun 21-30	17,9	7,2	0,0	3,7	10,8	7,2	0,0	25,7	50,5	40,6
jul 01-10	20,0	9,8	0,0	5,8	13,8	9,8	0,0	36,1	57,4	48,9
jul 11-20	20,0	12,3	2,3	8,3	16,3	12,3	22,8	51,8	67,9	61,4
jul 21-31	22,0	16,4	5,4	12,0	20,8	16,4	49,6	68,5	79,0	74,8
ago 01-10	26,9	20,9	7,4	15,5	26,3	20,9	55,2	72,0	81,3	77,6
ago 11-20	26,9	23,5	10,1	18,1	28,9	23,5	74,7	84,2	89,5	87,4
ago 21-31	29,6	28,1	13,3	22,2	34,0	28,1	89,8	93,6	95,7	94,9
set 01-10	33,9	31,9	15,0	25,1	38,7	31,9	88,4	92,8	95,2	94,2
set 11-20	33,9	33,9	16,9	27,1	40,6	33,9	100,0	100,0	100,0	100,0
set 21-30	33,9	26,0	9,1	19,3	32,8	26,0	53,8	71,1	80,7	76,9
out 01-10	41,4	25,6	4,9	17,3	33,9	25,6	23,5	52,2	68,1	61,8
out 11-20	41,4	20,6	0,0	12,3	28,8	20,6	0,0	37,0	58,0	49,6
out 21-31	45,6	19,1	0,0	10,0	28,2	19,1	0,0	27,3	51,5	41,8
nov 01-10	45,6	18,2	0,0	9,1	27,3	18,2	0,0	25,0	50,0	40,0
nov 11-20	45,6	18,6	0,0	9,5	27,8	18,6	0,0	26,2	50,8	40,9
nov 21-30	45,6	22,7	0,0	13,6	31,8	22,7	0,0	37,3	58,2	49,8
dez 01-10	42,9	14,5	0,0	5,9	23,0	14,5	0,0	17,1	44,7	33,7
dez 11-20	42,9	14,4	0,0	5,8	23,0	14,4	0,0	16,8	44,5	33,4
dez 21-31	47,2	13,9	0,0	4,4	23,3	13,9	0,0	11,7	41,1	29,4

Tabela 14. Valores das deficiências hídricas diárias médias decêndiais (em mm e %), ao nível de 80% de probabilidade, a partir da variação do coeficiente de cultura do milho, adotada uma CAD de 50 mm, para a localidade de Cambará-PR.

Londrina-PR		D (nível 80% prob.) corrigido do coef. cultura									
Epoca		k _c	0,5	0,8	1,2	1,0	0,5	0,8	1,2	1,0	
		fase	I	II	flor	prod	I	II	flor	prod	
decêndio	ET _o	D	em milímetros				em porcentagem				
jan 01-10	45,8	10,1	0,0	0,9	19,2	10,1	0,0	2,5	35,0	22,0	
jan 11-20	45,8	12,3	0,0	3,1	21,4	12,3	0,0	8,6	39,0	26,9	
jan 21-31	50,4	18,4	0,0	8,3	28,5	18,4	0,0	20,7	47,1	36,5	
fev 01-10	43,5	4,2	0,0	0,0	12,9	4,2	0,0	0,0	24,7	9,7	
fev 11-20	43,5	8,9	0,0	0,2	17,6	8,9	0,0	0,6	33,7	20,5	
fev 21-28	34,8	7,4	0,0	0,4	14,3	7,4	0,0	1,4	34,3	21,1	
mar 01-10	39,2	13,2	0,0	5,3	21,0	13,2	0,0	17,0	44,7	33,6	
mar 11-20	39,2	14,2	0,0	6,3	22,0	14,2	0,0	20,1	46,8	36,1	
mar 21-31	43,1	21,1	0,0	12,5	29,7	21,1	0,0	36,2	57,5	48,9	
abr 01-10	31,6	14,0	0,0	7,7	20,3	14,0	0,0	30,5	53,7	44,4	
abr 11-20	31,6	17,4	1,6	11,1	23,7	17,4	10,2	43,9	62,6	55,1	
abr 21-30	31,6	18,0	2,2	11,7	24,3	18,0	13,9	46,2	64,1	57,0	
mai 01-10	22,0	12,4	1,4	8,0	16,8	12,4	12,4	45,2	63,5	56,2	
mai 11-20	22,0	10,2	0,0	5,7	14,6	10,2	0,0	32,6	55,1	46,1	
mai 20-31	24,2	9,3	0,0	4,4	14,1	9,3	0,0	23,0	48,6	38,4	
jun 01-10	17,9	5,0	0,0	1,4	8,6	5,0	0,0	9,6	39,7	27,7	
jun 11-20	17,9	5,6	0,0	2,0	9,2	5,6	0,0	14,1	42,7	31,3	
jun 21-30	17,9	6,8	0,0	3,2	10,4	6,8	0,0	22,7	48,4	38,1	
jul 01-10	20,1	7,2	0,0	3,2	11,3	7,2	0,0	20,2	46,8	36,1	
jul 11-20	20,1	9,1	0,0	5,1	13,2	9,1	0,0	32,0	54,6	45,6	
jul 21-31	22,1	13,9	2,9	9,5	18,4	13,9	26,4	54,0	69,3	63,2	
ago 01-10	26,9	20,9	7,5	15,6	26,3	20,9	55,9	72,4	81,6	78,0	
ago 11-20	26,9	26,2	12,8	20,8	31,6	26,2	95,2	97,0	98,0	97,6	
ago 21-31	29,5	24,8	10,0	18,9	30,7	24,8	68,0	80,0	86,7	84,0	
set 01-10	33,2	23,7	7,1	17,0	30,3	23,7	42,6	64,1	76,1	71,3	
set 11-20	33,2	33,2	16,6	26,5	39,8	33,2	100,0	100,0	100,0	100,0	
set 21-30	33,2	19,7	3,1	13,1	26,4	19,7	19,0	49,4	66,2	59,5	
out 01-10	40,6	18,0	0,0	9,9	26,2	18,0	0,0	30,6	53,7	44,5	
out 11-20	40,6	14,2	0,0	6,1	22,3	14,2	0,0	18,8	45,8	35,0	
out 21-31	44,6	15,3	0,0	6,4	24,3	15,3	0,0	18,0	45,3	34,4	
nov 01-10	46,1	14,3	0,0	5,1	23,5	14,3	0,0	13,9	42,6	31,1	
nov 11-20	46,1	18,2	0,0	9,0	27,4	18,2	0,0	24,5	49,6	39,6	
nov 21-30	46,1	20,5	0,0	11,3	29,7	20,5	0,0	30,6	53,7	44,5	
dez 01-10	44,9	17,2	0,0	8,2	26,1	17,2	0,0	22,8	48,5	38,2	
dez 11-20	44,9	9,9	0,0	0,9	18,9	9,9	0,0	2,6	35,0	22,1	
dez 21-31	49,4	6,5	0,0	0,0	16,4	6,5	0,0	0,0	27,7	13,2	

Tabela 15. Valores das deficiências hídricas diárias médias decendiais (em mm e %), ao nível de 80% de probabilidade, a partir da variação do coeficiente de cultura do milho, adotada uma CAD de 50 mm, para a localidade de Londrina-PR.

Estabelecimento		Per. Vegetativo		Floração		Form. da Produção	
Período	D'	Período	D'	Período	D'	Período	D'
01ago-20set	81,8	20set-13nov	42,4	13nov-05dez	52,7	05dez-16jan	27,8
11ago-26set	83,9	26set-17nov	37,4	17nov-08dez	51,9	08dez-18jan	27,1
21ago-01out	81,7	01out-20nov	33,4	20nov-11dez	55,1	11dez-23jan	27,0
01set-07out	69,9	07out-24nov	31,4	24nov-15dez	49,0	15dez-26jan	27,0
11set-14out	52,1	14out-29nov	30,6	29nov-19dez	45,9	19dez-30jan	27,3
21set-21out	24,9	21out-03dez	28,1	03dez-23dez	44,1	23dez-04fev	27,5
01out-28out	8,4	28out-08dez	26,9	08dez-28dez	43,2	28dez-10fev	27,8
11out-04nov	0,0	04nov-14dez	25,6	14dez-03jan	41,2	03jan-17fev	28,4
21out-12nov	0,0	12nov-21dez	24,0	21dez-10jan	37,6	10jan-25fev	30,2
01nov-21nov	0,0	21nov-29dez	21,0	28dez-18jan	34,8	18jan-09mar	31,7
11nov-30nov	0,0	30nov-06jan	13,4	06jan-27jan	38,3	27jan-22mar	32,9
21nov-09dez	0,0	09dez-15jan	9,1	15jan-06fev	42,5	06fev-08abr	36,7
01dez-18dez	0,0	18dez-25jan	7,9	25jan-16fev	43,8	16fev-02mai	45,9
11dez-28dez	0,0	28dez-04fev	9,0	04fev-01mar	43,0	01mar-12jun	52,0
21dez-07jan	0,0	07jan-16fev	11,3	16fev-16mar	43,4	16mar-02ago	54,9

Tabela 16. Valores de deficiência hídrica diária média, corrigidos do coeficiente de cultura (em %), para cada estágio de desenvolvimento, em um plantio simulado do milho (CAD = 50 mm), a partir de várias épocas de plantio, para a localidade de Cambará-PR.

Estabelecimento		Per. Vegetativo		Floração		Form. Produção	
Período	D'	Período	D'	Período	D'	Período	D'
01ago-18set	71,1	18set-13nov	29,8	13nov-05dez	51,1	05dez-16jan	22,7
11ago-25set	70,0	25set-16nov	24,0	16nov-08dez	51,0	08dez-19jan	21,4
21ago-01out	56,3	01out-20nov	21,1	20nov-11dez	50,3	11dez-22jan	22,1
01set-07out	43,7	07out-24nov	20,7	24nov-15dez	47,1	15dez-26jan	22,9
11set-14out	35,0	14out-28nov	20,8	28nov-19dez	43,7	19dez-31jan	24,5
21set-21out	6,1	21out-03dez	21,7	03dez-23dez	39,1	23dez-05fev	23,5
01out-28out	0,0	28out-08dez	22,5	08dez-28dez	34,1	28dez-10fev	23,1
11out-04nov	0,0	04nov-14dez	21,6	14dez-03jan	31,2	03jan-17fev	23,6
21out-12nov	0,0	12nov-21dez	19,5	21dez-10jan	31,2	10jan-25fev	23,9
01nov-21nov	0,0	21nov-28dez	14,7	28dez-17jan	34,9	17jan-08mar	24,5
11nov-30nov	0,0	30nov-06jan	7,9	06jan-26jan	40,4	26jan-22mar	26,5
21nov-09dez	0,0	09dez-14jan	3,5	14jan-05fev	39,8	05fev-07abr	31,9
01dez-18dez	0,0	18dez-24jan	5,3	24jan-16fev	34,4	16fev-30abr	41,5
11dez-28dez	0,0	28dez-03fev	8,9	03fev-28fev	31,1	28fev-09jun	44,3
21dez-07jan	0,0	07jan-15fev	8,2	15fev-15mar	39,9	15mar-18jul	43,3

Tabela 17. Valores de deficiência hídrica diária média, corrigidos do coeficiente de cultura (em %), para cada estágio de desenvolvimento, em um plantio simulado do milho (CAD = 50 mm), a partir de várias épocas de plantio, para a localidade de Londrina-PR.

ÉPOCA DE PLANTIO	FLORAÇÃO			FORMAÇÃO DA PRODUÇÃO		
	1-ETR/ET _m	1-Y _a /Y _m	Y _a /Y _m	1-ETR/ET _m	1-Y _a /Y _m	Y _a /Y _m
C A M B A R Á - P R						
01-10 ago	52,7	79,1	20,9	27,8	13,9	86,1
11-20 ago	51,9	77,9	22,1	27,1	13,6	86,4
21-30 ago	55,1	82,7	17,3	27,0	13,5	86,5
01-10 set	49,0	73,5	26,5	27,0	13,5	86,5
11-20 set	45,9	68,9	31,1	27,3	13,7	86,3
21-30 set	44,1	66,2	33,8	27,5	13,8	86,2
01-10 out	43,2	64,8	35,2	27,8	13,9	86,1
11-20 out	41,2	61,8	38,2	28,4	14,2	85,8
21-31 out	37,6	56,4	43,6	30,2	15,1	84,9
01-10 nov	34,8	52,2	47,8	31,7	15,9	84,1
11-20 nov	38,3	57,5	42,5	32,9	16,5	83,5
21-30 nov	42,5	63,8	36,2	36,7	18,4	81,6
01-10 dez	43,8	65,7	34,3	45,9	23,0	77,0
11-20 dez	43,0	64,5	35,5	52,0	26,0	74,0
21-31 dez	43,4	65,1	34,9	54,9	27,5	72,5
L O N D R I N A - P R						
01-10 ago	51,1	76,7	23,3	22,7	11,4	88,6
11-20 ago	51,0	76,5	23,5	21,4	10,7	89,3
21-30 ago	50,3	75,5	24,5	22,2	11,1	88,9
01-10 set	47,1	70,7	29,3	22,9	11,5	88,5
11-20 set	43,7	65,6	34,4	24,5	12,3	87,7
21-30 set	39,1	58,7	41,3	23,5	11,8	88,2
01-10 out	34,1	51,2	48,8	23,1	11,6	88,4
11-20 out	31,2	46,8	53,2	23,6	11,8	88,2
21-31 out	31,2	46,8	53,2	23,9	12,0	88,0
01-10 nov	34,9	52,4	47,6	24,5	12,3	87,7
11-20 nov	40,4	60,6	39,4	26,5	13,3	86,7
21-30 nov	39,8	59,7	40,3	31,9	16,0	84,0
01-10 dez	34,4	51,6	48,4	41,5	20,8	79,2
11-20 dez	31,1	46,7	53,3	44,3	22,2	77,8
21-31 dez	39,9	59,9	40,1	43,3	21,7	78,3

Tabela 18. Ocorrência de deficiência hídrica no solo (ao nível de 80% de probabilidade) durante os estádios de floração e formação do grãos e seus efeitos sobre a produção potencial, relativa à cultura de milho (CAD = 50 mm), a partir da época de plantio, nas localidades de Cambará-PR e Londrina-PR, para os casos de plantios não irrigados (de acordo com o método de DOORENBOS & KASSAN, 1979).

Plantio	Estabel.	Per.Veg.	Floração	Form.Prod.	Total
01 ago	75,6	204,4	124,2	187,2	591,4
11 ago	72,3	178,3	117,8	183,3	551,8
21 ago	67,7	175,7	116,9	192,7	553,0
01 set	65,4	170,4	115,6	188,9	540,2
11 set	62,9	165,4	108,7	189,6	526,7
21 set	60,4	156,2	108,1	193,8	518,6
01 out	58,0	150,2	108,1	197,6	513,8
11 out	52,6	146,6	108,7	201,0	508,9
21 out	50,2	141,4	110,2	203,4	505,1
01 nov	47,9	136,0	116,9	215,1	515,9
11 nov	45,6	131,4	117,7	225,1	519,9
21 nov	42,1	132,5	121,3	241,3	537,2
01 dez	38,6	137,3	118,3	271,7	565,9
11 dez	38,6	137,8	130,9	301,7	609,1
21 dez	39,2	143,1	139,8	343,4	665,5

Tabela 19. Valores da demanda evaporativa (ET_m) para plantios simulados de milho, a partir das épocas de plantio, considerando-se cada estágio de desenvolvimento e a demanda total, para a localidade de Cambará-PR.

Plantio	Estabel.	Per.Veg.	Floração	Form.Prod.	Total
01 ago	71,6	183,1	126,5	194,5	575,7
11 ago	69,7	175,6	126,1	194,8	566,2
21 ago	66,6	174,4	120,1	195,1	556,2
01 set	64,0	169,7	119,5	195,4	548,6
11 set	61,6	161,7	118,9	200,4	542,6
21 set	59,3	157,1	113,2	183,1	512,6
01 out	56,9	152,4	117,5	203,5	530,2
11 out	51,8	149,8	113,5	206,8	522,0
21 out	50,0	145,5	114,2	209,5	519,2
01 nov	48,4	137,4	115,0	221,9	522,7
11 nov	46,1	137,0	115,4	235,5	534,1
21 nov	43,3	133,9	125,0	248,0	550,2
01 dez	40,4	138,2	127,4	272,9	579,0
11 dez	40,4	138,4	135,7	305,0	619,5
21 dez	40,8	143,8	143,6	319,5	647,7

Tabela 20. Valores da demanda evaporativa (ET_m) para plantios simulados de milho, a partir das épocas de plantio, considerando-se cada estágio de desenvolvimento e a demanda total, para a localidade de Londrina-PR.

Fase	Estabel.		P. Veget.		Floração		Form. Prod.	
	D mm	Q m ³ /ha	D mm	Q m ³ /ha	D mm	Q m ³ /ha	D mm	Q m ³ /ha
decêndios								
jan 01-10	0,0	0,0	0,2	2,2	18,1	180,7	9,1	91,5
jan 11-20	0,0	0,0	0,8	7,5	18,6	186,0	9,7	96,8
jan 21-31	0,0	0,0	7,9	79,0	27,5	275,3	17,7	177,2
fev 01-10	0,0	0,0	4,7	47,5	21,6	215,8	13,2	131,7
fev 11-20	0,0	0,0	4,4	44,1	21,2	212,4	12,8	128,3
fev 21-28	0,0	0,0	4,5	45,1	18,0	179,8	11,3	112,5
mar 01-10	0,0	0,0	3,9	38,5	19,3	192,7	11,6	115,6
mar 11-20	0,0	0,0	5,7	57,2	21,1	211,4	13,4	134,3
mar 21-31	0,0	0,0	11,3	113,1	28,3	282,7	19,8	197,9
abr 01-10	0,0	0,0	8,8	88,4	21,2	212,3	15,0	150,4
abr 11-20	1,6	15,9	10,9	108,9	23,3	232,8	17,1	170,9
abr 21-30	7,7	76,7	17,0	169,6	29,4	293,5	23,2	231,6
mai 01-10	2,7	27,2	9,3	92,8	18,0	180,1	13,6	136,5
mai 11-20	3,2	32,3	9,8	97,9	18,5	185,2	14,2	141,6
mai 20-31	0,7	6,7	7,9	78,8	17,5	174,9	12,7	126,9
jun 01-10	0,1	1,3	5,5	54,9	12,6	126,4	9,1	90,7
jun 11-20	0,0	0,0	3,0	30,4	10,2	101,8	6,6	66,1
jun 21-30	0,0	0,0	3,7	36,7	10,8	108,1	7,2	72,5
jul 01-10	0,0	0,0	5,8	57,7	13,8	137,5	9,8	97,6
jul 11-20	2,3	22,8	8,3	82,7	16,3	162,5	12,3	122,6
jul 21-31	5,4	54,5	12,0	120,3	20,8	208,1	16,4	164,2
ago 01-10	7,4	74,3	15,5	155,1	26,3	262,7	20,9	208,9
ago 11-20	10,1	100,5	18,1	181,3	28,9	288,9	23,5	235,1
ago 21-31	13,3	132,9	22,2	221,8	34,0	340,2	28,1	281,0
set 01-10	15,0	149,8	25,1	251,3	38,7	386,7	31,9	319,1
set 11-20	16,9	169,3	27,1	270,9	40,6	406,3	33,9	338,6
set 21-30	9,1	91,1	19,3	192,6	32,8	328,0	26,0	260,4
out 01-10	4,9	48,7	17,3	173,0	33,9	338,7	25,6	255,8
out 11-20	0,0	0,0	12,3	122,8	28,8	288,4	20,6	205,6
out 21-31	0,0	0,0	10,0	99,5	28,2	281,8	19,1	190,7
nov 01-10	0,0	0,0	9,1	91,2	27,3	273,4	18,2	182,3
nov 11-20	0,0	0,0	9,5	95,4	27,8	277,6	18,6	186,5
nov 21-30	0,0	0,0	13,6	135,8	31,8	318,0	22,7	226,9
dez 01-10	0,0	0,0	5,9	58,7	23,0	230,4	14,5	144,6
dez 11-20	0,0	0,0	5,8	57,7	23,0	229,5	14,4	143,6
dez 21-31	0,0	0,0	4,4	44,3	23,3	233,2	13,9	138,8

Tabela 21. Deficiências hídricas no solo (ocorrências ao nível de 80% de probabilidade), em milímetros, e lâminas suplementares correspondentes, em m³/ha de área cultivada, da cultura de milho (CAD = 50 mm), para cada um dos decêndios do ano, com valor variável do coeficiente de cultura, para a localidade de Cambará-PR.

Fase	Estabel.		P. Veget.		Floração		Form. prod.	
	D mm	Q m ³ /ha	D mm	Q m ³ /ha	D mm	Q m ³ /ha	D mm	Q m ³ /ha
decêndios								
jan 01-10	0,0	0,0	0,2	2,2	18,1	180,7	9,1	91,5
jan 11-20	0,0	0,0	0,8	7,5	18,6	186,0	9,7	96,8
jan 21-31	0,0	0,0	7,9	79,0	27,5	275,3	17,7	177,2
fev 01-10	0,0	0,0	4,7	47,5	21,6	215,8	13,2	131,7
fev 11-20	0,0	0,0	4,4	44,1	21,2	212,4	12,8	128,3
fev 21-28	0,0	0,0	4,5	45,1	18,0	179,8	11,3	112,5
mar 01-10	0,0	0,0	3,9	38,5	19,3	192,7	11,6	115,6
mar 11-20	0,0	0,0	5,7	57,2	21,1	211,4	13,4	134,3
mar 21-31	0,0	0,0	11,3	113,1	28,3	282,7	19,8	197,9
abr 01-10	0,0	0,0	8,8	88,4	21,2	212,3	15,0	150,4
abr 11-20	1,6	15,9	10,9	108,9	23,3	232,8	17,1	170,9
abr 21-30	7,7	76,7	17,0	169,6	29,4	293,5	23,2	231,6
mai 01-10	2,7	27,2	9,3	92,8	18,0	180,1	13,6	136,5
mai 11-20	3,2	32,3	9,8	97,9	18,5	185,2	14,2	141,6
mai 20-31	0,7	6,7	7,9	78,8	17,5	174,9	12,7	126,9
jun 01-10	0,1	1,3	5,5	54,9	12,6	126,4	9,1	90,7
jun 11-20	0,0	0,0	3,0	30,4	10,2	101,8	6,6	66,1
jun 21-30	0,0	0,0	3,7	36,7	10,8	108,1	7,2	72,5
jul 01-10	0,0	0,0	5,8	57,7	13,8	137,5	9,8	97,6
jul 11-20	2,3	22,8	8,3	82,7	16,3	162,5	12,3	122,6
jul 21-31	5,4	54,5	12,0	120,3	20,8	208,1	16,4	164,2
ago 01-10	7,4	74,3	15,5	155,1	26,3	262,7	20,9	208,9
ago 11-20	10,1	100,5	18,1	181,3	28,9	288,9	23,5	235,1
ago 21-31	13,3	132,9	22,2	221,8	34,0	340,2	28,1	281,0
set 01-10	15,0	149,8	25,1	251,3	38,7	386,7	31,9	319,1
set 11-20	16,9	169,3	27,1	270,9	40,6	406,3	33,9	338,6
set 21-30	9,1	91,1	19,3	192,6	32,8	328,0	26,0	260,4
out 01-10	4,9	48,7	17,3	173,0	33,9	338,7	25,6	255,8
out 11-20	0,0	0,0	12,3	122,8	28,8	288,4	20,6	205,6
out 21-31	0,0	0,0	10,0	99,5	28,2	281,8	19,1	190,7
nov 01-10	0,0	0,0	9,1	91,2	27,3	273,4	18,2	182,3
nov 11-20	0,0	0,0	9,5	95,4	27,8	277,6	18,6	186,5
nov 21-30	0,0	0,0	13,6	135,8	31,8	318,0	22,7	226,9
dez 01-10	0,0	0,0	5,9	58,7	23,0	230,4	14,5	144,6
dez 11-20	0,0	0,0	5,8	57,7	23,0	229,5	14,4	143,6
dez 21-31	0,0	0,0	4,4	44,3	23,3	233,2	13,9	138,8

Tabela 22. Deficiências hídricas no solo (ocorrências ao nível de 80% de probabilidade), em milímetros, e lâminas suplementares correspondentes, em m³/ha de área cultivada, da cultura de milho (CAD = 50 mm), para cada um dos decêndios do ano, com valor variável do coeficiente de cultura, para a localidade de Londrina-PR.

Época de plantio	Estabel.		Per.Veget.		Floração		Form. Prod.		Total	
	mm	m ³ /ha	mm	m ³ /ha	mm	m ³ /ha	mm	m ³ /ha	mm	m ³ /ha
01 ago	61,8	618,4	86,7	866,7	65,5	654,5	52,0	520,4	266,0	2660,0
11 ago	60,7	606,6	66,7	666,9	61,2	611,6	49,7	496,7	238,2	2381,8
21 ago	55,3	553,1	58,7	586,8	64,4	644,0	52,0	520,3	230,4	2304,2
01 set	45,7	456,8	53,5	535,1	56,6	566,2	51,0	510,0	206,8	2068,1
11 set	32,8	327,7	50,6	506,2	49,9	499,0	51,8	517,6	185,1	1850,6
21 set	15,0	150,4	43,9	439,0	47,7	476,8	53,3	533,0	159,9	1599,2
01 out	4,9	48,7	40,4	403,9	46,7	467,1	54,9	549,3	146,9	1469,0
11 out	0,0	0,0	37,5	375,2	44,8	447,9	57,1	570,8	139,4	1394,0
21 out	0,0	0,0	33,9	339,3	41,4	414,2	61,4	614,3	136,8	1367,7
01 nov	0,0	0,0	28,6	285,6	29,0	289,9	68,2	681,9	125,7	1257,3
11 nov	0,0	0,0	17,6	176,1	45,1	450,9	74,1	740,6	136,8	1367,6
21 nov	0,0	0,0	12,1	120,6	51,6	515,6	88,6	885,6	152,2	1521,7
01 dez	0,0	0,0	10,8	108,5	51,8	518,2	124,7	1247,1	187,4	1873,8
11 dez	0,0	0,0	12,4	124,1	56,3	563,0	156,9	1568,8	225,6	2255,9
21 dez	0,0	0,0	16,2	161,7	60,7	606,7	188,5	1885,3	265,4	2653,7

Tabela 23. Deficiências hídricas no solo (nível de 80% de probabilidade, em mm, e lâminas suplementares correspondentes, em m³/ha de área cultivada, em um plantio simulado para o milho (CAD = 50 mm), considerando-se o valor variável de k_c, em Camará-PR.

Época de plantio	Estabel.		Per.Veget.		Floração		Form. Prod.		Total	
	mm	m ³ /ha	mm	m ³ /ha	mm	m ³ /ha	mm	m ³ /ha	mm	m ³ /ha
01 ago	50,9	508,7	54,6	545,7	64,6	646,3	44,2	441,5	214,2	2142,2
11 ago	48,8	487,9	42,1	421,4	64,3	643,2	41,7	416,9	196,9	1969,4
21 ago	37,5	375,0	36,8	368,0	60,4	604,2	43,1	431,2	177,8	1778,3
01 set	28,0	279,7	35,1	351,2	56,3	562,9	44,7	447,5	164,1	1641,3
11 set	21,6	215,6	33,6	336,3	52,0	519,7	49,1	491,0	156,3	1562,6
21 set	3,6	36,1	34,1	341,0	44,2	442,5	43,0	430,3	125,0	1249,8
01 out	0,0	0,0	34,3	342,9	40,1	400,6	47,0	470,1	121,4	1213,6
11 out	0,0	0,0	32,4	323,7	35,4	354,2	48,8	488,0	116,6	1165,9
21 out	0,0	0,0	28,4	283,8	35,6	356,4	50,1	500,7	114,1	1140,9
01 nov	0,0	0,0	20,2	202,0	40,1	401,2	54,4	543,7	114,7	1146,9
11 nov	0,0	0,0	10,8	108,3	46,6	466,4	62,4	624,1	119,9	1198,7
21 nov	0,0	0,0	4,7	46,9	49,8	497,7	79,1	791,1	133,6	1335,7
01 dez	0,0	0,0	7,3	73,3	50,2	502,1	113,3	1132,5	170,8	1707,9
11 dez	0,0	0,0	12,3	123,2	42,2	422,1	135,1	1351,2	189,6	1896,4
21 dez	0,0	0,0	11,8	117,9	57,3	573,1	138,3	1383,4	207,5	2074,5

Tabela 24. Deficiências hídricas no solo (nível de 80% de probabilidade, em mm, e lâminas suplementares correspondentes, em m³/ha de área cultivada, em um plantio simulado para o milho (CAD = 50 mm), considerando-se o valor variável de k_c, em Londrina-PR.

5. DISCUSSÃO

Os valores médios por decêndio de precipitação (tabelas 3 e 4 da página 26) mostram duas épocas bem definidas nas duas localidades estudadas. Em Cambará-PR, infere-se que há uma época com valores de precipitação menores que 30 mm por decêndio, entre o segundo decêndio de abril e o terceiro decêndio de setembro. Em Londrina-PR, esta época vai do segundo decêndio de abril ao primeiro decêndio de setembro. Isto representa, como veremos posteriormente, uma época de valores elevados de deficiência hídrica, inviabilizando o plantio, e mais ainda, a floração, neste período. É obvio que não apenas a precipitação irá condicionar a época de plantio, mas será fator altamente determinante e, por outro lado, as limitações de temperatura serão, nesta época, essencialmente junho e julho, as características mais determinantes da inviabilização da cultura de milho.

Aqui, devemos realçar a idéia de que a utilização do uso de valores médios de precipitação em programas de previsão com fins agrícolas (ou de qualquer outra natureza) não é a melhor escolha, tendo em mente que a distribuição de frequências de precipitação apresenta simetrias, conforme demonstraram CASTRO *et alii* (1981).

A priori, teremos que as épocas de agosto a dezembro serão as mais cotadas para as duas localidades, para o plantio do milho. Com o decorrer desta discussão, veremos que elas serão restringidas, tendo como fator determinante, as deficiências hídricas.

O princípio básico é estabelecer uma época de

plântio, com o propósito de que haja a ocorrência dos menores valores possíveis de deficiência hídrica nas épocas de floração, que é a mais sensível aos efeitos destas deficiências.

Isto posto, devemos conseguir os valores destas deficiências hídricas, que são contabilizações entre a precipitação e a demanda evaporativa.

Uma primeira avaliação da demanda evaporativa é a estimativa da evapotranspiração de referência. As tabelas 5 e 6, na página 37, mostram estas estimativas para as duas localidades em estudo e corroboram a idéia, já mencionada, de que a demanda evaporativa, apresenta variabilidades temporais bem menos acentuadas do que as da precipitação. Mas também, devemos observar que as maiores demandas evaporativas serão justamente aquelas das épocas mais chuvosas, quando será efetuado o plântio da cultura de milho.

Os valores das classes de deficiências hídricas versus períodos de retorno (figuras 3 a 8, páginas 38 a 43) apresentam, invariavelmente, um comportamento em forma de potência. Essas curvas ajustadas forneceram os valores dos coeficientes das equações de regressão (tabela 7, página 44). É lógico concluir que a confiabilidades destes coeficientes estará relacionada à confiabilidade do ajuste.

Os melhores ajustes para as curvas de deficiência hídrica versus período de retorno de Cambará-PR, são aqueles para os primeiros decêndios de fevereiro, abril, junho, outubro e dezembro e para o segundo decêndio de fevereiro, o que demonstra, em parte, que os decêndios citados apresentam, historicamente, um comportamento mais previsível.

Em Londrina-PR, os melhores ajustes das curvas de deficiência hídrica versus período de retorno são aqueles dos primeiros decêndios de julho, agosto e setembro e para os terceiros decêndios de janeiro e outubro. Uma análise ligeira mostra que as curvas de deficiência hídrica versus período de retorno de Londrina-PR apresentam variações li-

geiramente maiores que as de Cambará-PR, confirmando a idéia de um comportamento menos previsível, dificultando as avaliações posteriores dos resultados do modelo aplicado.

As magnitudes dos períodos de retorno mostram que em Cambará-PR e em Londrina-PR, o segundo decêndio de setembro apresenta o maior valor de deficiência hídrica esperada ao nível de 80% de probabilidade. As menores magnitudes ocorrem, em Cambará-PR, no primeiro decêndio de janeiro e, em Londrina-PR, no primeiro decêndio de fevereiro.

Um outro fator determinante da evolução de uma cultura é a disponibilidade energética do ambiente no qual ela se desenvolve. Esta disponibilidade pode ser representada de várias maneiras. A mais usual é a somatória dos graus-dias, que pode ser feito a partir de vários métodos.

Observando os valores apresentados nas tabelas 8 e 9, na página 45, vemos que em Cambará-PR e em Londrina-PR, os meses de maior disponibilidade energética são os meses de outubro a fevereiro. Os valores máximos ocorrem no terceiro decêndio de dezembro e os menores no segundo decêndio de junho, para ambas as localidades.

Os valores apresentados dos graus-dias corrigidos reforçam a idéia de que a fase de maior disponibilidade de energia coincide com a época de maior disponibilidade hídrica (precipitação), nas localidades estudadas, reforçando a idéia de serem estas as épocas mais prováveis de plantio.

Esta disponibilidade térmica irá determinar a duração do ciclo vegetativo da cultura, conforme demonstram as tabelas 10 e 11, na página 46. Por estas tabelas é fácil perceber que os períodos de maior disponibilidade energética determinarão os menores ciclos vegetativos, ou seja, a cultura ficará um menor intervalo de tempo no campo. Para as duas localidades em estudo, os plantios de milho efetuados entre o segundo decêndio de setembro e o terceiro decêndio de novembro, terão ciclos vegetativos de duração inferior a 140 dias. Note-se que, à medida que as épocas de

plântio se estendam além do terceiro decêndio de novembro, a duração do ciclo vegetativo começa a se estender, chegando a mais de sete meses no terceiro decêndio de dezembro.

Ora, um outro fator a determinar a época de plântio, deve ser a duração de seu ciclo vegetativo: quanto menor a duração deste ciclo, tanto maior será o tempo disponível para uma outra cultura; quanto maior este ciclo, menor será o tempo disponível para outra cultura e mais sujeita às injúrias do ambiente estará esta cultura. Do ponto de vista econômico, quanto menor o ciclo, mais rápido será o retorno do capital investido. Isto posto, as épocas supra citadas, já determinam épocas mais favoráveis ao plântio do milho nas localidades de Cambará-PR e Londrina-PR. Estas informações podem ser facilmente corroboradas por qualquer agricultor da região em estudo.

O fator que determina, em maior grau, a época de plântio é a magnitude da deficiência hídrica que ocorrerá nos estádios de desenvolvimento da cultura, mais especificamente na floração. Para tanto, existe sempre a possibilidade de se trabalhar com um determinado nível de risco, que será o complemento do nível de probabilidade selecionado.

Analisando-se as tabelas 12 (Cambará-PR), na página 47, e 13 (Londrina-PR), na página 48, observamos que ao nível de probabilidade de 40% (risco de 60%), os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e junho, apresentam deficiências esperadas menores que 2,2 mm. De modo geral, considerando-se os níveis de probabilidade de ocorrência de 50, 60, 70 e 80%, este padrão se repete, com os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e junho apresentando as menores deficiências hídricas esperadas. Atendendo-nos apenas aos valores de deficiência hídrica esperada ao nível de 80% de probabilidade, verificamos que os menores valores ocorrem nos primeiro e segundo decêndios de janeiro, no terceiro decêndio de junho e no primeiro decêndio de julho, em Cambará-PR, e no terceiro decêndio de feverei-

ro, terceiro decêndio de maio, terceiro decêndio de junho e nos primeiro e segundo decêndio de julho, em Londrina-PR. Face a esta análise, deveríamos, a priori, estabelecer, em Cambará-PR, uma época de plantio tal que a floração ocorresse nos primeiro e segundo decêndios de janeiro; em Londrina-PR, nos três decêndios de fevereiro. Desprezamos os valores de maio, junho e julho, face à baixa disponibilidade energética dessas épocas, que estendem demasiado o ciclo vegetativo total.

Esta análise, até o presente momento, vem considerando que o coeficiente de cultura apresenta valor unitário. Estabelecida a margem de risco (20%), ou seja, a ocorrência dos valores de deficiência hídrica ao nível de 80% de probabilidade, podemos reestruturar nossos cálculos corrigindo estes valores de deficiência hídrica em função do coeficiente de cultura, conforme está apresentado nas tabelas 14, na página 49, e 15, na página 50. Estas tabelas demonstram, em ambos os casos, que as melhores épocas de plantio são os meses de outubro a março, pois apresentam um valor nulo de deficiência hídrica na fase de emergência, suposto um coeficiente de cultura igual a 0,5. Esta é uma condição desejável, pois representa, nesta época, um solo bem úmido, propício a receber as sementes.

Estes valores, corrigidos de acordo com cada fase de desenvolvimento, serão os utilizados para a execução dos plantios simulados, conforme mostram as tabelas 16 e 17, na página 51.

Na tabela 16, para Cambará-PR, podemos observar que os plantios efetuados a partir do segundo decêndio de outubro, não sofrem deficiência hídrica em sua fase de estabelecimento. Durante o período vegetativo as menores deficiências hídricas ocorrem nos plantios efetuados a partir do terceiro decêndio de novembro. No estágio da floração, a menor deficiência hídrica (34,8%) ocorrerá para os plantios efetuados no primeiro decêndio de novembro, seguido do va-

lor de 37,6%, para os plantios efetuados no terceiro decênio de outubro. Na fase de formação da produção, as deficiências hídricas para estas duas últimas épocas de plantio são praticamente idênticas: 31,7% e 30,2%, respectivamente.

Considerando-se os argumentos supra-expostos, é óbvio concluir que as melhores épocas de plantio do milho em Cambará-PR, são o primeiro decênio de novembro e o terceiro decênio de outubro, ambos com 128 dias de duração do ciclo vegetativo total e são, inclusive, onde ocorrem os menores efeitos sobre a perda de produção, considerando-se apenas a floração (vide tabela 18, página 52).

A tabela 17, para Londrina-PR, mostra que os plantios efetuados a partir do primeiro decênio de outubro, não sofrem deficiências hídricas na fase de estabelecimento. As menores deficiências hídricas do período vegetativo ocorrem a partir do segundo decênio de novembro. O período de floração apresenta as menores deficiências hídricas no segundo decênio de outubro (31,2%), terceiro decênio de outubro (31,2%) e segundo decênio de dezembro (31,1%). Na fase de formação da produção as deficiências hídricas são: para o segundo decênio de outubro, 23,6%; para o terceiro decênio de outubro, 23,9% e para o segundo decênio de dezembro, 44,3%.

Face ao exposto acima, considerando-se que para as tres épocas determinadas, a deficiência hídrica é praticamente a mesma, poderíamos adotá-las, indiferentemente, como as melhores épocas de plantio. Os inconvenientes com o plantio no segundo decênio de dezembro é que ele irá apresentar, na fase seguinte (formação da produção), um valor de deficiência hídrica praticamente dobrado, em relação às outras duas épocas (segundo e terceiro decênios de outubro), gerando uma queda maior de produção (22,2%), o que, provavelmente, apresente incertezas devido aos problemas no cálculo de duração do ciclo.

Disto podemos concluir que as melhores épocas de

plantio do milho, para Londrina-PR, são o segundo e o terceiro decêndio de outubro com deficiência hídrica, na floração, de 31,2% para ambas as épocas, e na formação da produção, 23,6% para o segundo decêndio de outubro e 23,9% para o terceiro decêndio de outubro, com duração do ciclo vegetativo total de 130 e 127 dias, respectivamente.

Seguindo o critério da queda de produção a partir dos valores de deficiência hídrica, a melhor época de plantio do milho em Cambará-PR, é o primeiro decêndio de novembro onde, na floração, teremos a máxima queda de produção, 52,2% da produção potencial, correspondente à deficiência máxima menor ou igual a 80%. A pior época de plantio é o terceiro decêndio de agosto, com queda de produção de 82,7% da produção potencial, conforme tabela 18, na página 52.

Em relação ao estágio de formação da produção, a melhor época de plantio seria o mês de dezembro, com quedas de produção ao redor de 25% do valor potencial. Mais uma vez, devemos salientar que, estas épocas devem ser descartadas em função da extensão muito longa do ciclo vegetativo total. Por outro lado, será o estágio de floração o que terá o maior grau de determinação da queda de produção a partir das deficiências hídricas, conforme salientam DOORENBOS & KASSAN (1979).

Seguindo ainda este critério, as melhores épocas de plantio para Londrina-PR são o segundo e o terceiro decêndios de outubro apresentando, na floração, 46,8% de queda da produção, para ambas as épocas, e na formação da produção, queda em torno de 12%. A pior época de plantio do milho, em Londrina-PR, é o mês de agosto com queda de produção, em relação à potencial, no estágio de floração, perto de 80% e durante a formação da produção, perto de 14%.

Supondo-se a viabilidade econômica de uma irrigação, poderemos eliminar as deficiências hídricas do solo, aplicando-se lâminas d'água da mesma magnitude dessas deficiências fazendo com que haja um aumento de produção dire-

tamente proporcional aos decréscimos causados por estas deficiências. Esta irrigação complementa a precipitação, no caso, insuficiente, atendendo a demanda hídrica da cultura estabelecida.

Para tanto, faz-se necessário, em primeira instância, a avaliação da demanda evaporativa de cada estágio de desenvolvimento e do ciclo vegetativo total da cultura em estudo.

Observando-se as tabelas 19 e 20, na página 53, vemos que o milho tem uma demanda evaporativa oscilando em torno de 500 a 650 mm por ciclo vegetativo. Da tabela 19 (Cambará-PR), podemos verificar que as menores demandas evaporativas ocorrem no final do mês de outubro e início do mês de novembro, épocas estas que já reputamos serem as mais adequadas para o plantio do milho, neste local, onde os ciclos vegetativos têm as menores durações (cerca de 130 dias).

Da tabela 20 (Londrina-PR), verificamos que as menores demandas evaporativas totais ocorrem nos plantios do final de setembro e no mês de outubro, épocas que, como já vimos, são as mais indicadas para o plantio do milho, neste local, com um ciclo vegetativo de duração aproximada de 130 dias. A maior demanda evaporativa ocorrerá, também, no plantio do terceiro decêndio de dezembro, onde a duração do ciclo vegetativo é a maior, com cerca de 210 dias (valor discutível).

As tabelas 21, página 54, e 22, página 55, mostram os valores das deficiências hídricas, corrigidas dos valores do coeficiente de cultura, para cada estágio de desenvolvimento, supondo-se que ele tenha ocorrido naquele decêndio. Por estas tabelas é fácil perceber que o estágio de maior demanda evaporativa é a floração, incontinenti.

Os diferentes valores das demandas hídricas das plantas, durante o seu crescimento, podem ser estimados considerando-se os coeficientes de cultura correspondentes.

A água necessária à irrigação suplementar será determinada pelo somatório das quantidades de água exigidas pela cultura, nas diferentes fases, considerados os níveis de risco.

O dimensionamento do sistema de irrigação é feito a partir das necessidades hídricas das plantas, com vista à correção da precipitação insuficiente no período.

Contudo, a irrigação suplementar deverá ser apenas um suporte para impedir um *stress* hídrico em dada fase crítica. Assim, o equipamento de irrigação deverá ser dimensionado para atender as demandas das fases mais críticas (floração e formação da produção).

Analisando-se a tabela 23 (Cambará-PR), na página 56, notamos que a menor lâmina suplementar total será aquela para os plantios efetuados no primeiro decêndio de novembro, que coincide com a melhor época de plantio pelos critérios da deficiência hídrica na floração. Para Londrina-PR (tabela 24, página 56), as menores lâminas totais ocorrem no terceiro decêndio de outubro e primeiro decêndio de novembro, coincidindo com a melhor época de plantio, pelo critério das deficiências hídricas na floração.

Em ambas as localidades, as maiores lâminas totais ocorrem nos plantios efetuados no terceiro decêndio de dezembro e primeiro decêndio de agosto, provavelmente em função do ciclo alongado, o que é uma falha do modelo.

Partindo-se do pressuposto de que com a irrigação poderemos plantar em qualquer uma das épocas estabelecidas, veremos que a adoção das épocas mais favoráveis ao plantio são, também, as épocas que apresentam maior economia de água. Por exemplo, em Cambará-PR, um plantio efetuado no último decêndio de outubro e nos dois primeiros decêndios de novembro, exigem cerca de metade da água de um plantio efetuado no terceiro decêndio de dezembro ou primeiro decêndio de agosto. A mesma relação vale para Londrina-PR.

Duas outras limitações características podem mudar este calendário: disponibilidade de recursos hídricos e

disponibilidade de recursos financeiros do produtor. Isto posto, o produtor poderá optar por uma irrigação suplementar mais abreviada. Assim sendo, ele deverá fazê-la durante os estádio da floração. Neste aspecto, a localidade de Cambará-PR apresenta, como mais econômico, o plantio efetuado no primeiro decêndio de novembro, exigindo apenas 290 m³/ha de irrigação suplementar. Para Londrina-PR, os plantios mais econômicos são os efetuados nos segundo e terceiro decêndios de outubro, exigindo cerca de 355 m³/ha de irrigação suplementar.

Nos projetos de irrigação, os custos devem ser computados a partir de um determinado período de retorno de um evento de deficiência hídrica. Os custos diminuem de modo inversamente proporcional ao período de retorno e, por outro lado, há um aumento do risco de subestimativa das necessidades hídricas das plantas.

Um aspecto muito importante, e que deve ser frisado, é a magnitude das deficiências hídricas. Via de regra, os resultados podem dar margens às interpretações equivocadas, configurando um região estudada, que poderia ser viável, como inadequada ou inviável, do ponto de vista agrícola.

A aplicação do modelo mostrou que os resultados obtidos se aproximam dos valores reais. Existem algumas pequenas diferenças, principalmente em Cambará-PR, onde a melhor época de plantio é, segundo o modelo, o primeiro decêndio de novembro, e não meados de outubro, como fazem os agricultores da região. Já no caso de Londrina-PR, o modelo concorda com as épocas que os agricultores adotam.

Para a avaliação destas discrepâncias, um primeiro fato a ser considerado é que, de modo geral, existe pouca informação básica sobre a fenologia do milho para os locais em estudo e a adoção dos parâmetros do modelo, a partir dos dados de DOORENBOS & KASSAN (1979) e de DOORENBOS & PRUITT (1975), não implicam que estes sejam, sequer, simi-

lares aos dos locais estudados.

A adoção de um valor constante para o coeficiente de cultura, durante a execução do balanço hídrico seriado, parece ser um fator limitante, mas por outro lado, isto exige uma carga computacional elevada e começa a elevar os custos de execução do estudo. Todavia, parece-nos que o artifício de correção, a posteriori, dos valores de deficiência hídrica, a partir do coeficiente de cultura, mostrou-se uma condição, senão ideal, pelo menos razoável.

Um outro aspecto a ser analisado, é que o modelo não prevê o desenvolvimento do sistema radicular do milho, o que poderia ser feito, normalmente, variando-se a CAD durante o desenvolvimento da cultura. Deste modo, a adoção de uma CAD constante apresentará ao modelo, valores subestimados de deficiência hídrica nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, mascarando os resultados finais.

Além desses dois fatores, um terceiro pode ser mencionado: a variação do albedo da cultura, primeiro em função de seu desenvolvimento e segundo em função de seu grau de deficiência hídrica. Estas pequenas variações irão se refletir nos valores da demanda evaporativa.

Mesmo face a todas as simplificações do modelo, acreditamos em sua validade como um primeiro parâmetro de avaliação das melhores épocas de plantio, das necessidades de irrigação suplementar e da avaliação das perdas de produção em função das deficiências hídricas.

6. CONCLUSÕES

Tendo como base as análises do balanço hídrico seriado e dos resultados decorrentes de sua aplicação, executados a partir dos dados climáticos das localidades de Cambará e Londrina, ambas na região Norte do Estado do Paraná, podemos estabelecer algumas conclusões a partir do estudo retro-executado.

Há a possibilidade de se avaliar, a partir dos valores de deficiências hídricas ocorridos a um nível de risco determinado, a melhor época de plantio do milho sob condições não irrigadas, a saber: primeiro decêndio de novembro e terceiro decêndio de outubro, em Cambará-PR; segundo e terceiro decêndio de outubro, em Londrina-PR.

Sob as mesmas condições, é possível estimativas da perda de produção, em relação ao valor potencial, considerando-se várias épocas de plantio e os recursos hídricos com vistas à irrigação suplementar consideradas diferentes épocas de plantio e diferentes níveis de risco. O modelo fornece, ainda, parâmetros iniciais para dimensionamento dos equipamentos de irrigação, para cada unidade de área plantada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, E.; HSIAO, T. C. & HENDERSON, D. W. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to exchanges in water status. *Plant Physiol.*, 48:631-636, 1971.
- ALDRICH, S. R.; SCOTT, W. O.; LENS, E. R. *Modern Crop Production*. 2 ed., Champaign, A & L Publication, 1975. 378p.
- ALFONSI, R. R.; CAMARGO, M. B. P. de; CHIAVEGATTO, O. M. D. P.; PEDRO JR., M. J.; ORTOLANI, A. A. & BRUNINI, O. Simulação de épocas de plantio baseadas no atendimento da demanda hídrica para culturas de soja, milho e arroz de sequeiro no estado de São Paulo. In: CONG. BRAS. METEOROLOGIA, 6., Maceió, 1989. *Anais*. Maceió, INPE/SBA/UFAL, 1989. p.34-38.
- AMIR, I.; ARNOL, J. B. & BILANSKI, W. K. A procedure for determining probability of dry and wet days. *Canadian Agricultural Engineering*, Ottawa, 19:2-5, 1977.
- ARRUDA, H. V. de & PINTO, H.S. A simplified Gamma probability model for analysis of the frequency distribution of rainfall in the region of Campinas, S.P., Brazil. *Agricultural Meteorology*, 22:101-108, 1980.
- AZZI, G. *Ecologia Agraria*. Barcelona, Salvat, 1959, 526 p.

- BARGER, G. L. & THOM, H. C. S. A method for characterizing drought intensity in IOWA. *Agron. J.*, 41:13-19, 1949.
- BEGG, J. E. & TURNER, N. C. Crop water deficits. *Advances in Agronomy*, 28:161-217, 1976.
- BEHNKE, J. J. & MAXEY, G. B. An empirical method for estimating monthly potential evapotranspiration in Nevada. *Journal of Hydrology*, 8:418-430, 1969.
- BERLATO, M. A. & MOLION, L. C. B. Evaporação e Evapotranspiração. *Boletim Técnico do IPAGRO*, 7:3-95, 1981.
- BLUMENSTOCK, G. JR. *Drought in the United States analysed by means of the theory of probability*. Washington, USDA, 1942. 63p., USDA Tech. Bull. n.819.
- BRAGA, H. Caracterização da seca agrônômica através de um novo modelo de balanço hídrico, na região de Laguna, litoral Sul de Santa Catarina. Piracicaba, 1982. 157 p. (Mestrado, ESALQ-USP).
- BREVEDAN, E. R. & HODGES, H. F. Effects of moisture deficits in ^{14}C translocation in corn (*Zea mays* L.). *Plant Physiol.* 52:436-439, 1973.
- BRIGGS, L. J. & SHANTZ, L. *The wilting coefficient for different plants and its determination*. Washington, USDA Bur. of Plant Industry, 1912. USDA Tech. Bull. n.230.
- 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 regime pluviométrico com as variações de produtividade agrícola. In: CFP. *Col. Análise e Pesquisa*. Brasília, CFP, 1982. p.21-46.

- BRUNT, D. Notes on the radiation in the atmosphere. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 58:389-418, 1932.
- BUISSHAND, T. A. *Stochastic modeling of daily rainfall sequences*. Veenman & Zonen, Wageningen, 1977, 211 p.
- CAMARGO, M. B. P. de; BRUNINI, O.; ANGELOCCI, L. R. & ORTOLANI, A. A. Melhores épocas de plantio para arroz de sequeiro, CV. IAC-1246, em função de índices biometeorológicos. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 19(10):1227-1233, 1984.
- CARAMORI, P. H. & FARIA, R. T. de. *Frequência de período de 10 dias consecutivos com deficiência hídrica (veranicos) para Londrina e Ponta Grossa*. Londrina, IAPAR, 1987. 24p. Bol. Técnico IAPAR, n.20.
- CASTRO, L. L. de F.; SEDIYAMA, G. C. & GUIDONI, A. L. *Probabilidade de precipitação mensal e anual para o Estado do Espírito Santo*. Cariacica-ES, EMCAPA, 1981. 84p. Boletim Técnico EMCAPA, n.7.
- CENTURION, J. F. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira. *Científica*, São Paulo, 10(1):57-61, 1982.
- CHANG, J. H. *Climate and Agriculture; an ecological survey*. Chicago, Aldine, 1968, 304 p.
- DECKER, W. L. The likelihood of extend dry periods in Northern Missouri. *Bull. Am. Met. Soc.*, 38(10):615-617, 1957.
- DEHEER-AMISSAH, A. N. A semi-empirical method for estimating latent heat flux from routine meteorological data. *Arch. Met. Geoph. Biocl.*, Ser. A, 33:187-197,

1984.

DENMEAD, O. T. & SHAW, R. H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. J.*, 45:385-390. 1962.

DOORENBOS, J. & KASSAN, A. H. *Yield response to water*. Roma, FAO, 1979. 193p. FAO Irrig. & Drainage Paper n.33.

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. *Crop water requirements*. Roma, FAO, 1977. 179p. FAO Irrig. & Drainage Paper n.24.

FEITOZA, L. R.; SCARDUA, J. A.; SEDIYAMA, G. C.; OLIVEIRA, L. M. & VALE, S. S. Estimativas das temperaturas médias mensais e anuais do Estado do Espírito Santo. *Centro Cien. Rur.*, Santa Maria - RS, 9(3):279-291, 1979.

FIAPAR (FUNDAÇÃO INST. AGRONÔMICO DO PARANÁ). *Cartas Climáticas do Estado do Paraná*. Londrina, FIAPAR, 1978. 41p.

GARDNER, W. R. Dynamic aspects of water availability to plants. *Soil Sci.*, 89:63-73, 1960.

GARDNER, W. R. Soil water movement and root adsorption. In: AMER. SOC. AGRON. & SOIL SCIENCE SOC. AMER. *Plant Environment and Efficient Water Use.*, 1965. p.127-149.

HAGAN, R.M.; PETERSON, M.L.; UPCHURCH, R.P. & JONES, L.G. Relationships of soil moisture stress to different aspects of growth of ladino clover. *Proceedings of the Soil Science Society of America*, 21:360-365, 1957.

HAGAN, R. M. & VAADIA, Y. Principles of irrigated crops. In: UNESCO. *Plant-Water relationships in arid and semi-arid conditions*. Washington, UNESCO, 1961. p.25-56.

- JENSEN, M. E. *Consumptive use of water and irrigation water requirements*. New York, ASCE, 1974, 215 p.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, M. E. & ALLEN, R. G. *Evapotranspiration and Irrigation water requirements*. New York, ASCE, 1990, 332 p.
- KESSLER, B. Nucleic acids as factor in drought resistance of plants. In: INTERNATIONAL BOTANICAL CONGRESS, 9., Wageningen, 1959. *Proceedings*. Wageningen, p.82-98.
- KOHLER, M. A.; NORDENSON, T. J. & FOX, W. E. *Evaporation from pans and lakes*. Washington, United States Weather Bureau, 1955. 21p., US Wea. Bur. Res. Paper n.38.
- KRAMER, P. J. Water stress and plant growth. *Agronomy Journal*, 5:31-35, 1963.
- LETEY, J. & PETERS, D. B. Influence of soil moisture levels and seasonal weather on efficiency of water use by corn. *Agron. Journal*, 49:362-365, 1957.
- MATA, J. G. da. Análise das disponibilidades hídricas das localidades de Barra de São Francisco, Boa Esperança e São Mateus, Região Norte do Estado do Espírito Santo. Piracicaba, 1991, 113 p. (Doutorado, ESALQ-USP).
- MATZENAUER, R. & SULITI, V. R. A água na cultura do milho. *IPAGRO Informa*, 26:17-32, 1983.
- McGUINNESS, J. L. & BORDNE, E. F. *A comparison of lysimeter-derived potential evapotranspiration with computed values*. Washington, USDA, 1972. 71p., USDA Tech. Bull. n.1452.

- MEDEIROS, S. L. D.; WESTPHALEN, S. L.; MATZENAUER, R. & BERGAMASCHI, H. Relações entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 26(1):1-10, 1991.
- MEDHI, J. A Markov chain model for the occurrences of dry and wet days. *Indian J. Met. Hydrol. Geophys.*, 27(4):431-435, 1976.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E. A. *Principles of plant nutrition*. Bern, IPI, 1982, 655 p.
- MOSS, D. N.; MUSGRAVE, R. B. & LEMON, E. R. Photosynthesis under field conditions. III. Some effects on light, carbon dioxide, temperature and soil moisture on photosynthesis, respiration and transpiration of corn. *Crop Science*, 1:83-87, 1961.
- MOTA, F. S. da & ROSKOFF, J. L. da C. *Estratégias e tecnologias para minimizar os efeitos das secas sobre a produção de alimentos no Sul do Brasil*. Pelotas, Ed. UFPEL, 1982. 27p. Boletim Técnico da Estação Agroclimática da UFPEL n.5.
- MOLION, L. C. B. & BENTACURT, J. J. V. O clima e o uso da terra nos trópicos úmidos. *Roessléria*, 3(2):165-87, 1980.
- MONTEITH, J. L. Evaporation and Environment. *Symp. Soc. Exptl. Biol.*, 19:205-234, 1965.
- MUKAMMAL, E. I. & BRUCE, J. P. Evaporation measurements by pan and atmometer. *Internat. Union of Geodesy and Geophys., Ass. of Scien. Hydrology*, 53:408-420, 1960.

- OLIVEIRA, D. Determinação das necessidades de irrigação para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.) no Estado do Paraná. Piracicaba, 1989, 137 p. (Mestrado, ESALQ/USP).
- OLIVIER, H. *Irrigation and Climate*. London, Edward Arnold Publisher Ltd., 1964, 250 p.
- PARMELE, L. H. & MCGUINNESS, J. L. Comparisons of measured and estimated daily potential evapotranspiration in a humid region. *J. Hydrol.*, 22:239-251, 1974.
- PARTENIANI, E. *Melhoramento e produção do milho no Brasil*. São Paulo, Fundação Cargill, 1978, 650p.
- PENMAN, H. L. The dependence of transpiration on weather and soil conditions. *J. Soil Sci.*, 1:74-89. 1949.
- PENMAN, H. L. Evaporation: an introductory survey. *Nether. J. of Agricultural Science*, Wageningen, 4:9-29, 1956.
- QUEIROZ, E.F. Um modelo de efeito de quantificação da oferta hídrica sobre a resposta da soja, *Glycine max.* (L.) Merrill. A época de plantio na Região Norte do Paraná. Piracicaba, 1988, 294 p. (Doutorado, ESALQ/USP).
- RAO, R. J. M. & BIAZI, E. Probability distribution models for daily rainfall data for an interior station of Brazil. *Arch. Met. Geoph. Biocl.*, Ser. B, 33:261-265, 1983.
- REICHARDT, K. *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera*. Terceira edição, São Paulo, Fundação Cargill, 1975, 288 p.
- REICHARDT, K. *A água nos sistemas agrícolas*. São Paulo,

Manole, 1987, 188 p.

RICHARDS, L. A. & WADLEIGH, C. H. Soil water and plant growth. In: Shaw B. T. ed. *Soil Physical Condition and Plant Growth*. New York, A. Press, 1952, p.73-251.

SCARDUA, J. A.; FEITOZA, L. R. & CASTRO, L. L. F. de. *Estimativas da evapotranspiração potencial para o Estado do Espírito Santo*. Cariacica-ES, EMCAPA, 1984. 42p. EMCAPA Bol. Pesquisa, n.6.

SCARDUA, R. Porosidade livre de água de dois solos do município de Piracicaba, SP. Piracicaba, 1972. 83 p. (Mestrado, ESALQ-USP).

SLATYER, R. O. Physiological significance of internal water relations to crop yield. In: *Physiological Aspects of Crop Yield*. Amer. Soc. Agronomy and Crop Science Soc. Amer., 1969. p.53-88.

STERN, R. D. & COE, R. The use of rainfall models in agricultural planning. *Agricultural Meteorology*, 26:35-50, 1982.

SUBBARAMAYYA, J. & RAO, N. J. M. The frequency distribution of rainfall of different intensities. *J. Meteorol. Soc. Japan*, Tokyo, 42:277-284, 1964.

TANNER, C. B. Measurement of Evapotranspiration. *Agronomy*, 11:534-74, 1967.

THOMPSON, N. A comparison of formulae for the calculation of water loss from vegetated surfaces. *Agricultural Meteorology*, 26:265-272, 1982.

- THORNTON, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geograph. Rev.*, 38:55-94, 1948.
- THORNTON, C. W. & MATHER, J. R. *The water budget and its use in irrigation*. In: Water U. S. Dep. Agr. Yearbook, p.346-357, 1955.
- TODOROVIC, P. & WOOLHISER, D. A. A stochastic model of n-day precipitation. *J. Appl. Meteorol.*, 14:17-24, 1975.
- TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F. J. L. *Meteorologia Descritiva, fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo, Livraria Nobel, 1980, 374 p.
- VAN BAVEL, C. H. M. A drought criterion and its application in evaluating drought incidence and hazard. *Agronomy Journal*, 45:167-172, 1952.
- VAN BAVEL, C. H. M. Potential evapotranspiration: The combination concept and its experimental verification. *Water Resour. Res.*, 2(3):455-468, 1966.
- VEIHMEYER, F. J. & HENDRICKSON, A. H. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. *Soil Science*, 68:75-95, 1949.
- VEIHMEYER, F. J. & HENDRICKSON, A. H. Does transpiration decrease as the soil moisture decreases? *Amer. Geophys. Union Trans.*, 36:425-448, 1955.
- VILLA NOVA, N. A. *Principais métodos climáticos de estimativa de água de irrigação*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1982. 20 p., apostila.
- VILLA NOVA, N. A. Estudos sobre o balanço de energia em

cultura de arroz. Piracicaba, 1983, 89 p. (Livre-Do-
cência. ESALQ-USP).

VILLA NOVA, N. A. *Estimativa dos graus-dias corrigidos*. Pi-
racicaba, ESALQ/USP, 1989. 23p., apostila.

VITUM, M. T.; ALDERFER, R. B.; JANES, B. E; REYNOLDS, C.
W. & STRUCHTEMEYER, R. A. *Crop response to irrigation in
the Northeast*. New York, N. Y. State Agricult.
Experiment Station, 1963. 35p., N. Y. State Agricult.
Exper. Stat. Bulletin, n.800.

WINTER, E. J. *A água, o solo e a planta*. São Paulo, EPU-
EDUSP, 1976, 170 p.

YAO, A. Y. M. Agricultural potential estimated from the
ratio of actual to potential evapotranspiration.
Agricultural Meteorology, 13:405-417, 1974.