

# ÉPOCAS DE PLANTIO DE MILHO EM FUNÇÃO DAS DEFICIÊNCIAS HÍDRICAS NO SOLO EM CAMBARÁ-PR<sup>1</sup>

JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI<sup>2</sup> e NILSON AUGUSTO VILLA NOVA<sup>3</sup>

**RESUMO** - O presente estudo teve como objetivo avaliar, a partir de um modelo climático de previsão das deficiências hídricas, o efeito quantitativo destas deficiências sobre a queda da produção e determinação das melhores épocas de plantio numa cultura de milho (*Zea mays* L.). Este modelo foi aplicado em Cambará (lat. 23°00'S, long. 50°02'WGr, altitude 450 m), 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, a 80% de probabilidade, e da somatória dos graus-dias acumulados, utilizando-se diferentes dados climáticos. Os resultados revelaram que o período correspondente aos primeiros dez dias de novembro representa a melhor época para o plantio de milho sob regime de sequeiro ou com irrigação suplementar. Nestas condições, agosto representou a pior época. As estimativas de necessidades totais de irrigação suplementar atingiram valores de 126 e 226 mm, respectivamente, no tocante ao milho plantado nos dez primeiros dias de novembro e de agosto.

Termos para indexação: *zea mays*, modelo climático, balanço hídrico, produção, evapotranspiração.

## CORN SOWING DATES AS A FUNCTION OF SOIL WATER DEFICITS AT CAMBARÁ-PR, BRAZIL

**ABSTRACT** - The aim of this study was to try the forecast of corn (*Zea mays* L.) sowing dates, the understanding of the quantitative effect of water deficits on that crop and crop yield decrease on a basis of a climatic model of water deficit forecast. This model was applied at Cambará (lat. 23°00'S, long. 50°02'WGr, altitude 450 m), PR, Brazil. The model estimates yield decrease, in relation to potential values, as a function of the sowing dates which determine flowering and grain filling dates, highly critical times in relation to water deficit. The estimates were done from expected values of water deficit, at the 80% probability level and accumulated degrees-days, using several climatological data. Results show that the first ten days of November are the best corn sowing date under dry or irrigated conditions. Under these same conditions, the worst time showed to be August. Estimates of total needs of supplementar irrigation get values of 126 e 226 mm, respectively to the corn sowed at the first ten days of November and August.

Index terms: *zea mays*, climatic model, crop field, water balance, evapotranspiration.

## INTRODUÇÃO

Uma questão básica da agricultura, dependente de chuvas, é estabelecer a maneira mais prática de evitar a falta d'água durante o desenvolvimento da

cultura, especificamente na floração e na formação da produção, que representam períodos críticos, com relação à água, para um grande número de culturas.

As condições do solo e do clima e a constituição genética das plantas são fundamentais para o seu crescimento e desenvolvimento. Ao passo que o manejo do solo e as práticas genéticas são, em graus variáveis, dominados pelo Homem, o clima não pode ser controlado — a não ser em escala reduzida, e só nesse caso lhe podem ser ajustadas as práticas agrícolas — .

Assim, torna-se importante a previsão dos

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 31 de janeiro de 1995.

<sup>2</sup> Eng. Cart., M.Sc., UNESP - Fac. de Ciências e Tecnol. (FCT), Caixa Postal 957, CEP 19060-900 Presidente Prudente, SP.

<sup>3</sup> Eng. Ag., D.Sc., Pesquisador do CNPq, USP - Esc. Sup. de Agric. Luiz de Queiróz (ESALQ), Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP.

rendimentos agrícolas em função das condições meteorológicas passadas, presentes e futuras.

Dentre as causas de perdas que a agricultura sofre, cerca de 50% são devidas à deficiência hídrica. Exemplos constantes são as perdas de safras de arroz de sequeiro no Brasil Central, a mortalidade de gado no Rio Grande do Sul e as secas do Nordeste.

Um planejamento do plantio que minimize o risco de ocorrência das deficiências hídricas na fase mais crítica da cultura deverá melhorar o rendimento agrícola, na maior parte dos anos.

Ao estabelecermos modelos de previsão, os dados de precipitação mostram ampla variabilidade espacial e temporal. Os de evapotranspiração potencial apresentam uma variabilidade temporal menos acentuada. Assim, a precipitação constitui um dos parâmetros de maior influência sobre a produção das culturas, estando estreitamente relacionada aos níveis de deficiência hídrica no solo.

A primeira idéia de controle das deficiências hídricas é a irrigação; mas esta, em geral, eleva os custos de produção em função da área utilizada e exige uma análise custo-benefício para viabilizá-la.

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

Uma abordagem que vem sendo adotada sistematicamente é a aplicação dos modelos probabilísticos das distribuições das deficiências hídricas (Doorenbos & Kassan, 1979) com vistas à previsão das épocas mais favoráveis ao plantio, reduzindo o risco da ocorrência de altas deficiências hídricas durante a floração.

No âmbito nacional, várias pesquisas utilizaram a modelagem da relação deficiência hídrica versus produção. Entre outros, podem ser citados os trabalhos de Brunini et al. (1982), Camargo et al. (1984), Oliveira (1989) e Mata (1991).

Na presente pesquisa, optou-se por estudar um modelo estocástico que definisse a perda de produção em relação à potencial, em função das deficiências hídricas na cultura de milho, em Cambará, PR, variando a época de plantio em períodos decendiais. Foram estimadas as necessidades de água para a irrigação, além das melhores épocas de plantio de milho.

O modelo em questão poderá ser utilizado como auxiliar dos modelos de previsão de safra e nas estimativas das necessidades de irrigação suplementar para o milho.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi efetuado utilizando-se dados de temperatura média mensal (t), total mensal do número de horas de brilho solar (n), umidade relativa média mensal (UR), médias mensais da velocidade do vento a dez metros de altura ( $u_{10}$ ) e os valores diários de precipitação (P) de Cambará (lat. 23°S, long. 50°02'WGr, alt. 450 m), de um período de 31 anos, entre janeiro/57 a dezembro/87.

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

A cultura selecionada foi o milho, que sob condições de agricultura de sequeiro nessa região é semeado nos meses de setembro, outubro ou novembro. A colheita realiza-se, em média, de 120 a 130 dias após o plantio, dependendo do híbrido ou variedade e das condições climáticas. É a cultura com maior área plantada no Estado do Paraná.

O balanço hídrico, modelo de Thornthwaite & Mather (1955), modificado por Braga (1982), exige precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ETP), que foi considerada igual à de referência (ET<sub>0</sub>), estabelecido que o coeficiente de cultura ( $k_c$ ) seria igual à unidade, o que na floração e enchimento dos grãos, em ambientes climáticos de menor demanda hídrica não foge muito à realidade (Doorenbos & Kassan, 1979).

A evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) foi estimada pelo modelo de Penman (1956):

$$ET_0 = w \frac{R^*}{59} + (1-w)E_a \quad (1)$$

onde  $R^*$  é o balanço de radiação ( $\text{cal.cm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ),  $E_a$  é o poder evaporante do ar ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ), e  $w$  é o fator de partição de energia (adimensional), conforme Doorenbos & Pruitt (1977).

A parametrização de  $R^*$  segue o modelo conjugado de Penman (1956) e Brunt (1932):

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

onde:  $r$  é o albedo da superfície evaporante, adotado como 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 *Angstrom*;  $\sigma$  é a constante de *Stefan-Boltzmann* ( $1,191 \cdot 10^{-7} \text{ cal.cm}^{-2}\text{dia}^{-1}\text{K}^{-4}$ ); 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):

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

onde  $u_2$  é a velocidade do vento, em  $m.s^{-1}$ , a 2 m 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 10 m de altura) para os valores a 2 m de altura ( $u_2$ ) seguiu o modelo logarítmico, apresentado por Tubelis & Nascimento (1980), conforme segue:

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

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

A metodologia referida para o balanço hídrico 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 (Braga, 1982). 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).

A profundidade efetiva média do sistema radicular do milho é de 50 cm e os solos do local deste estudo, tem valor médio da capacidade de água disponível (CAD) de 100 milímetros de água para cada metro de profundidade, determinando a CAD de 50 milímetros na profundidade de raízes (Tommaselli, 1992).

O valor-limite de armazenamento de água no solo (Doorenbos & Kassan, 1979) supõe uma demanda atmosférica média da estação de crescimento da cultura de metade da CAD, ou seja, 25 mm.

Os valores diários de deficiência hídrica foram calculados pelo modelo de Doorenbos & Kassan (1979):

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

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

Estes índices foram separados em classes de cerca de dez dias em cada mês, estabelecendo três decêndios por mês. O 1º decêndio variou do 1º ao 10º dia de cada mês, o 2º, do 11º ao 20º dia e o 3º variou do 21º ao último dia de cada mês. A seguir foi estabelecido o valor médio de cada decêndio e depois foram agrupados os índices calculados de cada decêndio do ano em classes de deficiências ( $\leq 0,1$ ;  $\leq 0,2$  ... até  $\leq 1,0$ ), estabelecendo-se a frequência de ocorrência das dez classes, que foram transformadas em períodos de retorno, sendo ajustados por uma curva exponencial:

$$T = aD^{-b} \quad (6)$$

onde  $T$  é o período de retorno,  $a$  e  $b$  são constantes

determinadas empiricamente para cada decêndio, e  $D$ , como definido anteriormente.

A pesquisa foi baseada em um período de retorno de 1,25 anos, que representa a ocorrência de oito casos em dez possíveis, uma margem de risco aceita pelo produtor.

A estimativa da duração do ciclo e das fases da cultura do milho em função da época de plantio foi feita por graus-dias corrigidos (Vila Nova, 1989):

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

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.

A relação entre o esquema de plantio simulado e os valores de deficiência hídrica máxima a 80% de probabilidade de ocorrência, para cada decêndio, infere as épocas mais favoráveis ao plantio, evitando a coincidência da floração e enchimento dos grãos com os períodos de probabilidade de ocorrência das maiores deficiências hídricas, ampliando a possibilidade de maior produção relativa da cultura do milho.

No balanço hídrico, optou-se por um coeficiente de cultura unitário ( $k_c = 1$ ) para todo o ciclo vegetativo. A literatura demonstra que o valor médio de  $k_c$  em todo o período vegetativo do milho oscila em torno de 0,85 e 0,90. Doorenbos & Kassan (1979) demonstram que na floração e formação da produção, o valor de  $k_c$  é próximo a um, o que justifica a nossa escolha. Mas durante o ciclo normal de uma cultura, o valor de  $k_c$  oscila. Assim sendo, nas análises de melhores épocas de plantio e estimativa da água suplementar de irrigação, foi estabelecida uma correção para o valor de  $k_c$ , obtida pela equação abaixo (Tommaselli, 1992):

$$D' = D - ET_0(1 - k_c) \quad (8)$$

onde  $D'$  representa o valor da deficiência hídrica (mm) para qualquer valor de  $k_c$ ,  $D$  representa o valor da deficiência hídrica (mm) supondo  $k_c = 1$ ,  $ET_0$  é o valor da evapotranspiração de referência do período (mm), e  $k_c$ , como antes 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 à seguinte relação:

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

onde  $1 - Y_r/Y_m$  representa a deficiência relativa de produção, na qual  $Y_r$  refere-se à produção real obtida, e  $Y_m$  à produção ideal (potencial ou esperada);  $k_r$  é o fator que quantifica a queda da produção em face da resposta do estresse hídrico da planta ao estresse hídrico do solo e  $1 - ETR/ET_m$  representa a deficiência hídrica relativa. O valor de  $k_r$  tem sua validade estabelecida apenas no intervalo de 0 a 50% de deficiência hídrica. As épocas mais críticas do milho, em relação à deficiência hídrica, são a 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, seguindo o modelo de Doorenbos & Kassan (1979), utilizando um valor de  $k_r$  igual a 1,5 para a floração, e igual a 0,5 para a formação da produção.

As estimativas das lâminas líquidas de irrigação suplementar em diferentes períodos e no total do ciclo foram feitas a partir dos valores corrigidos dos índices de deficiência hídrica, nos diversos períodos de plantio considerados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das classes de deficiências hídricas versus períodos de retorno foram colocados em forma gráfica, com o ajuste de uma curva em cada decêndio, conforme mostra a Fig. 1, no mês de outubro. O modelo potencial propiciou o melhor ajuste, e os seus coeficientes de regressão estão apresentados na Tabela 1.

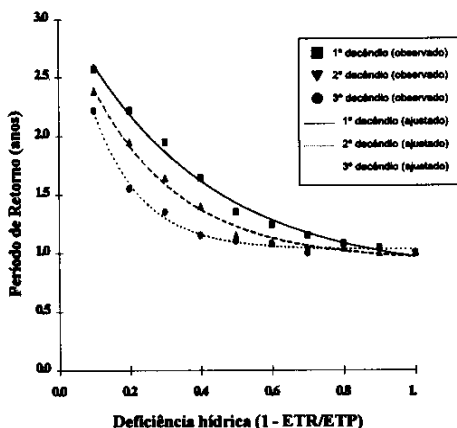


FIG. 1. Relações entre os períodos de retorno e valores menores ou iguais de deficiências hídricas correspondentes, nos três decêndios de outubro.

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

Um fator determinante do desenvolvimento de uma cultura é a disponibilidade energética do ambiente no qual ela se desenvolve. Esta disponibilidade pode ser representada na forma de graus-dias. Observando os valores apresentados na Tabela 2, vemos que os meses de maior disponibilidade energética são os meses de outubro a fevereiro. Os máximos ocorrem no terceiro decêndio de dezembro, e os mínimos, no segundo decêndio de junho. Uma comparação entre as Tabelas 1 e 2 mostra que as fases de maior disponibilidade energética coincidem com as de maior disponibilidade hídrica, indicando as prováveis épocas de plantio.

Nesta análise, o fator que tem maior grau de determinação na época de plantio é a magnitude da deficiência hídrica que ocorrerá 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. Estabelecida a margem de risco (20% no nosso caso), podem-se estimar as deficiências hídricas esperadas, para cada estágio de desenvolvimento e estabelecer a época mais propícia de plantio. A Tabela 3 relaciona estes dados, mostrando que as menores deficiências hídricas na floração ocorrem durante o 1º decêndio de janeiro (33,7%). Assim sendo, os plantios de milho devem ser efetuados em época tal que a floração ocorra neste intervalo de tempo. Observe a completa inviabilidade dos plantios com floração no segundo decêndio de setembro (deficiência de 100%). Estas análises, até o momento, têm sido feitas considerando-se a deficiência hídrica calculada a partir de  $k_r$  unitário.

A seguir, em função da duração de cada fase de desenvolvimento, para cada época de plantio, foram determinadas as deficiências hídricas médias diárias (em %), já corrigidas do  $k_r$ , conforme a equação 8. Os resultados estão apresentados na Tabela 4. As épocas de plantio apresentadas nesta tabela, são as "mais propícias", uma vez que no resto do ano, a demanda energética é insuficiente e o ciclo vegetativo será demasiado estendido. A época

**TABELA 1. Coeficientes das equações de regressão dos índices de deficiência hídrica versus período de retorno (1957-1987).**

decêndios	D(80%)	a	b	decêndios	D(80%)	a	b
jan 01-10	20,5	0,175	0,948	jul 01-10	48,9	0,322	0,993
jan 11-20	21,7	0,161	0,978	jul 11-20	61,4	0,356	1,051
jan 21-31	36,1	0,317	0,905	jul 21-31	74,8	0,426	1,104
fev 01-10	31,3	0,203	0,987	ago 01-10	77,6	0,934	0,987
fev 11-20	30,5	0,200	0,985	ago 11-20	87,4	0,802	1,122
fev 21-28	33,4	0,233	0,968	ago 21-31	94,9	0,655	1,208
mar 01-10	30,0	0,236	0,941	set 01-10	94,2	0,680	1,200
mar 11-20	34,8	0,242	0,968	set 11-20	100,0	0,528	1,291
mar 21-31	46,7	0,473	0,872	set 21-30	76,9	0,624	1,061
abr 01-10	48,5	0,444	0,907	out 01-10	61,8	0,456	1,003
abr 11-20	55,1	0,422	0,972	out 11-20	49,6	0,393	0,950
abr 21-30	74,7	0,654	1,033	out 21-31	41,8	0,364	0,910
mai 01-10	62,5	0,371	1,050	nov 01-10	40,0	0,319	0,933
mai 11-20	64,8	0,567	0,978	nov 11-20	40,9	0,246	1,003
mai 20-31	52,8	0,296	1,035	nov 21-30	49,8	0,423	0,931
jun 01-10	50,8	0,350	0,986	dez 01-10	33,7	0,240	0,962
jun 11-20	37,0	0,225	0,999	dez 11-20	33,4	0,238	0,963
jun 21-30	40,6	0,230	1,015	dez 21-31	29,4	0,246	0,925

**TABELA 2. Valores dos graus-dias corrigidos para cada decêndio do ano (período de janeiro de 1957 a dezembro de 1987).**

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

tradicional de plantio de milho em Cambará, PR é, em geral, em fins de outubro.

A Tabela 4 mostra um plantio simulado, por decêndios, de 1º de agosto a 21 de dezembro. Através desta tabela é possível verificar que as menores deficiências hídricas durante a floração ocorrem nos plantios efetuados em 1º de novembro (34,8%) e 21 de outubro (37,6%). Embora os plantios realizados em 1º de novembro determinem menores percentuais de deficiência, há uma pequena desvantagem deste

período em relação aos plantios a partir de 21 de outubro, representada pela extensão do ciclo vegetativo de 125 para 140 dias. Assim, com o propósito de oferecer menores riscos de ocorrência de deficiência hídrica na floração do milho em Cambará-PR, recomenda-se o plantio no primeiro decêndio de novembro.

Por outro lado, os plantios efetuados durante o mês de agosto são os piores para a região mencionada pois apresentam os maiores índices de deficiência hídrica na floração. Verifica-se, também, nesse mês, elevados índices de deficiência durante o estabelecimento da cultura.

Um outro fato a ser destacado é a ausência de deficiências hídricas durante o estágio de estabelecimento da cultura nos plantios efetuados de 11 de outubro a 21 de dezembro, explicado pela ocorrência de condição de solo úmido favorável ao plantio. As deficiências hídricas mais elevadas, na fase de formação da produção, são registradas nos plantios efetuados em dezembro.

Segundo Doorenbos & Kassan (1979), existe uma relação linear entre a deficiência hídrica (até 50%) e a deficiência de produção. A Tabela 5 mostra os resultados da deficiência de produção, em relação a um valor potencial em função das deficiências

**TABELA 3. Deficiências hídricas diárias (médias decendiais, em mm e %), a 80% de probabilidade, a partir da variação do coeficiente de cultura do milho, para uma CAD de 50 mm.**

decêndios	ET <sub>0</sub>	D	em milímetros				em porcentagem			
			fase (k <sub>c</sub> )				fase (k <sub>c</sub> )			
			0,5	0,8	1,2	1,0	0,5	0,8	1,2	1,0
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

hídricas esperadas, a 80% de probabilidade, para os estádios de floração e de formação da produção.

Conforme mostra esta tabela, as melhores produções relativas são as do 1º decêndio de novembro, com uma produção real estimada (Y<sub>r</sub>)

de 47,8% da produção potencial (Y<sub>m</sub>). Os plantios efetuados no 3º decêndio de outubro, época de plantio mais adotada na região, apresentam uma produção relativa um pouco menor e igual a 43,6%.

Um segundo fator auxiliar na decisão da escolha

**TABELA 4.** Deficiências hídricas diárias médias, corrigidas do coeficiente de cultura (em %) para cada estágio de desenvolvimento, em um plantio simulado do milho (CAD = 50 mm) em várias épocas de plantio.

Estabelecimento		Período vegetativo		Floração		Formação 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 5.** Deficiência hídrica no solo (a 80% de probabilidade) durante a floração e formação da produção e seus efeitos sobre a produção potencial, relativa à cultura de milho (CAD = 50 mm), em função da época de plantio, para o caso não irrigado.

Época de Plantio	Floração			Formação da produção		
	1-ETR/ET <sub>m</sub>	1-Y <sub>a</sub> /Y <sub>m</sub>	Y <sub>a</sub> /Y <sub>m</sub>	1-ETR/ET <sub>m</sub>	1-Y <sub>a</sub> /Y <sub>m</sub>	Y <sub>a</sub> /Y <sub>m</sub>
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
21-31 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

da melhor época de plantio é a perda de produção no estágio da formação da produção. Neste caso observa-se que a menor perda de produção está associada a plantios no 3º decêndio de outubro (15,1%), em comparação com os primeiros dez dias de novembro (15,9%).

Independentemente do critério adotado, constata-se que as épocas julgadas mais favoráveis incluem aquela normalmente adotada pelo agricultor.

É importante observar que, mesmo nas melhores épocas de plantio, as perdas estimadas de produção por déficit hídrico na floração variam de 52 a 56%,

**TABELA 6. Deficiências hídricas no solo (80% de probabilidade), em mm, e volumes de irrigação suplementar, em m<sup>3</sup>/ha de área cultivada, em plantio simulado para o milho (CAD = 50 mm), considerando-se k<sub>c</sub> variável.**

Plantio	Estabel.		Per. veget.		Floração		Form. prod.		Total	
	mm	m <sup>3</sup> /ha	mm	m <sup>3</sup> /ha	mm	m <sup>3</sup> /ha	mm	m <sup>3</sup> /ha	mm	m <sup>3</sup> /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

em relação à produção potencial. Para níveis de deficiências comparáveis, a perda estimada, na fase de formação da produção seria de apenas 12%, reforçando, então, a importância de minimizar as deficiências hídricas, prioritariamente na floração, através de uma escolha criteriosa do intervalo de tempo para o plantio. A Tabela 5 mostra, ainda, de forma evidente, que em Cambará, PR, a pior época de plantio é agosto, com perdas de produção média ao redor de 80%.

Supondo a viabilidade econômica da irrigação suplementar, podem-se eliminar as deficiências hídricas do solo aplicando lâminas líquidas de água de irrigação da mesma magnitude destas deficiências, determinando um aumento de produção proporcional às reduções observadas.

A Tabela 6 mostra as estimativas de volume de irrigação suplementar necessário em cada estágio de desenvolvimento e no período total. Em Cambará, PR, a necessidade de água de irrigação é menor (1.257 m<sup>3</sup>/ha) nos plantios efetuados no 1º decêndio de novembro, como consequência da menor deficiência hídrica na floração. As maiores lâminas de água totais, em torno de 266 mm, seriam necessárias para os plantios efetuados no 3º decêndio

de dezembro e 1º decêndio de agosto, talvez em função de um ciclo vegetativo extremamente longo, o que supomos ser uma falha do modelo de graus-dias adotado.

Partindo do pressuposto de que com a irrigação pode-se plantar em qualquer época, vimos que a adoção das épocas mais favoráveis ao plantio determina a exigência de menores volumes de água de irrigação. Por exemplo, um plantio efetuado no 1º decêndio de novembro exigirá, como necessidade líquida de água, 1.257,3 m<sup>3</sup>/ha, ao passo que em um plantio efetuado no 1º decêndio de agosto será necessário mais do que o dobro daquela dosagem.

Duas limitações podem mudar este calendário: disponibilidade de recursos hídricos ou disponibilidade financeira do produtor. Assim, o produtor de milho poderá optar por pelo menos uma irrigação suplementar, a ser realizada, preferencialmente, durante a floração da cultura. Em Cambará, PR, estes plantios "econômicos" deverão ser efetuados no 1º decêndio de novembro, exigindo cerca de 290 m<sup>3</sup>/ha, o que representa cerca de 25% de uma irrigação completa.

A aplicação do modelo mostrou que os resultados obtidos apresentam ligeira discrepância dos reais,



ou seja, a época ideal para o plantio do milho, em Cambará, PR, segundo o nosso modelo, deverá ser no 1º decêndio de novembro, e aquela adotada pelos produtores da região é a segunda quinzena de outubro.

As eventuais discrepâncias podem ser atribuídas à ausência de informação básica sobre a fenologia do milho para a região. A adoção dos parâmetros do modelo a partir dos dados de Doorenbos & Kassan (1979) e de Doorenbos & Pruitt (1977) não implica que eles sejam semelhantes aos do local estudado.

A adoção de um valor constante para o coeficiente de cultura ( $k_c$ ) durante a execução do balanço hídrico é fator limitante. Todavia, o artifício da correção, *a posteriori*, dos valores de deficiência hídrica, a partir do coeficiente de cultura, revelou-se como critério razoável para a análise pretendida.

Outro aspecto a ser considerado é a falta de um parâmetro que permitisse prever o desenvolvimento do sistema radicular do milho, o que, supõe-se, poderia ser feito variando-se a CAD durante o desenvolvimento da cultura. A adoção de uma CAD constante determina, na modelagem, valores subestimados de deficiência hídrica nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, reduzindo as necessidades totais de irrigação suplementar que seriam normalmente exigidas.

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 e, em consequência, nas magnitudes das deficiências de água estimadas.

Mesmo em face de todas as simplificações do modelo, defende-se sua validade como um primeiro parâmetro de avaliação das melhores épocas de plantio do milho, das necessidades de irrigação suplementar e da estimativa das perdas de produção em função da ocorrência de deficiências hídricas, durante o período de cultivo do milho na região.

## CONCLUSÕES

1. A melhor época de plantio do milho é, de modo geral, de 21 de outubro a 10 de novembro. Dentro deste período, plantando-se no primeiro decêndio

de novembro, consegue-se diminuir perdas de produção (52,2%) por deficiência hídrica.

2. A pior época de plantio é o mês de agosto, pois acarreta perdas de produção de até 80%, por efeito de estresse hídrico.

3. A irrigação suplementar total exige dosagens líquidas menores de água (1.257,3 m<sup>3</sup>/ha) no período de 1º a 10 de novembro, e maiores (2.660 m<sup>3</sup>/ha) no primeiro decêndio de agosto.

4. A irrigação na floração será mais vantajosa na segunda quinzena de outubro, com um volume líquido de cerca de 290 m<sup>3</sup>/ha, e menos vantajosa no mês de agosto, quando exigirá dosagens de água de irrigação acima do dobro deste valor.

## REFERÊNCIAS

- BRAGA, H. **Caracterização da seca agrônômica através de um novo modelo de balanço hídrico, na região de Laguna, litoral Sul de Santa Catarina.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1982. 157p. Dissertação de Mestrado.
- 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: [Comissão de Financiamento da Produção]. **Coleção análise e pesquisa.** Brasília: CFP, 1982. p. 21-46.
- BRUNT, D. Notes on the radiation in the atmosphere. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society,** London, v.58, p.389-418, 1932.
- 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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.19, n. 10, p. 1227-1233, 1984.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Yield response to water.** Roma: FAO, 1979. 193p. (Irrigation & Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements.** Roma: FAO, 1977. 179p. (Irrigation & Drainage Paper, 24).
- 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: ESALQ/USP, 1991. 113 p. Tese de Doutorado.

OLIVEIRA, D. **Determinação das necessidades de irrigação para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.) no Estado do Paraná.** Piracicaba, ESALQ/USP, 1989. 137p. Dissertação de Mestrado.

PENMAN, H. L. Evaporation: an introductory survey. **Netherlands Journal of Agricultural Science, Wageningen**, v. 4, p. 9-29, 1956.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water budget and its use in irrigation. In: USDA. **Water**

**U. S. Department of Agriculture Yearbook.** Washington: USDA, 1955. p. 346-357.

TOMMASELLI, J. T. G. **Deficiências hídricas no solo e épocas de plantio de milho (*Zea mays*) em Cambará-PR e Londrina-PR.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1992. 85 p. Dissertação de Mestrado.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva, fundamentos e aplicações brasileiras.** São Paulo: Nobel, 1980. 374 p.

VILLA NOVA, N. A. **Estimativa dos graus-dias corrigidos.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1989. 23p.