

**DEFICIÊNCIAS HÍDRICAS NO SOLO E ÉPOCAS DE SEMEADURA DE MILHO (*Zea Mays*) E SEUS EFEITOS SOBRE A PRODUÇÃO EM LONDRINA-PR**

**SOIL WATER DEFICIT AND CORN (*Zea Mays*) SOWING DATES AND ITS EFFECTS OVER PRODUCTION AT LONDRINA-PR, BRAZIL**

José Tadeu Garcia Tommaselli<sup>1</sup> e Nilson Augusto Villa Nova<sup>2</sup>

**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 de um modelo climático de previsão das deficiências hídricas e determinação das melhores épocas de semeadura. Este modelo foi aplicado às condições de Londrina (lat. 23°23'S, long. 51°11'WGr, elev. 566 m), Paraná. O modelo fornece uma estimativa da perda de produção, em relação à potencial, em função das datas de semeadura, que condicionam as épocas de floração e enchimento dos grãos, períodos críticos em relação às deficiências hídricas. As estimativas foram feitas a partir das deficiências hídricas esperadas, ao nível de 80% de probabilidade, e da somatória dos graus-dias acumulados. A distribuição destas deficiências permite a determinação das épocas propícias à semeadura sob condições naturais e fornece elementos para a estimativa da água necessária à irrigação e para o dimensionamento dos equipamentos de irrigação.

**Palavras chave:** deficiência hídrica, balanço hídrico, milho, graus-dias, épocas de semeadura, evapotranspiração.

**SUMMARY**

The aim of this study was to evaluate the quantitative effect of water deficit on corn (*Zea mays*)

---

<sup>1</sup>Prof. Ass., M.Sc., UNESP/FCT. Cx.P.957, CEP 19060-900, Presidente Prudente-SP.

<sup>2</sup>Dr. Pesquisador CNPq, USP/ESALQ, Cx. P. 9, CEP 13418-900, Piracicaba-SP.

crop yield decrease, based on predictions from a climatic model of water deficit. This model was applied to data from Londrina, Paraná State, Brazil (lat. 23°23'S, long. 51°11'WGr, elev. 566 m). The model estimates yield decrease relative to potencial values, as a function of different flowering and grain filling dates when the crop is very sensitive to water deficit. Calculation is done based on expected values of water deficit, at 80% probability level and accumulated degrees-days. The distribution of deficit allows the determination of favorable sowing dates under natural conditions and provides estimation of irrigation requirements and of dimensioning of irrigation equipment.

**Keywords:** water deficit, water budget, corn, sowing date, degree-days, evapotranspiration.

## INTRODUÇÃO

Uma questão importante da agricultura é a maneira mais prática de se garantir o suprimento hídrico adequado durante todas as fases da cultura, mas mais especificamente durante 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 ser controlado, exceto em escala reduzida, onde se lhe podem ajustar as práticas agrícolas.

Outro aspecto importante é a previsão dos rendimentos agrícolas em função das condições meteorológicas. O clima determina muitas fases de desenvolvimento das culturas agrícolas e as decisões devem levar em conta as condições passadas, presentes e futuras.

Um planejamento que minimize a ação das épocas de deficiência hídrica na fase mais importante da cultura representará uma melhoria no rendimento agrícola.

Ao se estabelecer um modelo de previsão, depara-se com dados de ampla variabilidade espacial e temporal, caso da precipitação, que dificultam a generalização das informações. Por outro lado determinados parâmetros, caso da evapotranspiração potencial, apresentam uma variabilidade temporal menos acentuada. Assim, a precipitação mostra ser o parâmetro de maior influência sobre a produção das culturas, via deficiência hídrica.

A forma direta de controle das deficiências é através da irrigação, mas esta tem custo elevado e exige análise criteriosa da relação custo-benefício para ser viável.

Existem maneiras econômicas de se lidar com a deficiência hídrica, tais como consorciação de

culturas, variedades mais resistentes à seca, plantio direto, cobertura do solo e outras; mas estas práticas não apresentam eficiência total na resolução do problema.

Uma outra abordagem é a aplicação dos modelos probabilísticos das distribuições das deficiências hídricas (DOORENBOS & KASSAN, 1979) para prever as épocas mais favoráveis à semeadura, evitando a ocorrência de altos valores de deficiência hídrica durante a época de floração da cultura. Esse método empírico vem sendo usado por vários pesquisadores através de análises do tipo deficiência hídrica versus produção (BRUNINI *et al*, 1982; CAMARGO *et al*, 1984; OLIVEIRA, 1989 e MATA, 1991).

Neste trabalho estudou-se um modelo estocástico que define perdas de produção, em relação à potencial, em função das deficiências hídricas para o milho, em Londrina-PR, variando-se a época de semeadura a nível de decêndio. Foram estimadas as necessidades hídricas para a irrigação e as melhores épocas de semeadura de milho.

## MATERIAL E MÉTODO

Este estudo foi efetuado a partir dos dados meteorológicos de Londrina-PR (lat. 23°23'S, long. 50°01'WGr, elev. 556m), no período de janeiro/1957 a dezembro/1987.

Os dados utilizados foram: 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 10 m de altura ( $u_{10}$ ) e os valores diários de precipitação (P).

O milho sob condições normais, é semeado nos meses de setembro, outubro ou novembro, nessa região e a colheita realiza-se, em média, 120 dias após a semeadura.

A escolha da cultura de milho foi baseada na sua importância: é a cultura que tem a maior área plantada no Estado do Paraná. É inegável o seu valor sócio econômico no país.

O cálculo das deficiências hídricas médias decendiais e dos graus-dias corrigidos médios decendiais forneceram os parâmetros do modelo de avaliação das épocas de semeadura mais propícias ao milho, afim de se evitar altos valores de deficiência hídrica na época da floração.

Foram avaliadas as quedas de produção (em relação à produção potencial) de acordo com cada época de semeadura e as necessidades de irrigação.

O balanço hídrico seriado, modelo de THORNTHWAITE & MATHER (1955), modificado por BRAGA (1982), necessita como parâmetros a precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ETP), que

foi considerada igual à evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), supondo o coeficiente de cultura ( $k_c$ ) igual à unidade, o que na floração e enchimento dos grãos, não foge muito à realidade (DOORENBOS & KASSAN, 1979).

O modelo utilizado para a estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) exige como parâmetros, o 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 (DOORENBOS & PRUITT, 1977).

A relação entre a evapotranspiração de referência e estes parâmetros (PENMAN, 1956), é:

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

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

A parametrização de  $R^*$  é a de PENMAN (1956) e BRUNT (1939) e a estimativa de  $E_a$  segue o modelo de PENMAN (1956). A redução da velocidade do vento a 10 m de altura para 2 m de altura seguiu o modelo logarítmico (TUBELIS & NASCIMENTO, 1980).

A execução do balanço hídrico seguiu o modelo de THORNTHWAITE & MATHER (1955), modificado por BRAGA (1982), que sugere um decréscimo linear da água armazenada no solo até se atingir o valor limite de armazenamento, quando a água já não está livremente disponível.

A água livremente disponível é função da demanda atmosférica ( $ET_m$ ) e da cultura (sistema radicular e foliar). Supôs-se que a água estava livremente disponível quando a evapotranspiração real era igual à demanda atmosférica ( $ETR = ET_m$ ), e quando o armazenamento de água permanecia abaixo do limite em que  $ETR < ET_m$ , o decréscimo de água armazenada no solo seguia o modelo exponencial de THORNTHWAITE & MATHER (1955).

A profundidade média do sistema radicular suposta para o milho foi de 50 cm. Os solos do local do estudo têm capacidade de água disponível de cerca de 100 mm para cada metro de profundidade (FARIA & CARAMORI, 1986), o que pressupõe a **CAD** completa em 50 mm.

Para a determinação do limite de armazenamento de água no solo (DOORENBOS & KASSAN, 1979), a demanda atmosférica média da estação de crescimento da cultura deverá ser metade da capacidade de água disponível (25 mm).

O balanço hídrico diário forneceu os valores diários de evapotranspiração real, que relacionado com os valores diários médios da evapotranspiração potencial, conforme DOORENBOS & KASSAN (1979), permitiu estimar

$$D = 1 - \frac{ETR}{ET_m}$$

os valores diários dos índices de deficiência hídrica:

onde **D** é o índice de deficiência hídrica, **ETR** (mm) é a evapotranspiração real e **ET<sub>m</sub>** (mm) é a evapotranspiração máxima.

Os valores dos índices de deficiência hídrica foram obtidos para todos os dias de cada ano. Depois estes valores foram separados em classes de cerca de dez dias em cada mês, estabelecendo três decêndios por mês. O primeiro decêndio variava do dia 01 a 10, o segundo, de 11 a 20 e o terceiro variava de 21 ao último dia do mês. A seguir para cada ano, calculou-se os valores médios dos índices de deficiência hídrica de cada decêndio, resultando para cada ano, em 36 índices médios de deficiência hídrica.

Em uma etapa posterior agrupou-se os índices calculados para cada decêndio do ano, em classes para os valores menores ou iguais a 0,1, menores ou iguais a 0,2 e assim por diante, até os valores menores ou iguais a 1,0.

A seguir, as frequências de ocorrência foram transformadas em períodos de retorno, gerando uma série de 36 conjuntos relacionando os índices contra os períodos de retorno, colocados em forma gráfica, sendo, depois, ajustada uma curva.

De posse das constantes empíricas e das equações ajustadas, obteve-se os índices para um período de retorno de 1,25 anos, representando oito casos em dez possíveis, valor suposto como a margem de risco aceita pelo produtor.

A determinação da duração do ciclo e das fases da cultura do milho em função da época de semeadura foi feita pela estimativa dos graus-dias corrigidos (VILLA NOVA, 1989):

$$GDC = (t - t_b) \left( \frac{N}{24 - N} \right)^2 \frac{N_f}{N_i} \quad (3)$$

onde **GDC** são os graus-dias corrigidos, **t** é a temperatura média do ar, **t<sub>b</sub>** é a temperatura base (10 °C para o milho), **N** é o fotoperíodo médio e **N<sub>f</sub>** e **N<sub>i</sub>** são os fotoperíodos do final e do início do período considerado.

A relação entre a semeadura simulada e as deficiências hídricas máximas ao nível de 80% de probabilidade de ocorrência, inferem as épocas mais favoráveis à semeadura, evitando a coincidência das

fases críticas com os períodos de probabilidade de ocorrência das maiores deficiências. Esta simulação pretende assegurar a possibilidade de uma produção relativa máxima da cultura do milho.

Durante o ciclo normal de uma cultura o valor de  $k_c$  oscila. Assim, nas análises de melhores épocas de semeadura e estimativa da água de irrigação, estabeleceu-se uma correção para  $k_c$ , de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura, conforme a equação abaixo (TOMMASELLI, 1992):

$$D' = D - ET_o(1 - K_c) \quad (4)$$

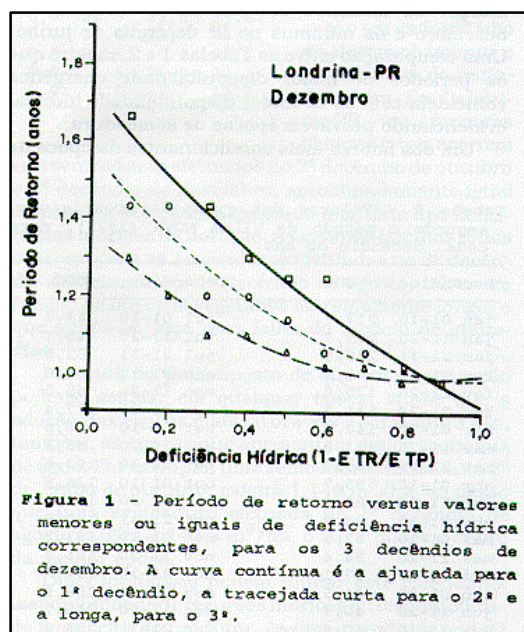
onde  $D'$  é a deficiência hídrica (mm) para qualquer  $k_c$ ,  $D$  é a deficiência hídrica (mm) para  $k_c=1$ . O valor percentual de  $D'$  é calculado dividindo-se seu valor em milímetros pela demanda atmosférica do período.

A avaliação do efeito das deficiências hídricas sobre a produção foi feita a partir do modelo de DOORENBOS & KASSAN (1979), supondo-se como períodos mais críticos a floração e o enchimento dos grãos.

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

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das classes de deficiência hídrica versus períodos de retorno foram colocados em forma gráfica, com melhor ajuste de uma curva do tipo de potência, conforme é exemplificado na Figura 1 (as demais não são mostradas). Os valores dos coeficientes da regressão, que estão apresentados na Tabela 1. Os cálculos das deficiências com os coeficientes **a** e **b** mostram que o 2º decêndio de setembro apresenta o maior valor de deficiência hídrica esperada ao nível de 80% de probabilidade e o 1º decêndio



de fevereiro apresenta o menor.

A disponibilidade energética do ambiente sob o qual se desenvolve a cultura é determinante no seu desenvolvimento e pode ser equacionada na forma de graus-dias. Observando os valores da Tabela 2, percebe-se que em Londrina-PR, a maior disponibilidade energética ocorre nos meses de outubro a março. Os máximos ocorrem no 3º decêndio de dezembro e os mínimos no 2º decêndio de junho. Uma comparação entre as Tabelas 1 e 2, mostra que os períodos de maior disponibilidade energética coincidem com os de maior disponibilidade hídrica, evidenciando prováveis épocas de semeadura.

**Tabela 1** - Coeficientes das equações de regressão dos índices de deficiência hídrica (D) versus período de retorno (T). As equações de regressão são do tipo  $T = a.D^b$ .

Decêndios	a	b	Decêndios	a	b
jan 01-10	0,183	0,948	jul 01-10	0,206	1,014
jan 11-20	0,175	0,993	jul 11-20	0,236	1,038
jan 21-31	0,263	0,959	jul 21-31	0,435	1,024
fev 01-10	0,103	0,983	ago 01-10	0,734	1,041
fev 11-20	0,171	0,953	ago 11-20	0,592	1,232
fev 21-28	0,156	0,980	ago 21-31	0,519	1,142
mar 01-10	0,290	0,911	set 01-10	0,645	1,005
mar 11-20	0,287	0,933	set 11-20	0,478	1,189
mar 21-31	0,420	0,926	set 21-30	0,403	1,014
abr 01-10	0,385	0,914	out 01-10	0,338	0,950
abr 11-20	0,345	1,018	out 11-20	0,274	0,938
abr 21-30	0,354	1,025	out 21-31	0,242	0,966
mai 01-10	0,305	1,049	nov 01-10	0,230	0,956
mai 11-20	0,193	1,076	nov 11-20	0,233	1,007
mai 20-31	0,206	1,026	nov 21-30	0,312	0,971
jun 01-10	0,179	0,994	dez 01-10	0,246	0,987
jun 11-20	0,231	0,955	dez 11-20	0,151	0,995
jun 21-30	0,225	1,006	dez 21-31	0,108	1,004

**Tabela 2** - Valores dos graus-dia corrigidos, segundo o método de VILLA NOVA (1979), para cada decêndio do ano.

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

Um dos fatores que mais determina a época de semeadura do milho é a magnitude da deficiência hídrica a ocorrer na floração. Estabelecida a margem de risco (20% no presente caso), pode-se estimar as deficiências hídricas esperadas (ao nível de 80% de probabilidade), para cada estágio de desenvolvimento e ter uma idéia da melhor época de semeadura. A Tabela 3 é a concretização desta idéia, onde se observa que as menores deficiências hídricas na floração ocorrem durante o 1º decêndio de fevereiro (24,7%). Assim sendo, as semeaduras de milho devem ser efetuadas em época tal que a floração ocorra neste intervalo de tempo. Pode-se observar a completa inviabilidade das semeaduras com floração no mês de agosto (deficiências por volta de 90%) e no 2º decêndio de setembro (deficiência de 100%). Estas análises,

até o momento têm sido feitas considerando-se a deficiência hídrica calculada em função do  $k_c$  unitário.

A seguir, em função da duração de cada estágio de desenvolvimento, para cada época de semeadura, foram determinados os valores de deficiência hídrica média diária (em %), já corrigidos os valores de  $k_c$ , conforme a equação 4 que estão apresentados na Tabela 4. As épocas de semeadura apresentadas nesta Tabela, são aquelas "mais propícias", uma vez que no resto do ano, a demanda energética é insuficiente e o ciclo vegetativo será demasiado estendido. A época tradicional de semeadura do milho em Londrina-PR costuma ser em final de outubro.

A Tabela 4 mostra semeaduras simuladas, por decêndio, de 1 de agosto a 21 de dezembro. Nota-se que as menores deficiências hídricas durante a floração ocorrem para as semeaduras efetuadas em 11 de dezembro (31,1%), 11 e 21 de outubro (31,2%). Mas as semeaduras efetuadas em 11 de dezembro, segundo o modelo, irão se estender até o início de junho, o que representa um ciclo vegetativo demasiado longo. As semeaduras efetuadas em 21 de outubro se estenderão até 25 de fevereiro e os semeaduras efetuados em 11 de outubro se estenderão até 17 de fevereiro.

Parece óbvio que a melhor época de semeadura para o milho em Londrina-PR é o terceiro decêndio de outubro (de 21 a 31 de outubro), com um ciclo total de cerca de 126 dias. Observe que esta

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

Decêndio	ET <sub>0</sub>	D	Em milímetros				Em porcentagem			
			Fase ( $k_c$ )				Fase ( $k_c$ )			
			0,5	0,8	1,2	1,0	0,5	0,8	1,2	1,0
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



época não foge muito àquela tradicional.

Por outro lado, as sementeiras efetuadas no mês de agosto são os piores para a região mencionada, pois apresentam os maiores índices de deficiência hídrica na floração.

Um outro fato a ser destacado é a ausência de deficiências hídricas durante o estágio de estabelecimento para as sementeiras de milho efetuadas de 1 de outubro a 21 de dezembro, e as deficiências hídricas elevadas, no estágio de formação de produção, para as sementeiras efetuadas em dezembro.

Segundo DOORENBOS & KASSAN (1979) existe uma relação linear entre a deficiência hídrica e a deficiência de produção. Os resultados da deficiência de produção (em relação a um valor potencial) em função das deficiências hídricas esperadas ao nível de 80% de probabilidade, para os estádios de floração ou formação da produção (independentemente) estão apresentados na tabela 5. Também são mostrados os valores de deficiência de produção e de produção relativa.

Conforme mostra esta tabela, as maiores produções relativas, são as do 1º e 2º decêndio de outubro e 2º decêndio de dezembro, com uma produção real ( $Y_a$ ) de cerca de 51% da produção potencial ( $Y_m$ ).

Um segundo fator que poderá ajudar a decidir a escolha da melhor época de sementeira é a perda de produção no estágio de formação da produção. Aí observamos que a menor perda ocorre no 2º decêndio de outubro, corroborando a nossa avaliação anterior, baseada na magnitude das deficiências e na extensão do período vegetativo total.

**Tabela 4 - Deficiências hídricas diárias médias, corrigidas do coeficiente de cultura (em %) para cada estágio de desenvolvimento, em um cultivo simulado do milho (CAD = 50 mm) a partir de várias épocas de sementeira.**

Estabelecimento		Per. Vegetativo		Floração		Formação 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

É de extrema importância observar que mesmo nas melhores épocas de semeadura, as perdas são de cerca de 50%, em relação à produção potencial, se considerada apenas a floração como crítica. Para iguais valores de deficiência, a perda na formação da produção seria de apenas 12%. Estes dados evidenciam a importância de se minimizar as deficiências hídricas durante a floração.

Para complementar o que já foi dito anteriormente, a Tabela 5 mostra, claramente, que em Londrina-PR a pior época de semeadura é agosto, com perda média ao redor de 75%.

**Tabela 5** - Deficiência hídrica no solo, ao nível de 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 semeadura, para o caso não irrigado (método de DOORENBOS & KASSAN, 1979). São mostrados também os valores de deficiência de produção ( $1 - Y_a/Y_m$ ) e de produção relativa ( $Y_a/Y_m$ ). Todos os valores são expressos em %.

Época de semeadura	Floração			Formação da Produção		
	$1-ETR/ET_m$	$1-Y_a/Y_m$	$Y_a/Y_m$	$1-ETR/ET_m$	$1-Y_a/Y_m$	$Y_a/Y_m$
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

Supondo a viabilidade econômica de uma irrigação, pode-se eliminar as deficiências hídricas do solo aplicando lâminas d'água da mesma magnitude destas deficiências, gerando um aumento de produção diretamente proporcional aos decréscimos causados pelas deficiências.

A Tabela 6, mostra as estimativas de irrigação em cada estágio de desenvolvimento e a estimativa do período inteiro. Em Londrina-PR, as menores lâminas totais ocorrem nos semeaduras efetuados no 3º decêndio de outubro e 1º decêndio de novembro, aproximadamente igual à época de semeadura, adotado o critério das deficiências hídricas na floração. As maiores lâminas totais ocorrem para as semeaduras efetuadas no 3º decêndio de dezembro e 1º decêndio de agosto, talvez em função de um ciclo vegetativo extremamente longo, o que supõe-se, seja uma falha do modelo de graus-dias.

Partindo do pressuposto de que com a irrigação pode-se semear em qualquer época, viu-se que a adoção das épocas mais favoráveis à semeadura são, também, as épocas que apresentam maior economia

de água. Por exemplo, uma semeadura efetuada no 2º decêndio de outubro, exigirá 1.140 m<sup>3</sup>/ha, ao passo que uma semeadura efetuada no 1º decêndio de agosto exigirá 2.142,2 m<sup>3</sup>/ha, o que é quase o dobro da melhor época.

Tabela 6 - Deficiências hídricas no solo ( 80% de probabilidade), em mm, e lâminas suplementares correspondentes, em m<sup>3</sup>/ha de área cultivada, em semeadura simulada para o milho (CAD = 50 mm), considerando-se k<sub>c</sub> variável.

Semeadura	Estabelecimento		Período Vegetativo		Floração		Formação Produção		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	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

Duas limitações podem mudar este calendário: disponibilidade de recursos hídricos ou disponibilidade financeira do produtor. Assim, o produtor poderá optar por uma irrigação suplementar abreviada, que deverá ser feita, é lógico, durante a floração. Em Londrina-PR, estas semeaduras "econômicas" deverão ser efetuados nos 2º e 3º decêndios de outubro, exigindo cerca de 355 m<sup>3</sup>/ha, o que representa apenas 30% de uma irrigação completa.

A aplicação do modelo mostrou que os resultados obtidos se aproximam dos reais e, de um modo geral, as épocas ideais de semeadura de milho, em Londrina-PR, mostradas por este estudo são, basicamente, aquelas adotadas pelos agricultores da região.

As eventuais discrepâncias podem ser função da 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 implicam que 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, parece ser um fator limitante. Todavia, parece que o artifício da correção, *a posteriori*, dos valores de deficiência hídrica, a partir do coeficiente de cultura, mostrou-se uma condição, senão ideal, pelo menos razoável.

Outro aspecto a ser analisado é a falta de um parâmetro que prevesse o desenvolvimento do sistema radicular do milho, o que poderia ser feito variando-se a CAD durante o desenvolvimento da cultura. A adoção de uma CAD constante apresenta, 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 em face a todas as simplificações do modelo, os resultados obtidos mostraram a sua validade como um primeiro parâmetro de avaliação das melhores épocas de semeadura do milho, das necessidades de irrigação suplementar e da estimativa das perdas de produção em função da ocorrência de deficiências hídricas.

## CONCLUSÕES

Há possibilidades de se avaliar, a partir dos valores de deficiências hídricas ocorridos a um nível de risco determinado, a melhor época de semeadura do milho, sob condições não irrigadas. Em Londrina-PR, este estudo demonstrou que a melhor época de semeadura para o milho é, de modo geral, de 11 a 31 de outubro, ou ainda, mais especificamente, o terceiro decêndio de outubro. A pior época é o mês de agosto.

Sob as mesmas condições, é possível estimativas de perda de produção, em relação ao valor potencial, considerando-se várias épocas de semeadura. As menores perdas ocorrerão para as semeaduras efetuadas de 11 a 31 de outubro (46,8%) e as maiores para as semeaduras efetuadas no mês de agosto (76%).

A irrigação total será mais favorável de 11 a 31 de outubro (1.140,9 m<sup>3</sup>/ha) e menos favorável no primeiro decêndio de agosto (2.142,2 m<sup>3</sup>/ha).

A irrigação na floração será mais vantajosa na segunda quinzena de outubro (cerca de 355 m<sup>3</sup>/ha) e menos vantajosa no mês de agosto (mais de 600 m<sup>3</sup>/ha).

O modelo fornece, também, parâmetros iniciais para dimensionamento dos equipamentos de irrigação, para cada unidade de área plantada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1982.
- BRUNINI, O., MIRANDA, M. A. C., MASCARENHAS, et al. Teste de um modelo agroclimático que relacione regime pluviométrico com as variações de produtividade agrícola. In: **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**, v. 58, p. 389-418, 1932.
- CAMARGO, M. B. P. de, BRUNINI, O., ANGELOCCI, L. et al. Melhores épocas de plantio para arroz de sequeiro, CV. IAC-1246, em função de índices biometeorológicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 10, p. 1227-33, 1984.
- DOORENBOS, J., KASSAN, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation & Drainage Paper n. 33).
- DOORENBOS, J., PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Roma: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation & Drainage Paper n. 24).
- FARIA, R. T., CARAMORI, P. H. Caracterização físico-hídrica de um latossolo roxo distrófico do município de Londrina-PR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 21, n. 12, p. 1303-11, 1986.
- 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. Tese (Doutorado).- Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1991.
- 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. Dissertação (Mestrado)

- Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1989.

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

THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J. R. The water budget and its use in irrigation. In: **Water U. S. Department of Agriculture Yearbook**, Washington: USDA, 1955, p. 346-57.

TOMMASELLI, J. T. G. **Deficiências hídricas no solo e épocas de plantio de milho (Zea mays) em Cambará e Londrina-PR**. Piracicaba, 1992, 85 p. Dissertação (Mestrado).- Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1992.

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

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