

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NECESSÁRIAS PARA
FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*, L) NO PARANÁ.¹**

**MAXIMUM EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION REQUIREMENTS FOR BEANS
(*Phaseolus vulgaris*, L) IN PARANA STATE, BRAZIL.**

Dalziza de Oliveira² e Nilson Augusto Villa Nova³

RESUMO

Foram determinadas a evapotranspiração máxima (ET_m) e lâminas de irrigação necessárias (H) para a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) em cinco locais do Paraná e diferentes épocas de semeadura. A ET_m foi calculada através do produto da evapotranspiração de referência (ET_o) pelos coeficientes de cultura respectivos ao longo do ciclo fenológico. Os valores de H foram obtidos por balanço hídrico diário considerando que a umidade do solo não restringia a evapotranspiração. Os resultados são apresentados para os níveis de 50%, 75% e 90% de probabilidade. Os valores médios de ET_m a 75% de probabilidade de ocorrência estiveram entre 249 mm (2,8 mm/dia) e 367 mm (4,1 mm/dia) para o ciclo todo e entre 3,8 e 5,7 mm/dia para o período de florescimento. As lâminas necessárias no período de florescimento representaram entre 47% e 87% da ET_m no mesmo período, sendo que Londrina (Norte) e Paranavaí (Noroeste) requereram maiores lâminas de irrigação do que Cascavel (Sudoeste), Pato Branco (Sul) e Ponta Grossa (Centro Sul). Foram determinadas épocas com menores valores de H/ET_m, as quais têm menor risco de insucesso em cultivos não irrigados.

Palavras-chave: feijoeiro, evapotranspiração, balanço hídrico, irrigação, Paraná.

SUMMARY

Maximum evapotranspiration (ET_m) and irrigation requirements (H) were calculated for beans

¹ Parte da dissertação da primeira autora como requisito para obtenção do grau de Mestre em Agrometeorologia (ESALQ/USP)

² Eng^o Agr^o, M.Sc., Área de Ecofisiologia - IAPAR, Caixa Postal 481, 86001-970, Londrina - PR.

(*Phaseolus vulgaris*, L) at 5 locations in Parana State, Brazil, for several planting dates. ET_m was calculated by multiplying the reference evapotranspiration (ET_o) by the respective value of crop coefficients at each growth stage. The H values were obtained through the daily water balance, considering that soil moisture did not restrict evapotranspiration. The results were shown in the 50%, 75% and 90% probability levels. The average ET_m values for 75% of probability were between 249 mm (2.8 mm/day) and 367 mm (4.1 mm/day) for the growing season and between 3.8 and 5.7 mm/day for the flowering stage. The irrigation required during the flowering period was 47% to 87% of the ET_m. Londrina (North) and Paranavaí (North West) had higher H values compared to Cascavel (South West), Ponta Grossa (Center South) and Pato Branco (South). The sowing dates with lowest risk for non-irrigated crops were identified for each region based on the smaller values of the ratio H/ET_m.

Key words: beans, evapotranspiration, water balance, irrigation, Parana State - Brazil.

INTRODUÇÃO

A cultura do feijoeiro no Paraná tem apresentado baixas produtividades e grandes oscilações de produção ao longo dos anos. Essa oscilação é em parte devida ao fato de *Phaseolus vulgaris*, L. ser uma espécie com pouca tolerância a déficits hídricos severos, os quais ocorrem principalmente no Norte e Noroeste do Estado (BERNARDES et al., 1988; CARAMORI et al., 1991; FARIA, 1989).

O uso da irrigação visando minimizar os efeitos do estresse hídrico vem ocorrendo em áreas experimentais e lavouras de feijoeiro da região Centro-Sul do Brasil, atingindo-se rendimentos entre 1500 e 2800 kg/ha (GARRIDO et al., 1978; MAGALHÃES & MILLAR, 1978; SILVEIRA et al., 1984; FRIZZONE & OLITTA, 1987; MANTOVANI et al., 1988 e FARIA, 1989). Além do aumento e estabilidade da produção, VIEIRA et al. (1990) observaram que a irrigação propiciou também maior eficiência na utilização de água e radiação solar pelo feijoeiro.

Segundo DOORENBOS & KASSAM (1979), o feijoeiro requer entre 300 e 500 mm de água para atingir seu rendimento máximo, dependendo do clima, para ciclos entre 60 e 120 dias. No Paraná, as maiores produções de feijão foram obtidas com a lavoura mantida sob condições adequadas de umidade durante todo o ciclo, com as necessidades hídricas variando entre 3 e 4 mm/dia, correspondentes a 270 a 360 mm para ciclos de 90 dias (FARIA, 1989).

As necessidades hídricas variam em função do crescimento e desenvolvimento da cultura, além das condições climáticas, e os efeitos que o estresse hídrico provoca sobre a produção, da mesma forma,

variam grandemente com o período do ciclo da planta em que ele ocorre e com a duração desse período. A maioria dos autores tem verificado os maiores decréscimos de produção quando os períodos de supressão hídrica ocorrem no período de florescimento e durante a formação de grãos (JACKSON, 1977; MAGALHÃES & MILLAR, 1978; DOORENBOS & KASSAM, 1979; FARIA, 1989), sendo razoável admitir entre 10 e 30 dias de duração para esses períodos (SAAD & SCALOPPI, 1988)

A determinação das exigências hídricas e lâminas de irrigação necessárias durante o ciclo permite definir a área total do projeto a partir dos recursos hídricos disponíveis, bem como dimensionar estruturas e elaborar recomendações de manejo visando economia de água e racionalização no uso de equipamentos, mão de obra e energia (DOORENBOS & PRUITT, 1984; SILVA et al., 1988).

Na escolha dos valores de evapotranspiração visando quantificar as lâminas de irrigação dificilmente justifica-se economicamente a escolha de níveis de probabilidade superiores a 90%, sendo que os valores mais usuais variam de 50% a 75% (SAAD & SCALOPPI, 1988) ou de 75% a 80% (DOORENBOS & PRUITT, 1984).

O objetivo deste trabalho foi determinar a evapotranspiração máxima e a lâmina de irrigação necessária para o feijoeiro, em diferentes épocas de semeadura, visando fornecer novos subsídios à elaboração de projetos e à definição das necessidades de investimento em irrigação no Estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

A fim de representar diferentes condições edafo-climáticas do estado do Paraná, foram escolhidas as seguintes localidades: Londrina (N), Paranavaí (NW), Cascavel (SW), Pato Branco (S) e Ponta Grossa (Centro-Sul). Foram utilizadas as séries de dados meteorológicos disponíveis no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e complementada a série de Londrina com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os períodos de observação utilizados e a localização geográfica das estações são apresentados na Tabela 1.

Local	Período	Nº de anos	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)
Cascavel	1973/88	16	24° 56'	53° 26'	760
Londrina *	1958/75	17	23° 23'	51° 11'	566
Londrina	1976/88	13	23° 22'	51° 10'	585
Paranavaí	1974/88	14	23° 05'	52° 26'	480
Pato Branco	1979/88	10	26° 07'	52° 41'	700
Ponta Grossa	1971/88	18	25° 13'	50° 01'	880

*Estação pertencente ao INMET.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada diariamente, utilizando o método de PENMAN (1948), com a simplificação do termo aerodinâmico proposta por STANHILL (1962), o qual foi substituído pela evaporação de Piche. A radiação líquida disponível foi obtida a partir da fórmula de BRUNT (1932), com a radiação solar global calculada a partir da razão de insolação, conforme PRESCOTT (1940).

Os coeficientes **a** e **b** do termo aerodinâmico da equação de ET_o, bem como os coeficientes da equação de Prescott para radiação solar global mais os valores de pressão atmosférica para as localidades estudadas são apresentados na Tabela 2. A temperatura média foi calculada pela média aritmética entre as temperaturas máxima e mínima diárias.

Tabela 2 - Coeficientes lineares (a) e angulares (b) da regressão linear para cálculo do termo aerodinâmico da evapotranspiração de referência pelo método de PENMAN (1948) e da radiação solar global conforme PRESCOTT (1940), coeficientes de determinação (r²) respectivos e pressão atmosférica por local.

Local	Método de Penman			Método de Prescott			Pressão (mmHg)
	a	b	r ²	a	b	r ²	
Cascavel	0,12	0,35	0,90	0,19	0,45	0,89	698
Londrina	0,08	0,27	0,92	0,24	0,51	0,88	712
Paranavaí	0,13	0,35	0,86	0,24	0,51	0,88	721
Pato Branco	0,06	0,37	0,85	0,18	0,47	0,88	703
Ponta Grossa	0,12	0,36	0,84	0,20	0,46	0,88	688

Os valores de precipitação diária foram alterados, com o objetivo de considerar-se a lâmina de água que efetivamente infiltra no solo. Assim, considerou-se que chuvas diárias inferiores a 20 mm eram totalmente aproveitadas, entre 20 e 30 mm tinham eficiência de 90% e acima de 30 mm apresentavam 80% de eficiência.

Os grandes grupos de solos considerados nas cinco diferentes regiões paranaenses foram escolhidos em função de sua representatividade em área e utilização agrícola, conforme EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1984), sendo Latossolo Roxo em Londrina e Cascavel, Latossolo Roxo Álico em Pato Branco, Latossolo Vermelho Escuro (LVE) textura média em Paranavaí e LVE text. argilosa em Ponta Grossa.

Os valores de umidade do solo à capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) foram tomados de curvas características de retenção da água no solo obtidas por técnicos do IAPAR (Tabela 3).

Tabela 3 - Umidade do solo (% em volume) na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD), em função da profundidade (Prof.), para o solo predominante nos locais estudados.

Local	Prof. (cm)	CC (%)	PMP (%)	AD (%)
Cascavel	20	37,5	31,0	6,5
	40	35,1	24,4	10,7
	65	36,9	26,8	10,1
Londrina	20	43,0	33,0	10,0
	40	44,3	33,0	11,3
	60	39,4	30,8	8,6
Paranavai	10	9,6	1,9	7,7
	25	11,8	5,6	6,2
	55	9,5	2,6	6,9
	85	9,1	1,7	7,4
Pato Branco	10	35,0	27,8	7,2
	20	40,2	26,7	13,5
	40	39,1	27,0	12,1
	60	41,0	26,0	15,0
Ponta Grossa	10	40,7	25,8	14,9
	25	35,5	23,8	11,7
	55	27,5	19,0	8,5
	85	30,7	22,7	8,0

A capacidade de água disponível no solo, que representa a lâmina de água armazenada na zona radicular sob tensões que a tornam extraível pelas plantas, foi determinada de acordo com DOORENBOS & KASSAM (1979), equação (1):

$$CAD = \frac{CC - PMP}{100} * h \quad (1)$$

onde CAD é a capacidade de água disponível no solo (mm), CC a umidade do solo à capacidade de campo ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$), PMP a umidade do solo no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$), h a profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

O feijoeiro considerado foi dos tipos II e III segundo a classificação do CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (1980), de hábito de crescimento indeterminado e da espécie *Phaseolus vulgaris*. Assumiu-se a profundidade de exploração das raízes e, conseqüentemente, a CAD, variável desde um valor mínimo na emergência (CAD_{in}) até um valor máximo na fase de florescimento das culturas (CAD_f), a partir do qual permaneceria constante. A função matemática utilizada

para o cálculo da CAD no intervalo entre emergência e florescimento é apresentada na equação (2) e os valores de CAD assumidos para esses períodos, na Tabela 4.

$$CAD = CAD_{in} \cdot e^x \quad (2)$$

onde CAD_{in} é a CAD no início do ciclo (mm) e

$x = t \cdot [\ln (CAD_f / CAD_{in}) / T]$, sendo t o período decorrido desde a emergência (dias), CAD_f a CAD no florescimento (mm) e T o período entre emergência e florescimento (dias).

Considerou-se como água disponível (AD) a fração p da CAD que pode ser utilizada pelas culturas antes de se configurar uma deficiência hídrica, equação (3). Desse modo, o nível de armazenamento crítico (ARMCRI) da água no solo foi calculado diariamente, conforme equação (4).

$$AD = p \cdot CAD \quad (3)$$

$$ARMCRI = (1 - p) \cdot CAD \quad (4)$$

A fração de esgotamento da água no solo tolerada pelas culturas (p) foi calculada diariamente, em função dos valores de ET_m , sendo que:

$$p = e^{(A_1 + A_2 \cdot ET_m)} \quad (5)$$

Aplicando-se logaritmo neperiano à equação (5) obteve-se:

$$\ln p = A_1 + A_2 \cdot ET_m \quad (6)$$

Tomando os valores de p tabelados por DOORENBOS & KASSAM (1979) para feijoeiro obteve-se, por regressão linear, o valor dos coeficientes A_1 e A_2 , sendo: $A_1 = 0,0275$ e $A_2 = -0,1334$, com $r^2 = 0,979$.

As épocas de semeadura foram tomadas espaçadas de 10 ou 15 dias, na 'safra das águas', a fim de se verificar todo o período recomendado pela pesquisa. O ciclo médio das culturas foi considerado da emergência à maturação fisiológica, a partir de dados fenológicos coletados por técnicos do IAPAR. As datas de emergência e o número de dias compreendidos pelos sub-períodos emergência-florescimento (EF) e emergência-maturação (EM) são apresentados na Tabela 5.

A demanda climática ideal ou evapotranspiração máxima (ET_m) foi calculada diariamente, pela correção da evapotranspiração de referência (ET_o) a partir do coeficiente de cultura (k_c), ou seja:

$$ET_m = kc.ET_o \quad (7)$$

A fim de estimar os valores diários de Kc, dividiu-se o ciclo da cultura em quatro sub-períodos, de acordo com DOORENBOS & PRUITT (1984) e DOORENBOS & KASSAM (1979). Nos sub-períodos I e III foram utilizados valores constantes, enquanto que para as fases II e IV os valores diários de Kc foram obtidos por funções matemáticas de primeiro grau, onde a variável independente foi a duração relativa do ciclo e os coeficientes foram obtidos por regressão linear simples (Figura 1).

Tabela 4 - Valores de capacidade de água disponível (mm) no início do ciclo vegetativo e no florescimento das plantas de feijoeiro.

Período	Paranavaí	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Pato Branco
Inicial	14,0	20,0	13,0	27,0	21,0
Florescimento	42,0	60,0	54,0	67,0	75,0

Tabela 5 - Data de emergência das plântulas e duração dos sub-períodos emergência-florescimento (EF) e emergência-maturação (EM), em dias, para a cultura do feijoeiro nos diferentes locais considerados no Estado do Paraná.

Local	Data de emergência								EF	EM
	01/set	10/set	20/set	30/set	10/out	20/out	30/out	05/nov		
Cascavel	01/set	10/set	20/set	30/set	10/out	-	-	-	45	90
Londrina	10/ago	20/ago	30/ago	10/set	20/set	30/set	15/out	-	45	90
P.Branco	01/set	10/set	20/set	30/set	10/out	20/out	05/nov	-	50	95
Paranavaí	01/jul	10/jul	20/jul	30/jul	10/ago	20/ago	30/ago	15/set	45	90
P.Grossa	10/set	20/set	30/set	10/out	20/out	05/nov	-	-	50	95

Assumindo-se o período de florescimento como o mais sensível à deficiência hídrica para o feijoeiro, considerou-se como período crítico os 15 dias anteriores e 15 dias posteriores à data prevista para florescimento, compreendendo o intervalo entre o 30° e 60° dia, para os locais onde o sub-período EM é de 90 dias, e o intervalo entre o 35° e 65° dia, para os locais onde EM é de 95 dias.

Para o primeiro dia do ciclo considerou-se o armazenamento de água no solo (ARM) como sendo o máximo possível, devido à emergência das plântulas ocorrer, em situação de campo, após uma chuva ou irrigação. Assim:

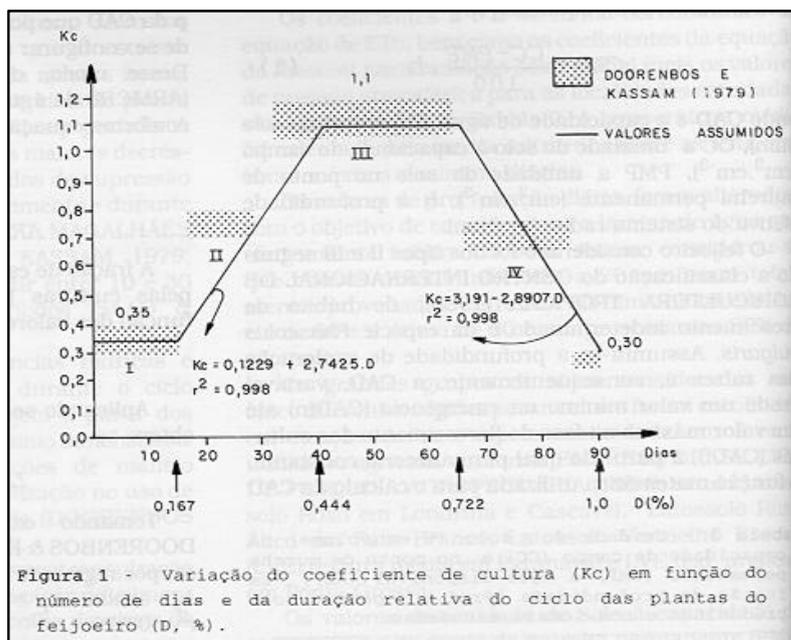
$$ARM = CAD_{in} \quad (8)$$

Em seguida, os valores de CAD foram calculados diariamente, pela equação (2), até a data de florescimento. Do florescimento ao final do ciclo, considerou-se o armazenamento com valor máximo e

constante:

$$CAD = CAD_f \quad (9)$$

A principal modificação apresentada neste modelo, em relação a trabalhos similares utilizando o método de balanço hídrico (MOTA & AGENDES, 1989; ALFONSI et al., 1989; CARAMORI et al., 1991), constou da utilização do armazenamento de água no solo (ARM) entre os limites definidos pela CAD e pelo armazenamento crítico. Toda vez que o armazenamento de água no solo tornou-se menor ou igual ao armazenamento crítico, foi simulada a aplicação de uma lâmina de irrigação (H) suficiente para retornar o armazenamento ao seu valor máximo (igual à CAD). Dessa forma, o modelo permitiu a simulação de condições ótimas de umidade no solo, com evapotranspiração real (ET_r) igual à ET_m durante todo o ciclo, tal como se propõe para culturas irrigadas.



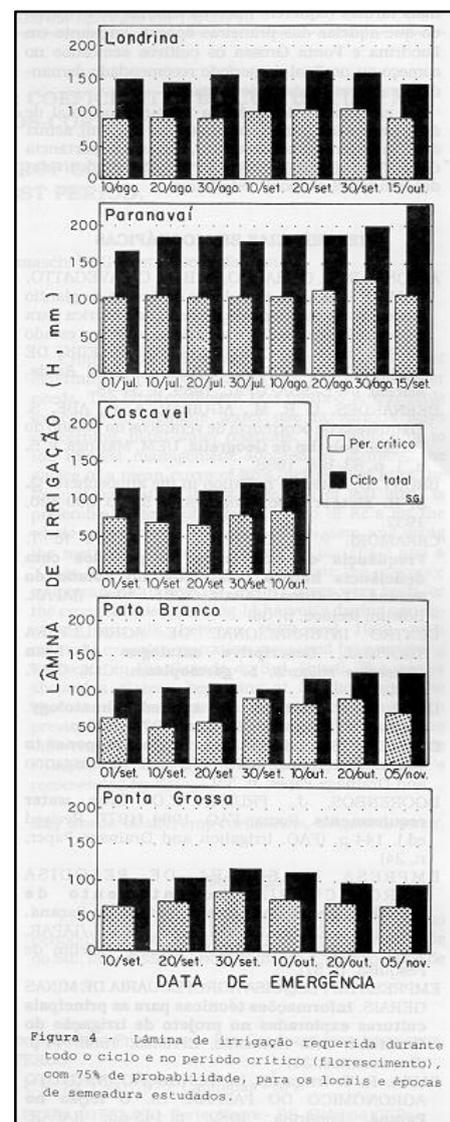
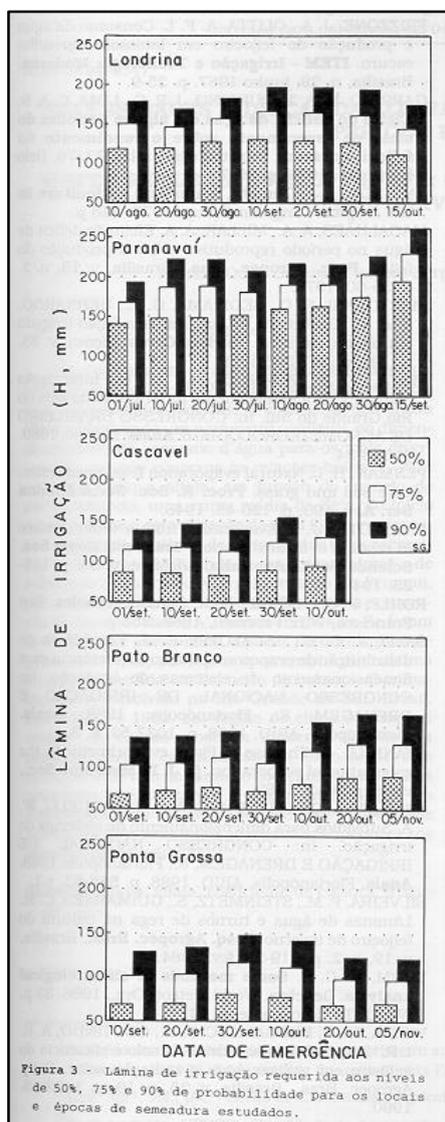
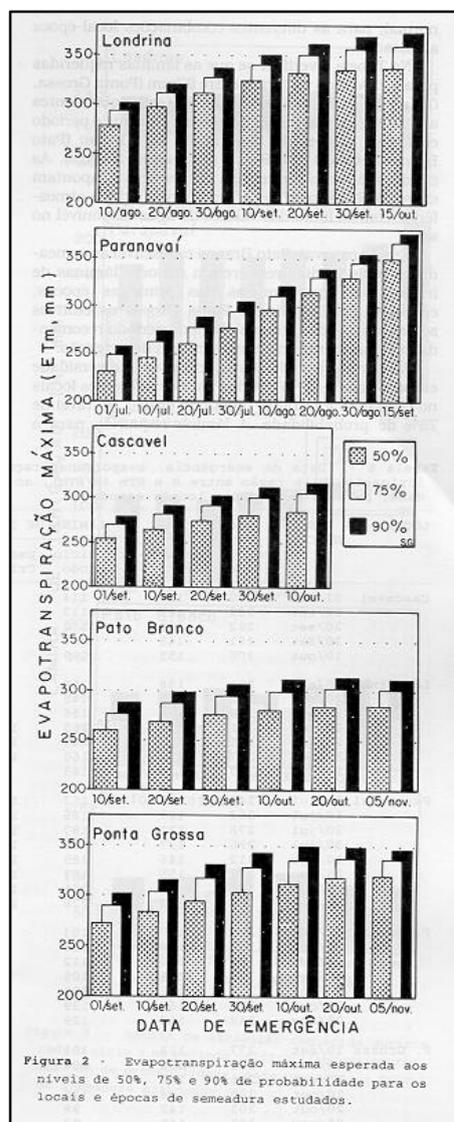
Os valores de H e ET_m calculados diariamente foram totalizados para cada ano agrícola, obtendo-se os valores correspondentes ao ciclo total e também ao período crítico. Os valores de ET_m foram analisados a partir de sua frequência empírica, conforme THOM (1966) e DALE (1976), calculando-se a probabilidade (P(x)) de o valor de ET_m não ser excedido, conforme MOTA & AGENDES (1989). Estes valores são adequados ao dimensionamento de projetos de irrigação, onde são utilizados valores máximos ou de pico.

Os valores de lâmina de irrigação, por sua vez, foram ajustados à distribuição normal, conforme THOM (1966). Aplicou-se o teste de ajustamento de Kolmogorov-Smirnov para verificar se houve diferenças significativas entre as lâminas de irrigação observadas e as estimadas pela distribuição normal,

utilizando valores tabelados a 5% de probabilidade (ROHLF & SOKAL, 1969).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tomando-se os valores totais de H e ETm para cada época de semeadura, observaram-se grandes variações, especialmente no que se refere às lâminas de irrigação necessárias. Para um mesmo local e época de semeadura verificou-se que, nos diferentes anos, os valores de ETm variaram de no máximo 21% acima ou abaixo do valor médio calculado (Londrina, 15/out), enquanto as lâminas de irrigação (H) chegaram a variações de até 175% (Ponta Grossa, 10/set). Assim, pode-se concluir que a variação de H foi devida em parte às alterações da ETm mas também, e principalmente, devida à distribuição irregular da chuva ao longo dos anos estudados.



Na Figura 2 são apresentados os valores de ET_m correspondentes aos níveis de 50%, 75% e 90% de probabilidade e na Tabela 6 os valores para 75% de probabilidade no ciclo todo e durante o período crítico.

Verifica-se, por exemplo, que o feijoeiro cultivado em Cascavel com emergência em 10/set demanda 282 mm de água para evapotranspiração durante seu ciclo, o que equivale a dizer que em 75% dos anos os valores de ET_m devem ser iguais ou menores a 282 mm e em 25% dos anos ocorre o risco desse valor ser superado. A mesma interpretação é válida para os níveis de 50% de probabilidade (risco de 50%) e 90% de probabilidade (risco de 10%).

Os valores de ET_m com 75% de probabilidade estiveram entre 249 e 367 mm, ou seja, de 2.8 a 4.1 mm/dia para o ciclo total. Tanto os menores quanto os maiores valores ocorreram em Paranavaí, demonstrando ser a variação devida principalmente à época de cultivo considerada. Esses valores mostram-se abaixo ou nos níveis inferiores das faixas de variação sugeridas por DOORENBOS & PRUITT (1979), que foram de 300 a 500 mm, bem como dos resultados apresentados pela EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS (1988), entre 360 e 600 mm. Coincidiram, todavia, com o intervalo de 3 a 4 mm por dia sugerido por FARIA (1989) para as condições do Paraná.

Em todos os locais observou-se o aumento da ET_m com o avanço nas datas de semeadura, o que se justifica em função do aumento na energia radiante disponível nessa época do ano.

Os valores de H aos níveis de 50%, 75% e 90% de probabilidade (de os valores não serem excedidos) são apresentados na Figura 3. O teste de Kolmogorov-Smirnov indicou como aceitável ao nível de 5% de probabilidade o ajuste dos dados à distribuição normal, para as diferentes combinações local-época analisadas.

Na Tabela 6 verifica-se que as lâminas requeridas para o ciclo todo variaram entre 97mm (Ponta Grossa, 05/nov) e 228 mm (Paranavaí, 15/set), equivalentes a 1,0 e 2,5 m/dia, respectivamente. Durante o período crítico os valores de H variaram de 51 mm (Pato Branco, 10/set) a 129 mm (Paranavaí, 30/ago). As maiores lâminas requeridas em Paranavaí apontam efeito combinado da elevada demanda hídrica atmosférica com os limitados valores de água disponível no solo.

Em Paranavaí, Pato Branco e Cascavel as semeaduras mais tardias requerem maiores lâminas de irrigação do que aquelas das primeiras épocas, enquanto em Londrina e Ponta Grossa os cultivos semeados no começo ou no final do período recomendado demandaram menores lâminas de irrigação.

A Figura 4 permite verificar a grande diversidade entre os valores de H obtidos para os diferentes locais no ciclo todo e durante o período crítico, ao nível de 75% de probabilidade. A lâmina requerida para o período crítico representou desde 47% (Paranavaí, 15/set) até 88% (Pato Branco, 30/set), demonstrando-se assim a grande importância de considerar esse período de maior demanda nos projetos de irrigação.

Tabela 6 - Data de emergência, evapotranspiração máxima (ETm), lâmina de irrigação (H) e razão entre H e ETm (H/ETm), ao nível de 75% de probabilidade, para os diferentes locais estudados.

LOCAL	EMER- GÊNCIA	ETm (mm)		LÂMINA DE IRRIGAÇÃO (mm)			H/ETm (%)
		ciclo todo	período crítico	ciclo todo	período Crítico	desvio padrão	período crítico
Cascavel	01/set	270	127	114	76	31.4	60.3
	10/set	282	127	117	69	28.2	53.9
	20/set	292	136	112	66	21.2	48.5
	30/set	301	145	123	80	37.7	55.0
	10/out	306	151	129	86	45.1	56.9
Londrina	10/ago	294	138	150	91	34.6	66.0
	20/ago	312	147	145	93	36.8	63.0
	30/ago	328	158	156	92	29.9	57.9
	10/set	341	161	165	102	31.4	63.4
	20/set	351	167	163	105	38.1	62.7
	30/set	357	172	160	106	37.2	61.7
	15/out	360	176	143	93	31.8	52.8
Paranavaí	01/jul	249	118	167	104	35.4	87.6
	10/jul	263	123	186	107	29.3	87.3
	20/jul	278	131	187	105	27.6	80.2
	30/jul	295	137	180	105	34.6	76.6
	10/ago	312	146	189	106	34.1	72.7
	20/ago	331	155	189	115	44.0	74.4
	30/ago	346	166	201	129	43.6	77.5
	15/set	367	172	228	108	11.4	63.1
P. Branco	01/set	290	130	103	64	29.1	49.3
	10/set	304	138	106	51	26.3	36.6
	20/set	318	150	112	59	27.5	39.1
	30/set	329	158	105	93	47.0	58.6
	10/out	336	162	120	85	37.7	52.5
	20/out	338	160	129	94	51.3	58.5
	05/nov	337	156	129	74	33.0	47.5
P. Grossa	10/set	277	128	101	63	34.5	49.3
	20/set	288	136	104	71	30.1	51.9
	30/set	295	140	117	85	39.6	60.5
	10/out	300	144	112	75	37.2	52.4
	20/out	303	142	98	69	35.1	48.8
	05/nov	302	140	97	66	25.2	47.5

O quociente entre os valores de H e de ETm durante o período crítico (Tabela 6) permite avaliar a importância da irrigação suplementar na semeadura do feijoeiro na época ‘das águas’. Os menores valores dessa razão foram de 47% (em Pato Branco e Ponta Grossa, 05/nov) e os maiores de 87% (Paranavaí, 1 e 10/jul). Essa acentuada necessidade de irrigação (acima de 47%) para manter a cultura sob níveis ideais de umidade durante o florescimento permite considerar a deficiência hídrica como um dos principais fatores limitantes à produção de feijão no Estado do Paraná. As épocas com menores valores de H/ETm devem apresentar menor risco de insucesso para culturas não irrigadas, uma vez que a participação da chuva na satisfação das necessidades hídricas é maior.

CONCLUSÕES

Os valores de ETm a 75% de probabilidade de ocorrência estão compreendidos entre 249 mm (2,8 mm/dia) e 367 mm (4,1 mm/dia) para o ciclo todo e entre 3,8 e 5,7 mm/dia para o período de florescimento. A variação da ETm dá-se principalmente em função das épocas de semeadura.

As lâminas de irrigação requeridas durante o ciclo do feijoeiro variam, em média, entre 97 mm (1.0 mm/dia) e 228 mm (2.5 mm/dia). Durante o período crítico os valores de H estiveram entre 51 e 129 mm, com 75% de probabilidade. Londrina e Paranaíba demandam lâminas de irrigação superiores às de Pato Branco, Ponta Grossa e Cascavel.

Em Paranaíba, Pato Branco e Cascavel as semeaduras Tais tardias requerem maiores lâminas de irrigação do que aquelas das primeiras épocas, enquanto em Londrina e Ponta Grossa os cultivos semeados no começo ou no final do período recomendado demandam menores lâminas de irrigação.

A elevada participação da irrigação no total de água necessária para a cultura (razão H/ETm), acima de 47% durante o período crítico, indica a importância dessa prática para a obtenção de altas produtividades, em todos os locais estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSI, R. R., CAMARGO, M. B. P., CHIAVEGATTO, O. M. D. P. et al. 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: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, Maceió, 1989. **Anais**. Maceió, INPE/SBA/UFAL, 1989. p. 34-48.
- BERNARDES, L. R. M., AGUILAR, A. P., ABE, S. Frequência de ocorrência de veranicos no Estado do Paraná. **Boletim de Geografia**, UEM, Maringá, v. 6, n. 1, p. 83-108, 1988.
- BRUNT, D. Notes on radiation in the atmosphere. **Q. J. R. Meteor. Soc.**, Londres, v. 58, p. 389-420, 1932.
- CARAMORI, P. H., OLIVEIRA, D., FARIA, R. T. **Frequência de ocorrência de períodos com deficiência hídrica (veranicos) no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1991. 40 p. (IAPAR. Boletim técnico, n. 36)
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, **Descriptive catalogue of bean *Phaseolus vulgaris*, L. germoplasm**. Cali, CIAT, 1980.
- DALE, R. F. **Methods in applied climatology**. Statistical Climatology Course, [1976]. 125 p.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Fao: Roma, 1979. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, n. 33)
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Roma, FAO, 1984 (1977, Revised ed.). 144 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, n. 24)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Londrina, EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. 2t. 791 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de Pesquisa, n. 57).

- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Informações técnicas para as principais culturas exploradas no projeto de irrigação do Gorutuba**. Belo Horizonte, EPAMIG, 1988. 44 p. (Documentos, 31)
- FARIA, R. T. Irrigação. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, ed. **O feijão no Paraná**. Londrina, 1989. p. 145-65. (IAPAR. Circular, 63)
- FRIZZONE, J. A., OLITTA, A. F. L. Consumo de água e produção do feijoeiro em latossolo vermelho escuro. **ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 29, junho 1987. p. 25-9.
- GARRIDO, M. A. T., PURCINO, J. R. C., LIMA, C. A. S. **Efeito do déficit de água em alguns períodos do ciclo de crescimento sobre o rendimento do feijoeiro comum**. Projeto Feijão, relat. 77/78, Belo Horizonte, 1979. p. 25-7.
- JACKSON, I. J. **Climate, water and agriculture in the tropics**. Longman Group, 1977. 248 p.
- MAGALHÃES, A. A., MILLAR, A. A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção do feijão. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 13, n. 2, p. 55-60. 1978.
- MANTOVANI, E. C., SEDIYAMA, G. C., BERNARDO, S. et al. Coeficiente de cultura para feijão irrigado em plantio de 'seca'. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 35, n. 199, p. 297-306. 1988.
- MOTA, F. S., AGENDES, M. O. O. Informação climática para planejamento da irrigação da soja no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6. **Anais**. Maceió, 1989. p. 348-54.
- PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proc. R. Soc. Ser. A London Ser. A**, v. 193, p. 120-45. 1948.
- PRESCOTT, J. A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Transact. Royal Soc. Science South Australia**, Adelaide, v. 64, p. 114-25. 1940.
- ROHLF, F. J., SOKAL, R. R. **Statistical tables**. San Francisco, W.H. Freeman, 1969. 253 p.
- SAAD, J. C. C., SCALOPPI, E. J. Frequência de distribuição de evapotranspiração de referência para dimensionamento de sistemas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., Florianópolis, 1988. **Anais**. Florianópolis, ABID, 1988. p. 1037-52. v. 3.
- STANHILL, G. The use of Piche evaporimeter in the calculation of evaporation. **Q. J. R. Meteorol. Soc.**, v. 88, p. 80-2, 1962.
- SILVA, W. L. C., OLIVEIRA, C. A. S., MAROUELLI, W. A. Subsídios para dimensionamento de sistemas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., Florianópolis, 1988. **Anais**. Florianópolis, ABID, 1988. p. 535-53. v.1.
- SILVEIRA, P. M., STEINMETZ, S., GUIMARÃES, C. M. Lâminas de água e turnos de rega na cultura do feijoeiro de inverno. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 219-23, fev. 1984.

THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis**. Genebra, World Meteor. Org., 1966. 53 p.
(WMO. Technical note, n. 81)

VIEIRA, H. J., BERGAMASCHI, H., COUTINHO, A. R. L.R. Disponibilidade hídrica do solo e eficiência do feijoeiro em utilizar água e radiação solar. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 25, n. 10, p. 1429-45, 1990.