

UM MODELO PARA DETERMINAÇÃO DE IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR*

Salassier Bernardo
Robert W. Hill**

1. INTRODUÇÃO

Sob alta demanda de evapotranspiração potencial (ET_p), a evapotranspiração atual (ET_a) de qualquer planta torna-se, progressivamente, mais sensível ao decréscimo do teor d'água no solo. A perda de turgescência das plantas provoca redução do alongamento das células e menor crescimento vegetativo, a menos que a precipitação natural seja suplementada com irrigação. Para garantir ou aumentar a produção vegetal nas regiões úmidas, a irrigação suplementar tem grande potencial. Nessas regiões, há tempos a precipitação natural nos meses chuvosos tem sido suficiente para que haja boa produção. Porém, freqüentemente, a falta de chuvas nos estágios críticos do desenvolvimento das plantas concorre para a redução quantitativa e qualitativa da produção agrícola. O potencial para irrigação suplementar é maior nas regiões tropicais e subtropicais, onde esse tipo de irrigação contribui não só para aumentar a produção por planta mas também para alongar o comprimento do período de cultivo.

O clima, no Brasil, é tropical e subtropical, com vários graus de aridez no Nordeste, e com estação chuvosa que varia em época, comprimento e magnitude de Região para Região. Boa parte da precipitação anual ocorre quando os vegetais não têm capacidade para usá-la totalmente, em razão de se concentrar em tempo relativamente curto.

No Brasil, o desenvolvimento agrícola tem tido prioridade no programa geral de desenvolvimento do País, e a irrigação tem sido reconhecida como recurso de grande importância para esse desenvolvimento.

Pelo fato de as terras brasileiras estarem sob clima úmido e semi-úmido, recebendo considerável quantidade de chuva, a quantidade d'água calculada para irrigação tem sido maior que a quantidade realmente necessária. Existem várias razões para isto, porém, as duas mais importantes são:

1) Falta de informações referentes a determinações da quantidade d'água necessária para aplicação de irrigação suplementar (a maioria dos cientistas em irrigação são de regiões áridas ou nelas trabalham — irrigação total).

2) Os agricultores de regiões úmidas relutam em investir em equipamentos de irrigação, porque sem nenhuma irrigação ainda conseguem alguma produção.

* Trabalho apresentado no IV Simpósio sobre o Cerrado — Brasília, DF, em 21-25/06/76.

Recebido para publicação em 21-07-1976.

** Professor Titular na Universidade Federal de Viçosa e Associate Professor, Utah State University.

Sendo assim, há necessidade de se desenvolver um modelo matemático para determinação da quantidade d'água que deve ser aplicada na irrigação suplementar.

Ultimamente, os modelos econômicos de projetos de irrigação vêm sendo baseados nos experimentos de campo. Esses experimentos têm sido conduzidos em várias culturas e regiões. As conclusões obtidas são válidas somente sob condições semelhantes às que prevaleceram durante os experimentos. Para prever a água e a «performance» das culturas sob diferentes condições de solo e clima, há necessidades de funções teóricas ou empíricas que possam ser aplicadas sob qualquer condição, não requerendo dados complexos.

O objetivo deste estudo é desenvolver um modelo que analise a precipitação regional para determinar freqüência de irrigação, quantidade d'água requerida por irrigação e quantidade d'água necessária por mês e ano, ou seja, um modelo que determine a irrigação suplementar para qualquer combinação de solo-planta-clima.

2. MATERIAL E MÉTODO

Ultimamente, foram publicados vários trabalhos, tais como os de JENSEN *et alii* (6), BAUER (1), GODWIN *et alii* (4), LEMBKE e JONES (7), BURAS *et alii* (3), SNEED and SOWEL (9), MOREY and GILLETT (8), STEWART *et alii* (11), SHIMSHJ *et alii* (10) e BERNARDO (2), considerando o método de balanço d'água, para se planejarem sistemas de irrigação.

Essas publicações diferem quanto a grau de sofisticação e complexidade, número e tipo dos dados requeridos e uso de evapotranspiração potencial ou atual. Elas também diferem quanto ao modo de decidir quando se deve irrigar: se se deve permitir que a água no solo chegue a certo nível, se deve ser feita a pré-motorização diária da água no solo, ou se se deve usar a planta como indicador.

Em geral, esses métodos usam dados climáticos (precipitação e evapotranspiração), dados de solo (tipo e quantidade d'água disponível), dados de planta (comprimento e época do período de desenvolvimento), períodos críticos para deficiência d'água, profundidade de raiz, etc., e algum meio para determinar o teor d'água no solo.

Desde que a freqüência de irrigação é função do solo, do clima, da cultura e do nível mínimo d'água no solo entre duas irrigações consecutivas, o modelo deverá reunir a precipitação diária em períodos de diferentes comprimentos (de 5 a 30 dias), dependendo da disponibilidade real entre as irrigações (Quadro 1).

O modelo deverá decidir quando irrigar ao final de cada dia. A decisão será baseada no resultado do balanço d'água no solo, determinado pela seguinte equação:

$$DSW (I, J) = DSW (I, J-1) - K \times ET_p + DRF (I) \quad (1)$$

onde:

$DSW (I, J)$ = água disponível no solo I, no fim do dia J, em mm.

$DSW (I, J-1)$ = água disponível no solo I, no fim do dia anterior, em mm.

K = coeficiente para converter evapotranspiração potencial em evapotranspiração atual.

ET_p = evapotranspiração potencial.

$DRF (I)$ = precipitação dependente para o solo I, em mm.

Quando a água disponível do solo é igual a ou menor que o nível mínimo especificado para esse tipo de solo, o modelo recomenda irrigação e calcula um novo balanço d'água no solo. A quantidade d'água aplicada por irrigação é igual à diferença entre a disponibilidade máxima d'água do solo e o nível d'água no dia da irrigação.

Água disponível

O modelo lê doze valores de disponibilidade total d'água no solo (DTA). Decide-se irrigar, para cada condição, quando é usada certa percentagem pré-especificada da disponibilidade total d'água (DTA), chamada daqui para a frente de disponibilidade real d'água (DRA).

QUADRO 1 - Período de precipitação em função da disponibilidade real de água (DRA)

Disponibilidade real de água (DRA)	Período de precipitação
DRA \leq 20 mm	5 dias
20 mm \leq DRA \leq 35 mm	10 dias
35 mm \leq DRA \leq 55 mm	15 dias
DRA \geq 55 mm	30 dias

Usando valores de disponibilidade real d'água, o resultado do modelo não fica restrito a nenhuma combinação especial solo-cultura.

Evapotranspiração

A evapotranspiração potencial (ET_p) foi estimada usando o método descrito por Hargreaves (5), equação (2), por meio de uma sub-rotina.

Como o cálculo da evapotranspiração potencial está numa sub-rotina, facilmente ela poderá ser substituída por qualquer outra equação, com mínima alteração no modelo.

$$ET_p = MF \times T \times CH \quad (2)$$

onde:

ET_p = evapotranspiração potencial

MF = fator mensal, dependendo da latitude

T = temperatura média mensal, em $^{\circ}F$

CH = 0.166 (100-H) $^{1/2}$, com um valor máximo de 1.0

H = umidade relativa média mensal

A evapotranspiração atual (ET_a) foi calculada multiplicando ET_p por um fator K, que é função da condição atual de umidade do solo na época da irrigação, ou seja:

$$ET_a = K \times ET_p \quad (3)$$

ET_a = evapotranspiração atual

K = coeficiente de umidade do solo

ET_p = evapotranspiração potencial

O coeficiente de umidade do solo determina a fração da ET_p , que evapotranspira à medida que a umidade do solo vai diminuindo, equação (4).

$$K = \frac{\ln (DAA + 1)}{\ln (DTA + 1)} \quad (4)$$

onde:

DAA = disponibilidade atual d'água no solo, em mm

DTA = disponibilidade total d'água no solo, em mm

Essa função dá uma curva tipo Pierce, como se vê na Figura 1.

Precipitação

A precipitação diária foi reunida em períodos de cinco, dez, quinze e trinta dias cada um. Para cada período, o modelo computou a precipitação dependente em treze níveis de probabilidade: 95, 90, 80, 75, 70, 60, 50, 40, 30, 25, 20, 10 e 5 por cento, por meio da função gama incompleta.

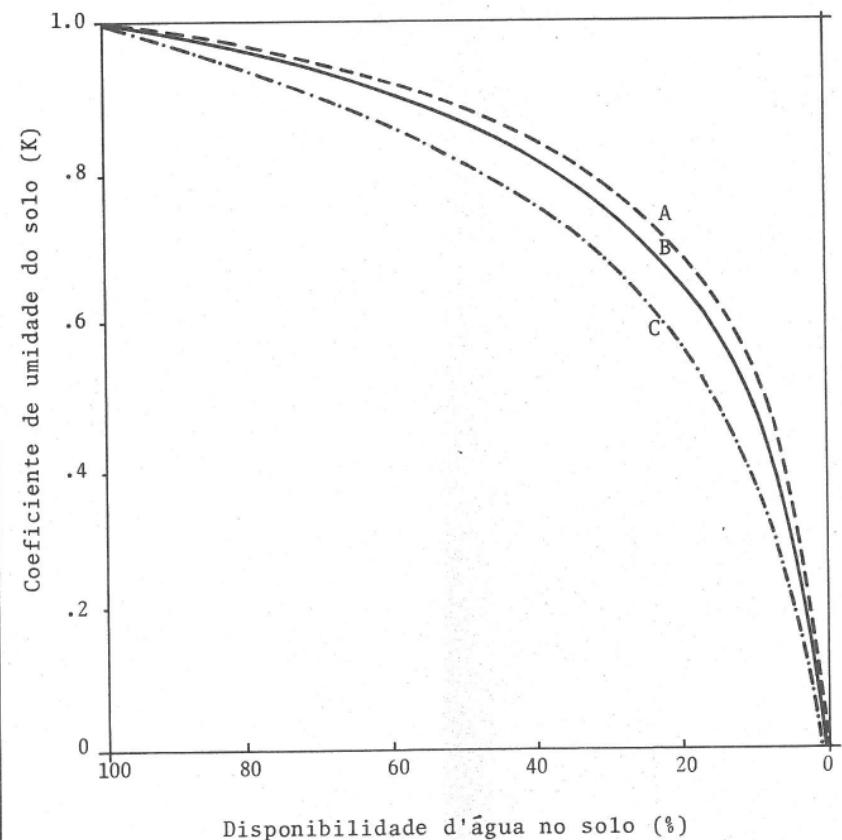


FIGURA 1 - Relação entre a disponibilidade d'água e o coeficiente de umidade.

A, B e C são solos com disponibilidade total d'água (DTA) de 240, 100 e 30 mm, respectivamente.

$$F(x) = \int_0^x \frac{c^{-\lambda x} x^p \lambda^{(p+1)}}{\Gamma_x(p+1)} dx \quad (5)$$

onde:

$F(x)$ = probabilidade de ocorrência de um evento
 x = quantidade do evento
 e = base de logaritmo neperiano
 λ = Parâmetro de escala
 P = parâmetro de forma
 Γ_x = função gama incompleta

Como o nível de probabilidade de setenta e cinco por cento representa a quantidade de precipitação igual a ou maior que um valor provável que se espera ocorrer em três de cada quatro anos, ele é tomado como um nível razoável para o desenvolvimento de irrigação sob a maioria das condições. O modelo usou o nível de probabilidade de 75% para calcular a precipitação dependente, a fim de decidir o número e a quantidade de irrigação suplementar para cada combinação solo-clima.

A precipitação efetiva foi definida no modelo como sendo a parte da irrigação dependente que foi usada para satisfazer o uso consumutivo requerido. Isto foi conseguido pela determinação diária do balanço d'água no solo, equação (1). Quando a disponibilidade d'água no solo, em virtude da precipitação dependente, era maior que a DTA que o solo poderia reter, a umidade do solo assumia um valor igual à DTA daquele solo, e o excesso de precipitação era considerado como perda por percolação ou por erosão superficial.

«Entrada» e «Saída» do Modelo

A «entrada» do modelo basicamente descreve o solo, a cultura e as condições climáticas para cada região sob estudo, sendo:

Solo — Doze valores de DTA, compreendendo uma variação completa de valores obtidos pela combinação das características físicohídricas dos solos e das profundidades de raízes possíveis de serem encontradas na área de estudo.

Cultura — Época de plantio e percentagem da DTA que pode ser utilizada entre duas irrigações consecutivas para cada cultura, sem que a produção seja afetada.

Clima — Temperatura média mensal e umidade relativa, resultantes de muitos anos de observação, e precipitação diária durante um período igual a ou maior que dez anos.

A «saída» do modelo para cada estação pode ser dividida em três seções:

1 — Precipitação média e precipitação dependente para todos os períodos usados.

2 — Evapotranspiração potencial para o período de cinco dias.

3 — Intensidade, número e intervalo de irrigação, irrigação acumulada requerida para o ano e precipitação efetiva.

Na Figura 2 é apresentado um fluxograma demonstrando a lógica básica do modelo.

Dados de doze estações da bacia de São Francisco, indicadas na Figura 3, foram usados no modelo para se determinar a irrigação suplementar requerida para os 365 dias do ano, naquela bacia.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Os parâmetros para irrigação suplementar para as doze estações situadas no Vale do Rio São Francisco, para as quais se dispunha de dados básicos, foram calculados pelo modelo.

Os dados da «Saída» foram usados para plotar curvas de número, período de irrigação e precipitação efetiva versus disponibilidade real d'água no solo (DRA).

Regressão Linear — No Quadro 2 tem-se a regressão linear entre a precipitação média e a dependente das doze estações da bacia. A regressão linear entre a média mensal e a probabilidade mensal, ou entre a média mensal e a soma dos períodos de cinco, dez ou quinze dias no mês, demonstra que, à medida que o número de dias no período diminui, a precipitação dependente por dia também diminui.

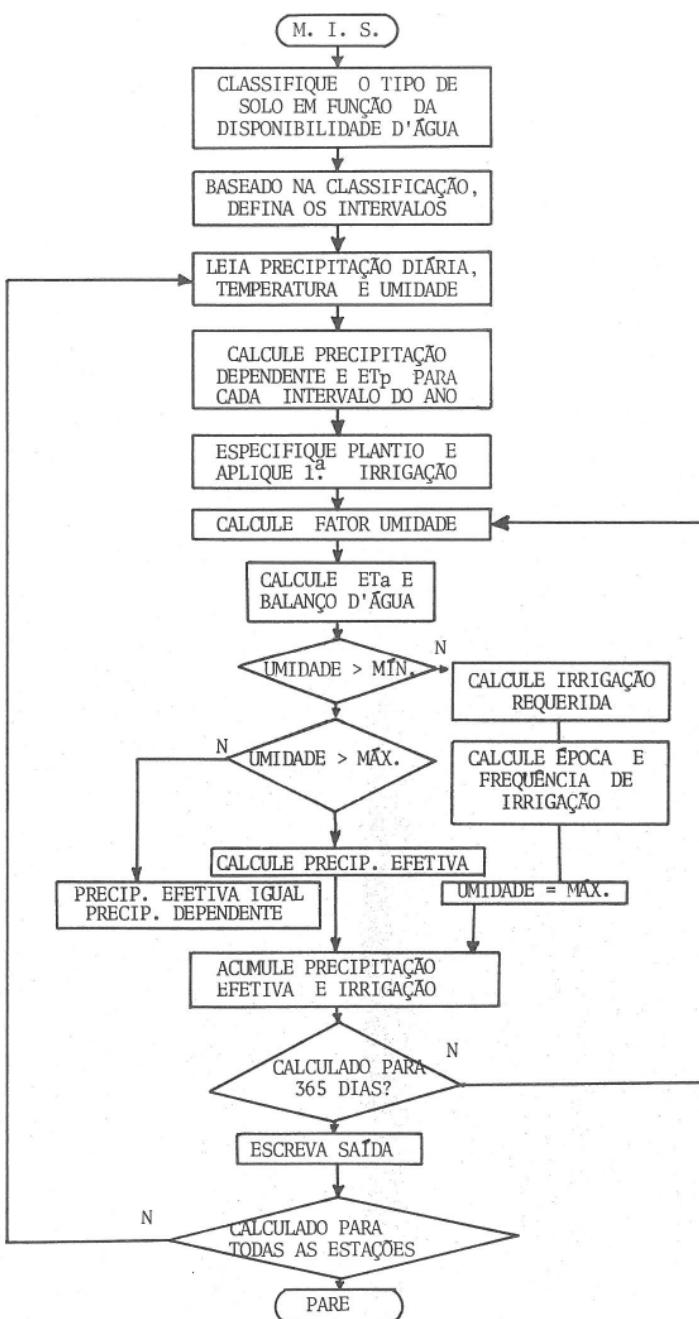


FIGURA 2 - Fluxograma demonstrando a lógica do modelo.

Locação da Bacia



N



Fortaleza

Recife

Salvador

Vitória

oceano atlântico

Rio de Janeiro

ESTAÇÕES

- 1-Propriá
- 2-Petrolândia
- 3-Petrolina
- 4-Remanso
- 5-Barra
- 6-Ibipetuba
- 7-Barreiras
- 8-Paratinga
- 9-Caetité
- 10-Januária
- 11-S. Francisco
- 12-Pirapora

FIGURA 3 - Bacia do rio São Francisco, mostrando-se a localização das estações cujos dados foram usados no modelo.

QUADRO 2 - Regressão linear ($Y = A + BX$)* e coeficiente de correlação entre a precipitação média e dependente, a 75%, para o Vale do São Francisco

Período	Parâmetros		Coeficiente de correlação	Número de comparações
	A	B		
Cinco dias	-0,588	0,129	0,544	864
Dez dias	-2,422	0,302	0,698	432
Quinze dias	-3,719	0,408	0,778	288
Mensal	-7,973	0,627	0,940	144
Mensal x 5 dias**	-3,500	0,129	0,617	144
Mensal x 10 dias**	-5,929	0,283	0,774	144
Mensal x 15 dias**	-7,045	0,403	0,810	144

* X = precipitação média; Y = precipitação dependente

** = soma das precipitações dependentes dos respectivos períodos que ocorreram no mês.

Isto se deve ao fato de que, à medida que o número de dias em cada período aumenta, a distribuição da precipitação total que ocorre no período aproxima-se de uma distribuição normal.

Período de irrigação — Um dos parâmetros básicos para calcular um projeto de irrigação é o período de irrigação. Ele é definido como sendo o número de dias necessários para se aplicar irrigação numa determinada área. O período de irrigação deve ser igual a ou menor que o intervalo entre duas irrigações sucessivas, ou turcos de rega.

Sob irrigação suplementar, devem-se utilizar, o máximo possível, as precipitações naturais. Como a primeira irrigação é para germinação, deve ser aplicada no início da estação chuvosa. Também foi decidido que o período de irrigação nunca excederia trinta dias, mesmo quando os intervalos entre irrigação excedessem em muito esse período, o que ocorre durante a estação chuvosa.

Para simplificar os cálculos, o ano foi dividido num número discreto de intervalos, com valores não inferiores a 60 dias cada um, visto que o período de irrigação é uma função da DRA e da época do ano. O período de irrigação em cada intervalo foi calculado em função da DRA. Para os intervalos com meses chuvosos o período de irrigação foi maior. Para os meses em que ocorreram algumas chuvas, ou menor demanda de evapotranspiração, o período foi intermediário. Para os meses sem chuvas, ou alta demanda de evapotranspiração, o período foi curto. Na Figura 4 tem-se a relação entre os períodos de irrigação e a disponibilidade real d'água (DRA) para uma estação.

Para essa estação, nota-se, na referida figura, que, para uma mesma disponibilidade real d'água do solo, tem-se o maior período de irrigação na estação chuvosa (novembro a janeiro). Nessa estação, o projeto deve ser calculado para satisfazer a necessidade de irrigação naquele intervalo, ou seja, durante a estação chuvosa, para que o sistema de irrigação seja mais eficiente. Na estação chuvosa, toda a área para a qual o sistema foi projetado será cultivada. Para outros intervalos, que não o da estação chuvosa, somente será cultivada uma fração da área inicial, igual à razão entre o período atual e o período de estação chuvosa. Seguindo-se esse princípio, será possível minimizar a capacidade do sistema, maximizar o uso da precipitação dependente e estabilizar a produção agrícola durante todo o ano.

Aplicação do Modelo — Projetar um sistema de irrigação suplementar para a estação de São Francisco — MG, com uma disponibilidade real d'água (DRA) de 60 mm e uma área de 100 hectares:

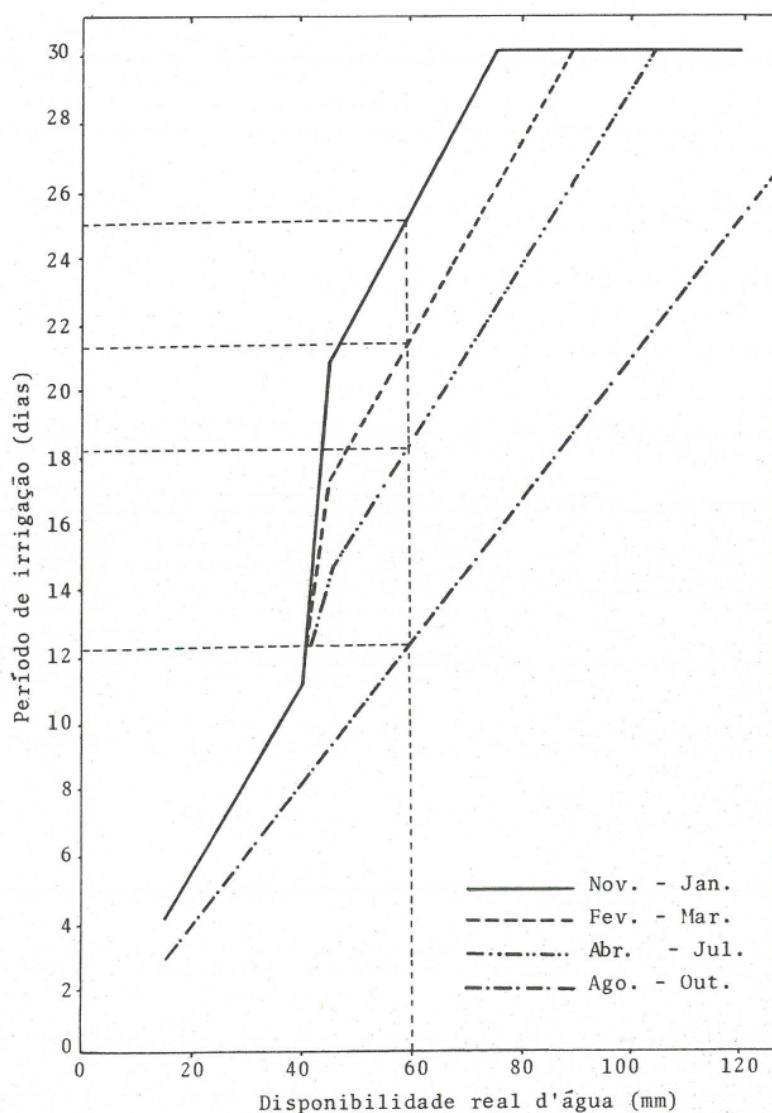


FIGURA 4 - Amostra de período de irrigação em função da disponibilidade real d'água e da época do ano, para São Francisco, MG.

Pela Figura 4 os períodos de irrigação serão:

novembro - janeiro	= 25 dias
fevereiro - março	= 21 dias
abril - julho	= 18 dias
agosto - outubro	= 12 dias

O sistema deverá ter capacidade para irrigar os 100 hectares em 25 dias, ou seja, para dimensionar o sistema deve-se usar um período de irrigação de 25 dias.

Sendo assim, toda a área (100 ha) seria cultivada de novembro a janeiro; 84 hectares de fevereiro a março; 72 hectares de abril a julho e 48 hectares de agosto a outubro.

Exemplo dos valores anuais de números de irrigação e da evapotranspiração atual, irrigação suplementar e precipitação efetiva encontra-se na Figura 5 e no Quadro 3, respectivamente.

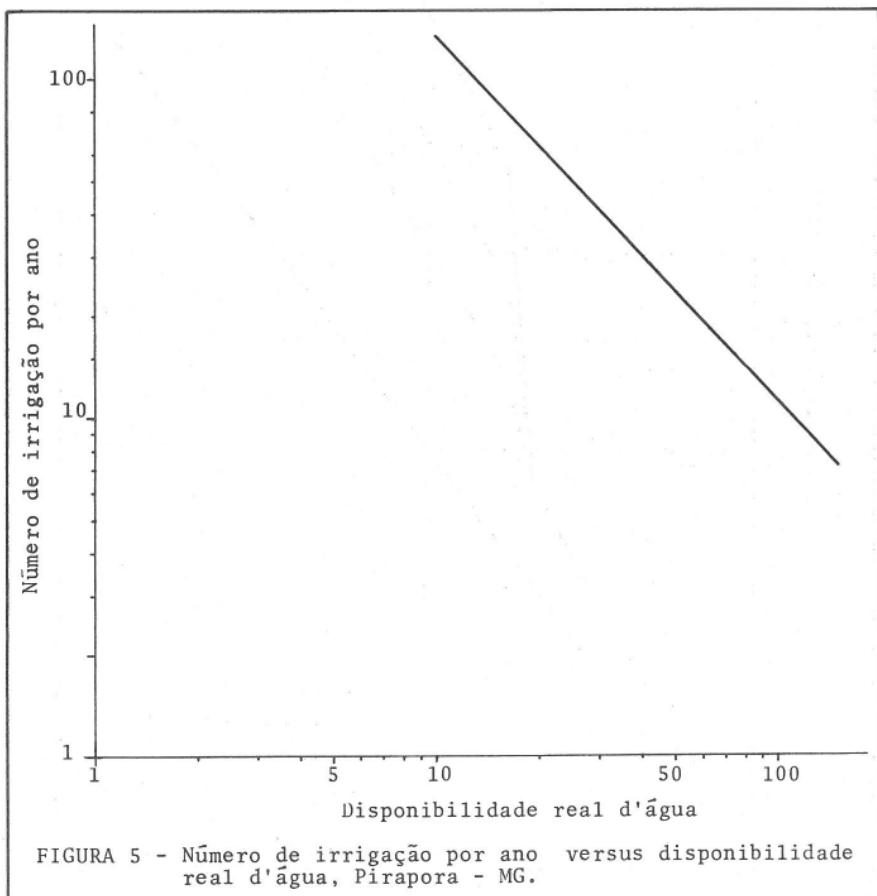


FIGURA 5 - Número de irrigação por ano versus disponibilidade real d'água, Pirapora - MG.

Este quadro mostra que a precipitação efetiva diminui à medida que o intervalo em que a precipitação diária foi reunida diminui. Isso significa que o critério de se usarem somente valores mensais para calcular precipitação dependente pode superestimar a precipitação efetiva para períodos curtos, o que causaria deficiência d'água às culturas e, consequentemente, diminuiria a produção.

Exemplos de precipitação dependente, irrigação requerida, evapotranspiração potencial, distribuição mensal de precipitação efetiva e irrigação suplementar e do balanço d'água no solo, calculados pelo modelo, encontram-se nos Quadros 4, 5 e

6 e nas Figuras 6 e 7, respectivamente.

QUADRO 3 - Valores anuais de ETa, Irrigação Suplementar e Precipitação Efetiva, para Pirapora - MG, (em mm)

Número -57-40-71.5	Cidade - Pirapora	Latitude -17-22	
Altitude -488	Estado - Minas Gerais	Longitude -44-56	
DRA	ETa	Irrigação Suplementar	Precipitação Efetiva
120	1507	792	715
105	1489	990	499
90	1485	980	499
60	1470	1139	331
55	1468	1137	331
50	1466	1136	331
45	1462	1131	331
40	1464	1242	222
35	1460	1238	222
30	1452	1231	222
15	1445	1224	222

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Dados de 12 estações da bacia do São Francisco foram usados no modelo, com 12 valores de disponibilidade total d'água no solo para cada estação. Foram calculadas curvas de período de irrigação, número de irrigação, irrigação suplementar anual e precipitação efetiva versus disponibilidade real d'água para cada estação. Foi demonstrada a utilidade dessas curvas para se projetarem sistemas de irrigação suplementar.

Ele foi feito com o objetivo de auxiliar o projeto de irrigação suplementar, de modo que a capacidade do projeto fosse minimizada para uso durante todo o ano ou parte dele.

Os dados requeridos e as etapas suplementares envolvidas no modelo para o cálculo de irrigação em qualquer local estão listados abaixo:

1 - Doze valores de disponibilidade total d'água no solo (DTA), cobrindo a variação total dos valores obtidos pela combinação das características do solo e das profundidades de raízes possíveis de serem encontradas na área de estudo.

2 - Dados climáticos, incluindo os valores médios mensais de temperatura do ar, umidade relativa e valores diários de precipitação durante um período igual ou superior a 10 anos.

3 - O dia pós-plantio, quando a primeira irrigação for aplicada.

4 - O modelo analisa os dados em quatro intervalos, dependendo da disponibilidade real d'água (DRA) que se deseja usar entre duas irrigações sucessivas, calculando-se o balanço hídrico diário.

5 - A precipitação efetiva é a fração da precipitação dependente, ao nível de 75%

QUADRO 4 - Amostra de precipitação dependente em vários níveis de probabilidade, para o período de 15 dias, em mm

Número do Período	Média	(Níveis de Probabilidade)										
		95.	90.	80.	75.	70.	60.	50.	40.	30.	25.	20.
1	11.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	2.	6.	9.	13.	33.
2	29.	0.	0.	2.	3.	6.	10.	17.	29.	36.	47.	58.
3	40.	0.	0.	1.	1.	4.	9.	18.	33.	45.	61.	82.
4	22.	0.	0.	0.	1.	2.	5.	9.	18.	24.	33.	66.
5	29.	0.	0.	1.	1.	2.	5.	10.	17.	28.	36.	66.
6	40.	0.	0.	1.	2.	3.	6.	12.	22.	38.	46.	83.
7	56.	0.	1.	3.	5.	7.	14.	24.	38.	59.	74.	116.
8	30.	4.	6.	10.	12.	15.	19.	24.	30.	37.	41.	62.
9	27.	0.	0.	1.	1.	2.	5.	9.	16.	26.	34.	44.
10	16.	0.	0.	1.	2.	4.	7.	11.	17.	21.	26.	43.
11	21.	9.	11.	13.	14.	15.	17.	19.	22.	24.	27.	36.
12	10.	1.	2.	4.	4.	5.	7.	8.	10.	12.	14.	21.
13	11.	1.	2.	3.	4.	5.	7.	8.	10.	15.	17.	22.
14	19.	4.	5.	8.	9.	11.	13.	16.	19.	23.	26.	37.
15	10.	0.	0.	1.	1.	1.	3.	5.	7.	11.	13.	27.
16	4.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	1.	2.	3.	5.	6.
17	6.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	2.	3.	5.	7.
18	4.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	2.	3.	5.
19	7.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	2.	4.	6.
20	11.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	3.	5.	10.
21	11.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	3.	5.	12.
22	11.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	3.	5.	9.
23	15.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	2.	4.	14.
24	39.	2.	4.	9.	11.	14.	20.	27.	36.	47.	54.	91.

QUADRO 5 - Amostra de irrigação requerida, em mm, para probabilidade de precipitação de 75%

DRA*	Nº de Irrigação	120	105	90	75	60	55	Cidade - Petrolândia	Latitude 9º - 4'
								Estado - Pernambuco	Longitude 38º - 18'
(Irrigação requerida, em mm - Dia do ano - Intervalo com a anterior)									
1	66-	91-	0	10-	91-	0	70-	91-	0
2	122-	127-	36	108-	119-	28	91-	114-	23
3	122-	166-	39	105-	148-	29	91-	139-	25
4	122-	212-	46	108-	187-	39	91-	171-	32
5	123-	234-	31	108-	222-	35	91-	203-	32
6	120-	287-	24	109-	247-	25	92-	229-	26
7	125-	289-	22	107-	268-	21	90-	249-	20
8	122-	309-	20	108-	277-	19	92-	267-	18
9	123-	329-	20	109-	305-	18	95-	284-	17
10	121-	350-	21	107-	322-	18	90-	299-	15
11	121-	6-	21	108-	339-	17	93-	314-	15
12	122-	26-	20	108-	357-	18	95-	329-	15
13	123-	47-	21	107-	10-	18	95-	344-	15
14	123-	73-	26	109-	28-	18	93-	360-	16
15				110-	47-	19	95-	11-	16
16				109-	67-	20	91-	26-	15
17				106-	38-	21	94-	42-	16
18				90-	58-	16	79-	1-	14
19				95-	76-	18	78-	27-	13
20							76-	40-	13
21							79-	54-	14
22							75-	68-	14
23							76-	33-	15
24								61-	19-
25								60-	23-
26								40-	11
27								62-	51-
28								61-	64-
29								74-	12
30								61-	86-
31								12	11

* DRA = Disponibilidade real d'água no solo.

QUADRO 6 - Amostra de evapotranspiração potencial para períodos de 5 dias e mensal, em mm/dia

Mês Período	Cidade - Petrolândia Estado - Pernambuco												Latitude Longitude	9 - 38 -
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.		
1-6	7-12	13-18	19-24	25-30	31-36	37-42	43-48	49-54	55-60	61-66	67-72			
6.5	6.2	5.8	5.1	4.2	3.5	3.4	4.0	5.0	6.0	6.6	6.7			
6.5	6.2	5.7	4.9	4.1	3.5	3.3	4.1	5.2	6.1	6.7	6.7			
6.5	6.1	5.6	4.8	4.0	3.5	3.3	4.3	5.4	6.3	6.7	6.7			
6.5	6.0	5.5	4.7	3.9	3.5	3.4	4.5	5.5	6.4	6.8	6.7			
6.5	5.9	5.4	4.5	3.7	3.5	3.6	4.7	5.7	6.5	6.8	6.7			
Mês	6.5	5.9	5.2	4.4	3.6	3.4	3.7	4.8	5.8	6.5	6.7	6.7	201.4	207.7
	201.3	170.1	171.0	141.7	121.4	104.9	107.4	137.1	162.8	195.2	201.4	207.7		

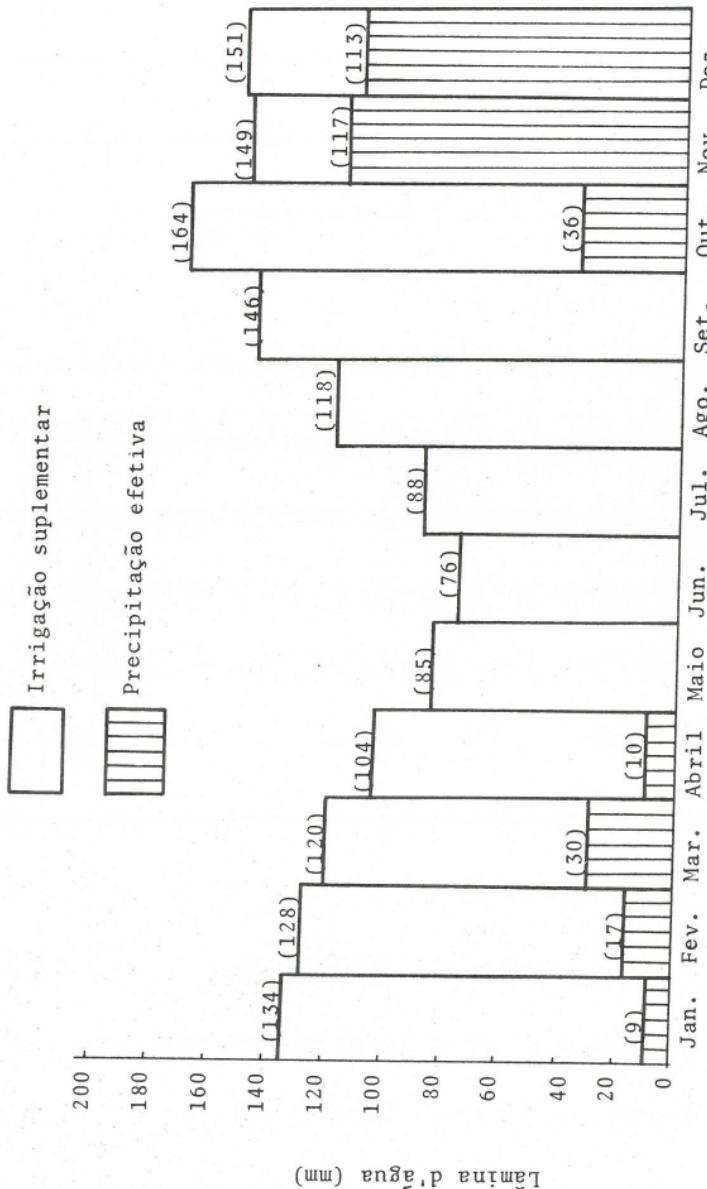


FIGURA 6 - Amostra de distribuição mensal de precipitação efetiva e de irrigação suplementar, para uma disponibilidade real de 60 mm, Pirapora - MG.

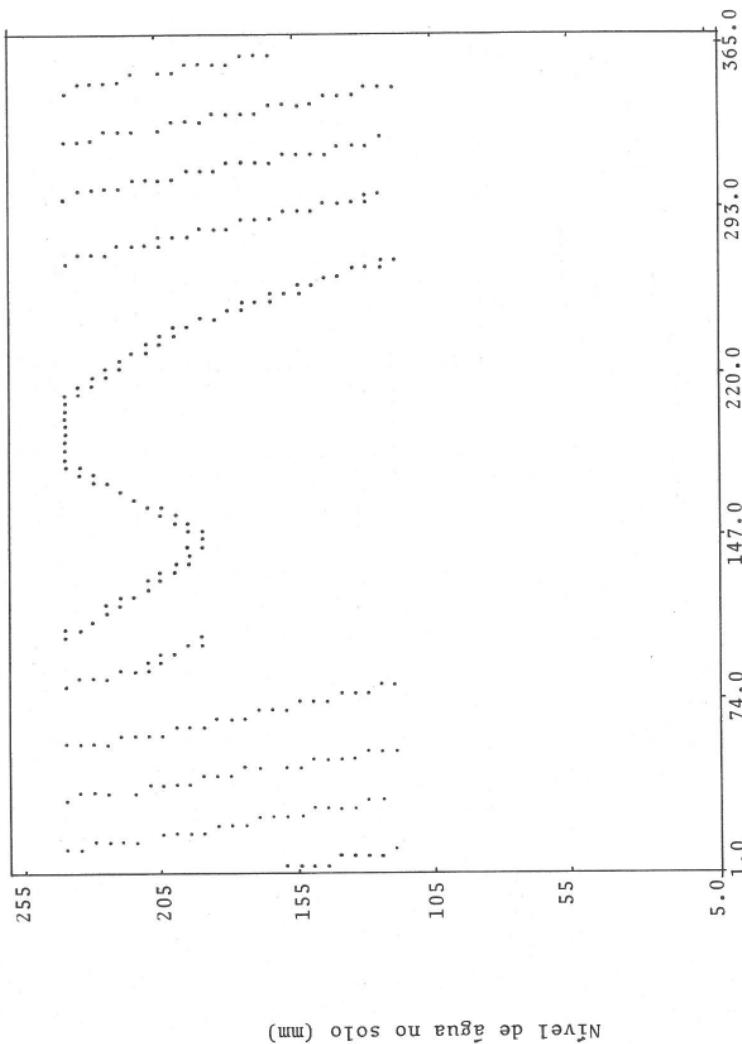


FIGURA 7 - Amostra do balanço d'água no solo para uma disponibilidade real de 120 mm, propria-CE.

de probabilidade, que será absorvida pelo solo até um nível máximo correspondente à disponibilidade total d'água daquele solo.

6 - A decisão quanto ao tempo em que se deve irrigar é feita quando o nível d'água no solo atinge valor igual à diferença entre a disponibilidade total e a disponibilidade real d'água no solo.

Embora não descreva completamente todo o sistema físico, particularmente na zona radicular, o modelo apresentado neste estudo oferece uma técnica viável para se projetar irrigação suplementar. Além disso, em regiões úmidas, um modelo desse tipo pode servir tanto para projetar economicamente um sistema de irrigação suplementar quanto para avaliar os vários sistemas já em operação.

A quantidade de detalhes incluídos no presente modelo satisfaz os seguintes critérios gerais:

1 - O modelo demonstra um balanço satisfatório entre realismo e computação, e oferece precisão satisfatória para uma decisão econômica.

2 - O modelo somente requer dados que sejam facilmente disponíveis.

3 - Ele permite o uso de qualquer nível de probabilidade de precipitação desejado.

4 - O modelo pode ser usado para qualquer região e para qualquer combinação solo-planta.

5 - O modelo não requer computadores de grande capacidade para sua execução.

O resultado deste estudo, para o Vale do São Francisco, demonstrou que a precipitação dependente decresce à medida que o intervalo em dias em que ela for grupada diminui. Desse modo, somente o uso de intervalos mensais pode superestimar a precipitação dependente e, consequentemente, conduzir a projetos subdimensionados.

Vêem-se aqui equações que relacionam precipitações médias com precipitações dependentes. Para essa bacia, somente a precipitação dependente mensal pode ser estimada pela precipitação média mensal com significante correlação.

O modelo determina a quantidade de precipitação efetiva como sendo igual a ou menor que a quantidade de precipitação dependente, dependendo do teor de umidade no solo antes da precipitação. O desenvolvimento e uso de modelos desse tipo em climas tropicais pode reduzir muito a quantidade de pesquisa de campo necessária para determinar a época ideal de plantio em várias localidades. Finalmente, com a tendência normal de aumento do custo das operações nas fazendas e decréscimo do suplemento d'água, os fazendeiros devem ter conhecimento de análises deste nível como auxílio básico para decisões econômicas relativas à irrigação. Também os fazendeiros que dependem exclusivamente de precipitações necessitam de informações de como será o balanço hídrico do solo sob a precipitação dependente a fim de decidirem economicamente o uso de maior ou menor quantidade de fertilizantes.

5. SUMMARY

Data from 12 stations in the São Francisco basin were used in the model for 12 soil moisture storage capacities. From the model output, curves of irrigation period, number of irrigations, and annual supplemental irrigation and effective rainfall versus net depletion were produced for each region. The usefulness of these curves for designing supplemental irrigation systems was demonstrated.

The model, as developed, is essentially non-site and non-crop specific; intended for use in supplemental irrigation design and scheduling to minimize irrigation system capacity for the whole year period.

6. LITERATURA CITADA

1. BAUER, W. Concepts of soil moisture availability and their effect on soil moisture estimates from a meteorological budget. *Agricultural Meteorology* 6:165-178. 1969.

2. BERNARDO, S. A computerizes model to predict supplemental irrigation in tropical and subtropical climate. Dept. of Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah, 1975. 155 p. (Ph.D. thesis).
3. BURAS, N., DOV, N. & ELYAHU, A. Planning and updating farm irrigation schedules. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. A.S.C.E. 99(IR1): 43-51. 1973.
4. GODWIN, N.J., LEMBKE, W.D. & JONES, B.A. Design irrigation pumping rates in a humid region. *Transaction of American Society of Agricultural Engineering* 14(5):875-878. 1971.
5. HARGREAVES, G.H. Estimation of potential and crop evaporation. *Transaction of American Society of Agricultural Engineering* 17(4):701-704. 1974.
6. JENSEN, M.E., DAVID, C.R. & FRAZER, E.C. Scheduling irrigation using climate-crop-soil data. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. A.S.C.E. 96(IR1):25-38. 1970.
7. LEMBEKE, W.D., & JONES, B.A. Selecting a method for scheduling irrigation, using a simulation model. *Transaction of American Society of Agricultural Engineering* 15(2):284-286. 1972.
8. MOREY, R., & GILLEY, J.R. A simulation model for evaluating irrigation management practices. *Transaction of American Society of Agricultural Engineering* 16(5):979-983. 1973.
9. SNEED, R.E. & SOWELL, R.R. *Agricultural water demand in North Carolina*. Raleigh, North Carolina State University, 1973. 142 p. (Report n.º 83).
10. SHIMSHI, D., DAN, Y. & ESHEL, B. Simulation model for evaporation of wheat. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. A.S.C.E. 101(IR1):1-12. 1975.
11. STEWART, J.I., ROBERT, M.H. & PRUITT, W.O. Function to predict optimal irrigation programs. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. A.S.C.E. (IR2):179-199. 1974.