

OPERAÇÃO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO NO PERÍMETRO
DE SUMÉ - PB

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

OPERAÇÃO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO NO PERÍMETRO
DE SUMÉ - PB

POR

CÍCERO ROMÃO DE OLIVEIRA

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

SETEMBRO - 1986

CÍCERO ROMÃO DE OLIVEIRA

OPERAÇÃO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO NO PERÍMETRO DE SUME-PB

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO
DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO
DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA
PARAÍBA - UFPB, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.)

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS
(ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO)

HUGO ORLANDO CARVALLO GUERRA - Ph.D.
Orientador

HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO - M.Sc.



048o Oliveira, Cícero Romão de.
Operação e manejo da irrigação no perímetro de Sumé - PB / Cícero Romão de Oliveira. - Campina Grande, 1986.
77 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1986.
Referências.
"Orientação : Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra, Prof. M.Sc. Hamilton Medeiros de Azevedo".

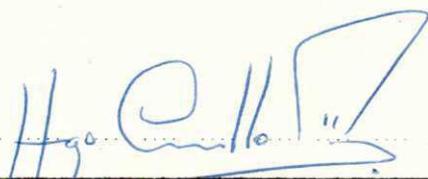
1. Irrigação - Operação. 2. Irrigação - Manejo. 3. Irrigação - Perímetro de Sumé. 4. Dissertação - Engenharia Civil. I. Guerra, Hugo Orlando Carvalho. II. Azevedo, Hamilton Medeiros de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 626.81/.84(043)

OPERAÇÃO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO NO PERÍMETRO DE SUMÉ-PB

CÍCERO ROMÃO DE OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/09/1986



HUGO ORLANDO CARVALLO GUERRA - Ph.D
Orientador



HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO - M.Sc
Co-Orientador



NABIL JOSEPH EID - Ph.D
Examinador

CAMPINA GRANDE - PB
SETEMBRO / 1986

RESUMO

O objetivo do trabalho foi caracterizar os solos do Perímetro Irrigado de Sumé-PB, com respeito a suas características físico-hídricas, analisar diferentes modalidades de programar a irrigação para as culturas de milho, feijão, tomate e algodão e apresentar a melhor alternativa visando melhorar a operação da irrigação.

Quatro maneiras diferentes de irrigação foram analisadas: irrigação para obtenção de rendimentos máximos, irrigação para obtenção de 80% dos rendimentos máximos, irrigação quando 50% da água disponível tiver se esgotado e irrigação fixando o turno de rega em quatro dias.

Os resultados deste estudo indicam que os solos do projeto são solos aluviais, de textura em geral franco arenosa, franca, e franco argilosa. A densidade aparente é alta variando de 1,64 a 1,76 g/cm³, decorrente de sua textura arenosa; a porosidade é média e bastante uniforme, inclusive na camada superficial do solo.

Quanto às quatro maneiras de irrigar, depois de análises e comparações entre as mesmas, chegou-se à conclusão que a maneira de irrigar que fixa o turno de rega em quatro dias, apresenta-se mais recomendável devido a que além de proporcionar altos níveis de produtividade, se adequa às condições administrativas, nível técnico dos agricultores, e dispensa

de recursos para aquisição de equipamento. para medição do momento da irrigação.

SUMMARY

The purpose of this work was to characterize the soils of the Sumé Irrigation Station with respect to their physical and hydric properties; study different ways of irrigation programming for corn, beans, tomato and cotton and offer alternatives for the best irrigation water use and management.

Four approaches for irrigation programming were studied: irrigation for maximum yields, irrigation to obtain 80% of the maximum yields, irrigation when 50% of the soil available water for plants is used and irrigation with a fixed interval of 4 days.

The results show that the studied soils are alluvial, sandy loam, loam, and clay loam. High bulk density (1,64 to 1,76 g/cm³) and medium and uniform porosity.

With respect to the irrigation programming for the area of Sumé, it is observed that the irrigation with a fixed interval is the most recommended because, besides obtaining high levels of productivity, it is adequate to the administrative conditions, technical level of the farmers and dispense economical expenses for the acquisition of humidity monitoring equipments.

ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA.	3
2.1 - PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DOS SOLOS	3
2.2 - DEMANDA DE ÁGUA DAS CULTURAS . .	6
2.3 - NECESSIDADES DE ÁGUA PARA IRRIGA ÇÃO	8
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS.	12
3.1 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA.	12
3.2 - AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS.	13
3.3 - DEMANDA DE ÁGUA DAS CULTURAS . .	16
3.4 - NECESSIDADE DE ÁGUA DE IRRIGAÇÃO .	23
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DOS DIFERENTES TIPOS DE SOLOS PARA FINS DE IRRIGAÇÃO	35

	Página
4.2 - DEMANDA DE ÁGUA DAS CULTURAS. . .	38
4.3 - PROGRAMAÇÃO DA IRRIGAÇÃO, MANEJO E OPERAÇÃO DO PROJETO	47
4.4 - COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS USADOS PARA PROGRAMAR A IRRIGAÇÃO. . . .	59
 CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	 61
 BIBLIOGRAFIA	 63
 ANEXOS.	 68

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Embora a irrigação seja uma prática milenar em muitos países, somente no começo deste século é que o governo brasileiro criou um órgão (DNOCS), para combater as sêcas que periodicamente ocorrem no nordeste do Brasil. Hoje existe muitos órgãos responsáveis por áreas irrigadas nas regiões afetadas pelas sêcas, produzindo durante todo o ano, tanto culturas de subsistência como para industrialização de produtos alimentícios.

Através de pesquisas desenvolvidas em muitas áreas irrigadas do mundo, tem-se demonstrado a importância das propriedades físico-hídricas dos solos no crescimento das plantas. Daí surge a importância do conhecimento das interações destas propriedades, para se fazer uso racional da agricultura irrigada, aumentando a produtividade, reduzindo o efeito dos sais e diminuindo os custos da produção.

O uso e manejo, inadequado e intensivo, das áreas cultivadas através de sistemas de irrigação, somado com o movimento de terras provocadas pelas máquinas agrícolas, no preparo do terreno a ser irrigado, acompanhado pelo efeito das chuvas, provocam uma desagregação na estrutura do solo. Os solos sofrem algumas modificações tais como: redução da taxa

de infiltração, menor armazenamento d'água devido a uma alteração na estrutura original do solo, aumento no escoamento superficial, aumenta também o poder erosivo da água, e, acúmulo de sais no solo causado pelo uso de água de má qualidade e/ou drenagem deficiente. Estes fatores que causam transtornos no solo podem ser minimizados, quando se pratica um adequado manejo da água e do solo.

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar físico-hidricamente tipos representativos de solos no perímetro irrigado de Sumé/PB, determinar os parâmetros necessários da irrigação, e oferecer alternativas para um melhoramento da operação e manejo da irrigação.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - PROPRIEDADE FÍSICO-HIDRICOS DOS SOLOS

A completa predisposição de um solo como um meio para o crescimento das plantas depende não somente da fertilidade do solo, mais também do estado e da mobilidade da água e do ar neste, dos atributos mecânicos do solo e do seu regime térmico. O solo deve ser solto e suficientemente friável de tal forma a permitir a germinação e o desenvolvimento das raízes sem nenhuma obstrução mecânica. Os poros do solo devem ter um volume e uma distribuição dos seus tamanhos tal que permitam suficiente entrada, movimento e retenção de água e ar para satisfazer as necessidades das plantas. O regime térmico da zona das raízes deve permanecer dentro de um intervalo, ótimo para o crescimento das plantas (HILLEL, 1980).

Segundo BLACK (1975) a composição granulométrica do solo exerce uma grande influência no comportamento deste e na resposta das culturas. Isto devido o tamanho e distribuição das partículas determinar o seu grau de reatividade e o comportamento do solo, respectivamente. A distribuição do tamanho das partículas constitui-se uma das características mais estável do solo, permanecendo quase inalterada ao longo do tempo, a despeito dos tratamentos culturais e outras práticas agrí

colas.

A densidade aparente ou global do solo é uma característica intimamente associada a porosidade, grau de aeração e capacidade de retenção de água do solo (WILDE, 1959). Segundo TACKETT e PAARSON (1964) a penetração das raízes do algodão varia dependendo da densidade do solo. Por outro lado AINA (1979) indica que a densidade do solo depende do manejo ao qual ele é submetido. Assim, solo cultivados são geralmente mais densos que aqueles sob vegetação perene (mata ou pastagens).

A densidade real, segundo FORSYTHE (1975), que se constitui num parâmetro físico que contribui para o conhecimento da porosidade, concentração de material sólido nas suspensões solo-água e para calcular a velocidade de sedimentação das partículas. A caracterização do sistema de poros é importante na determinação da dinâmica do armazenamento de água e ar no solo, nos estudos de desenvolvimento do sistema radicular das plantas e no movimento de calor no solo (VOMOCIL, 1965).

A capacidade do solo para reter água é uma propriedade de intrínseca relacionada com forças superficiais que determinam o nível de energia da água no solo (REICHARDT, 1978). A capacidade do solo de reter água a diferentes tensões, da origem as curvas características da umidade do solo, também chamadas de curvas de retenção. Estas refletem a distribuição do tamanho dos poros uma vez que a aplicação de uma determinada sucção esvazia um volume de água que ocupava um volume dentro do solo (BAVER, 1956). Possuem ainda uma im

portância teórico-prático no que diz respeito a conhecimento das relações água-solo-planta, assim como das características físicas dos solos. Segundo HILLEL (1970), a textura do solo e seu teor de matéria orgânica exercem relevantes efeitos na retenção de água.

A água disponível para as plantas, classicamente defendidas como sendo uma característica estática, representa a quantidade de água que um solo poderia reter ou armazenar entre a "capacidade de campo" e o "ponto de murchamento". Este conceito oferece um critério para caracterizar o solo, quanto a sua capacidade de armazenar água. Em solos profundos e com grande capacidade de retenção de água pode ser possível cultivar vegetais de sistema radicular bem desenvolvido, sem irrigação ou chuva adicional, desde que o solo seja bem umedecido até uma profundidade considerável. Se a capacidade de retenção for pequena por ser o solo raso ou de textura grossa, frequentes irrigações serão necessárias (BERNARDO, 1984). Não obstante o conceito de água disponível é arbitrário dado que a capacidade de campo não é uma propriedade física precisa. A capacidade de campo foi definida segundo VEIHMEYER e HENDRICKSON (BLACK, 1975) como sendo a quantidade de água retida por um solo previamente saturado após cessar o movimento da água gravitacional e o movimento capilar descendente ter-se tornado praticamente nulo. Em solos de textura grossa, isto pode apresentar uma faixa de transição bem nítida tornando a capacidade de campo bem definida, porém em solos de textura fina, não há nítida faixa de transição na redução da intensidade

de movimento de água tornando o conceito de capacidade de campo impreciso. Diante desta controvérsia, a obtenção de curva de retenção da água parece ser uma ótima alternativa para avaliar a disponibilidade de água para as culturas.

O ponto de murchamento foi definido por Briggs e Shantz em 1912 como sendo a percentagem de água do solo quando as plantas que nele crescem adquirem um estado de murchamento permanente, não voltando a turgidez mesmo quando colocadas em ambiente saturado da unidade (KIEHL, 1979). Assim, este limite não deve ser confundido com o murchamento temporário, que ocorre toda vez que a transpiração das plantas excede a absorção de água, fenômeno muito frequente em dias quentes e secos (DAKER, 1984).

Considerando que o conceito de disponibilidade de água para as plantas assume uma ampla discussão e visto a dinâmica das interações no sistema água - solo - planta, REICHARDT (1978) indica que toda vez que o fluxo de água do solo para a raiz é de uma intensidade tal que supre a demanda de água da planta e da atmosfera, a água é disponível. A planta entra em déficit de água e atinge o ponto de murchamento, quando o fluxo deixa de suprir esta demanda; neste momento a água não é disponível.

2.2 - DEMANDA DE ÁGUA DAS CULTURAS

O conhecimento do consumo de água pelas plantas (Eva potranspiração) é essencial para se poder estimar a quantidade de água requerida para irrigação. Também, o conhecimento

das demandas de água nos diversos períodos e etapas de desenvolvimento das plantas permite a administração de uma irrigação mais racional e efetiva, de acordo com a exigência da cultura.

Evapotranspiração real e atual são as perdas combinada de água para a atmosfera, em forma de vapor, através dos processos de evaporação das superfícies e transpiração das plantas. Depende do clima, da cultura e do conteúdo de água do solo. A evapotranspiração real é calculada multiplicando a evapotranspiração potencial por um coeficiente K que considera o efeito das relações água - solo - planta (GRASSI, 1968). A evapotranspiração potencial é a quantidade de água consumida por uma cultura verde, curta, crescendo ativamente, que cobre completamente o solo e com um contínuo e adequado suprimento de água.

Medidas de evapotranspiração normalmente não existem, como se faz necessário, para cada região e condição climática. Em vista disso, as estimativas baseadas em princípios físicos e fisiológicos, ou mesmo as equações empíricas que utilizam parâmetros climáticos comuns, constituem-se, muitas vezes, na única alternativa disponível. HARGREAVES (1974), desenvolveu uma metodologia simples e de fácil operação para determinar a evapotranspiração potencial e as necessidades de água para as plantas.

O coeficiente K e sua variação ao longo do desenvolvimento da planta é uma expressão das características morfológicas e fisiológicas da cultura, da incidência do ambiente edáfico, em quanto ao volume do solo explorado pelas raízes,

e da disponibilidade de nutrientes, água e ar. Assim, o K pode ser dividido em três subcoeficientes (GRASSI, 1968):

$$K = K_C \cdot K_S \cdot K_U$$

onde, K_C , K_S e K_U são os subcoeficientes de cultura, solo e umidade, respectivamente.

Para condições onde não existem limitações de solo nem de umidade, K depende fundamentalmente do K_C . O subcoeficiente K_C ou simplesmente coeficiente de cultura depende das características anátoma-morfológicas e fisiológicas da espécie e expressa a variação da capacidade da planta para extrair água do solo. O tamanho da planta, expressado pelo seu volume foliar e radicular, governa assim o coeficiente. Este comportamento é mais evidente nas culturas estacionais que aumentam de tamanho rapidamente e é praticamente imperceptível nas culturas de forrageiras permanentes (GRASSI, 1968). Para a maioria das culturas o valor do K_C aumenta de um valor mínimo na época de emergência e um valor máximo na época de maior desenvolvimento da cultura, para diminuir na maturação. Ainda DOOREMBOS e KASSAM (1979) indica que de certo modo o valor do K_C varia com a umidade do ar e com a velocidade do vento.

2.3 - NECESSIDADES DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

Por irrigação subentende-se a aplicação de água ao solo onde se desenvolve agricultura, com o objetivo de suple

mentar a precipitação pluvial, aumentando, assim o crescimento das plantas, a qualidade do produto e a sua produtividade. Para a maximização da produtividade é necessário aplicar a quantidade exata de água, no momento exato, removendo qualquer excesso porventura existente (REICHARDT, 1978).

Segundo GRASSI (1968) as necessidades de água para irrigação de uma determinada cultura, durante um determinado período, que aparecem devido a um possível déficit no balanço hídrico do solo, resulta da subtração da evapotranspiração real, a precipitação efetiva e a contribuição de água pelo solo. Para calcular as necessidades de irrigação de uma cultura precisa-se conhecer o ciclo vegetativo de cada cultura, a evapotranspiração real ou uso consuntivo, a precipitação, outras contribuições hídricas e a eficiência do sistema de irrigação. Com estes dados é possível se calcular a quantidade de água a ser aplicada nas irrigações (Lâminas bruta e líquida) e os intervalos entre uma irrigação e outra (turno de rega). A lâmina de irrigação é a quantidade de água que deve repor-se para evitar deficiências hídricas na planta e representa o grau de esgotamento de umidade do solo. Assim, a lâmina é calculada pela seguinte equação (GRASSI, 1968).

$$d_n = \frac{\omega_c - \omega_r}{100} \rho_a D$$

onde d_n é a lâmina de irrigação líquida em mm, ω_c o conteúdo de água do solo a capacidade de campo em % base solo seco, ω_r o conteúdo de água do solo mínimo aceitável para uma produção econômica da cultura em % base solo seco, ρ_a densi

dade aparente do solo em g/cm^3 e D a profundidade das raízes em mm. O valor de ω_r varia dependendo das condições de cada caso em particular (REICHARDT, 1978).

Existem vários critérios para fixar o valor de ω_r . No caso de um manejo racional no qual se deseja otimizar a quantidade de água fornecida, a quantidade de água a ser aplicada deve obedecer a um critério científico.

O conceito clássico de água disponível (-1/3 a -15atm) tem sido usado com frequência e com relativo sucesso, estabelecendo que se deve irrigar quando se esgota entre 50 a 60% da água disponível. Este intervalo de umidade corresponde a aproximadamente -2 bars de sucção que de uma maneira geral corresponde ao limite de potencial de água após o qual a maioria das plantas tem seu crescimento afetado (SITHERS e VIPOND, 1974). Este critério apresenta alguns problemas. Em solos com argilas expansivas quando atinge-se este limite de umidade, a água encontra dificuldades para se infiltrar a menos que eles apresentem fendas, que só aparecem quando a maior parte da água disponível é consumida. Neste ponto o solo terá atingido níveis de umidade muito prejudiciais para as culturas.

Na literatura existe um grande volume de resultados de pesquisas realizadas com a finalidade de definir o efeito dos níveis de umidade sobre a produtividade das culturas. Este tipo de informação tem possibilitado definir o nível de manejo da irrigação das culturas, através do potencial matricial do solo, para obter uma determinada produtividade MAGALHÃES *et al*, (1979), FAO (1975).

MILLAR (1984) indica que embora existam tabelas que

relacionam potenciais matriciais versus níveis ótimos de produtividade, é importante conhecer também o efeito de níveis de manejo de irrigação fora da condição ótima em tal forma de poder definir o nível de manejo de irrigação a que poder-se-ia adequar o produtor para obter uma "produtividade máxima" de acordo com as suas possibilidades, definidas pelas condições de operação e clima. Assim, MILLAR (1984) apresenta níveis de manejo para a obtenção de rendimentos de 50, 60, 70, 80, 90 e 100%.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

O Perímetro Irrigado de Sumé encontra-se localizado no município de Sumé-PB nas coordenadas 7°53' latitude sul e 37°04' longitude oeste, à jusante do açude público de Sumé e às margens direita e esquerda do rio Sucurú. O projeto é administrado pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Sêcas (DNOCS) e tem uma área total de 700ha, das quais 223 são irrigáveis e 134 atualmente implantadas.

O vale do rio Sucurú encontra-se a uma altitude média de 500 metros em relação ao nível do mar, apresentando um relevo plano e suave ondulado com inclinações máximas de 3%.

Os solos da área correspondem principalmente aos tipos Aluvião e Bruno Não Cálcicos. Os solos irrigados incluídos no estudo, correspondem unicamente aos aluviões localizados nas margens do rio Sucurú.

O clima predominante na região é o do tipo BSh da classificação de Köppen com temperatura máxima de 29°C e mínima de 25°C, precipitação média anual de 498mm ocorrendo principalmente no período de janeiro à junho. A evapotranspiração potencial anual atinge 1714mm e a umidade relativa média

anual para a região é em torno de 68% (Hagreaves, 1974).

A Tabela 1 apresenta dados mensais de precipitação, temperatura, evaporação e umidade relativa para o Município de Sumé.

3.2 - AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

Com a finalidade de identificar os solos mais representativos da área, fêz-se uma amostragem sistemática obtendo-se amostras em quadrantes de 250m nas profundidades de 0-15, 15-30 e 30-60cm. Foram amostrados 26 locais, totalizando 78 amostras. A Figura 1 apresenta os locais da amostragem.

As amostras após coletadas, foram trazidas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFPb em Campina Grande e analisadas com respeito as seguintes propriedades físico-hídricas.

- Distribuição do tamanho das partículas pelo método do Hidrômetro;
- Densidade global pelo método do torrão parafinado;
- Densidade das partículas pelo método do Picnômetro;
- Capacidade de campo pelo método da Panela de Pressão;
- Ponto de murcha permanente pelo método da membrana;
- Curva de retenção da água do solo pelo método da Panela de Pressão.

Baseado nesta caracterização dividiu-se a área em cinco (05) solos representativos, denominados A, B, C, D e E. Os cinco solos representam 72,86% da área irrigada em estudo; sendo que o solo A representa 53,25%, o solo B, 11,25%

TABELA 1 - Valores médios da precipitação, temperatura, umidade relativa e evaporação para o Município de Sumé-PB.

		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Precipitação	(mm)	40	65	106	105	59	38	18	7	6	20	15	19
Temperatura	(°C)	25,8	24,8	24,2	23,5	22,7	21,5	21,1	21,5	22,9	24,5	25,3	25,5
Umidade Relativa*	(%)	64,0	62,0	72,0	76,0	77,0	78,0	75,0	70,0	64,0	59,0	57,0	58,0
Evaporação**	(mm)	240,5	104,5	180,0	160,3	139,8	137,5	135,0	186,3	208,5	219,3	205,8	211,8

(*) Dados para o Município de Monteiro-PB. (Latitude 7°53', Longitude 37°4')

(**) Tanque Classe "A".

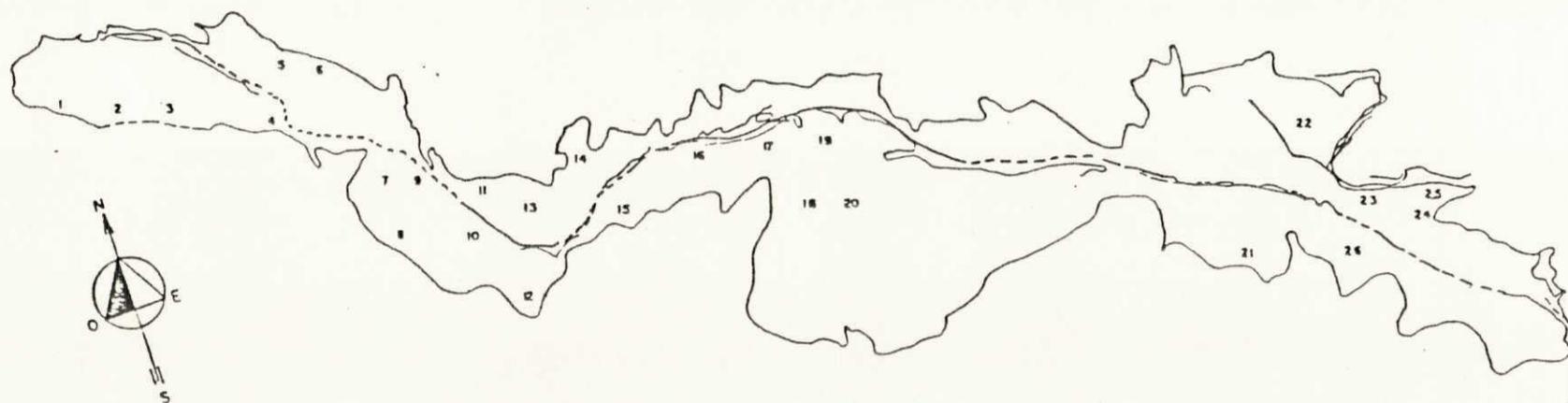


FIGURA I - LOCAIS DE AMOSTRAGEM DE SOLOS NO PERÍMETRO IRRIGADO DE SUMÉ

e os solos C, D e E representam cada um 2,8% da área total irrigada.

3.3 - DEMANDA DE ÁGUA DAS CULTURAS

Para determinar a demanda de água das culturas usou-se a metodologia recomendada pela FAO (FAO, 1975) que consiste no seguinte:

A Evapotranspiração real das culturas é obtida multiplicando a Evapotranspiração Potencial (ETP) por um coeficiente de cultura (K_C) que depende da cultura e do meio na qual ela desenvolve-se. Assim:

$$ET_R = ETP \times K_C \quad [1]$$

onde:

ET_R = Evapotranspiração real (mm)

ETP = Evapotranspiração potencial (mm)

K_C = Coeficiente da cultura.

Para cada obtenção do Coeficiente de Cultura, a FAO divide o ciclo fenológico das culturas em quatro estágios consecutivos:

a) Estágio inicial ou de emergência: começa na germinação até o período em que o cultivo não cobre totalmente a superfície do solo;

b) Estágio de desenvolvimento: começa no final do pe

ríodo de emergência e vai até o estágio em que a superfície do solo fica parcialmente coberto pela cultura em torno de 80% da cobertura;

c) Estágio médio: começa do ponto em que o solo está totalmente coberto pela cultura até o período de maturação;

d) Estágio final: começa no início do período da maturação até a colheita.

A duração de cada um dos estágios, para cada uma das culturas, foi obtido através de entrevistas pessoais com os irrigantes do Perímetro Irrigado de Sumé (Tabela 2).

No estágio inicial, os valores do K_c se apresentam como função da Evapotranspiração Potencial e da frequência de irrigação, de acordo com a Figura 2. No presente trabalho utilizou-se a frequência de irrigação de 4 (quatro) dias por ser a frequência média usada pelos irrigantes do Perímetro de Sumé.

Os coeficientes de Cultura para os dois últimos estágios (estágio médio e final) são funções das condições locais de umidade relativa e velocidade do vento, de acordo com a Tabela 3 (FAO, 1975). Conhecidos os Coeficientes de Cultura para o primeiro, terceiro e quarto estágio o K_c do segundo estágio ou o K_c para qualquer período do ciclo fenológico é obtido através da construção de um gráfico que relaciona tempo versus K_c . O procedimento para construir o gráfico é o seguinte:

- No eixo das abcissas coloca-se o tempo, dividido entre os 4 (quatro) correspondentes estágios de crescimento. No eixo das ordenadas colocam-se os valores dos coeficientes

TABELA 2 - Comprimento dos estágios de desenvolvimento para as culturas estudadas (em dias).

CULTURA	E S T Á G I O				TOTAL
	INICIAL	DESENVOLVIMENTO	MÉDIO	FINAL	
Milho *	15	25	25	25	90
Feijão	13	27	30	20	90
Tomate	20	30	30	40	120
Algodão	20	30	30	40	120

(*) Milho verde.

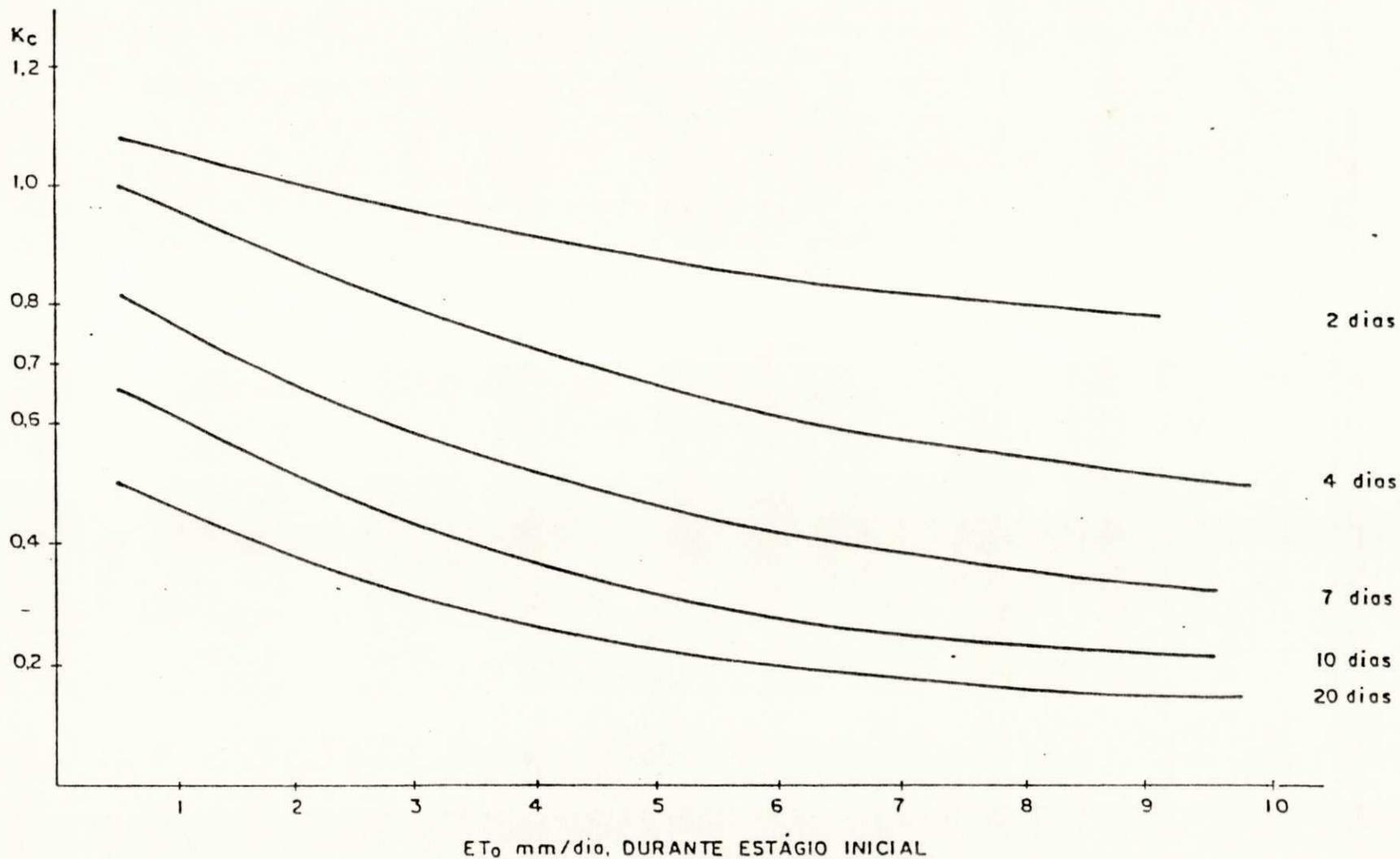


FIGURA 2

COEFICIENTE DE CULTIVO MÉDIO K_c , PARA O ESTÁGIO INICIAL COMO FUNÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL ET_0 E FREQUENCIA DE IRRIGAÇÃO (FAO, 1975)

TABELA 3 - Coeficientes de cultura K_c das culturas para os quatro estágios de desenvolvimento e para diferentes condições climáticas (FAO, 1975).

CULTURA	UMIDADE RELATIVA		UR min >70%		UR min < 20%	
	VELOCIDADE DO VENTO	m/seg	0-5	5-8	0-5	5-8
	ESTÁGIO DA CULTURA					
	Inicial	1				
	Desenv. cult.	2				
Apricó	Médio	3	.95	.95	1.0	1.05
	Colheita	4	.9	.9	.95	.10
Cevada		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	.25	.25	.2	.2
Feijão (Sêco)		3	.95	.95	1.0	1.05
		4	.85	.85	.9	.9
Feijão (Verde)		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	.3	.3	.25	.25
Beterraba de mesa		3	1.0	1.0	1.05	1.1
		4	.9	.9	.95	1.0
Cenoura		3	1.0	1.05	1.1	1.15
		4	.7	.75	.8	.85
Mamona		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	.5	.5	.5	.5
Aipo		3	1.0	1.05	1.1	1.15
		4	.9	.95	1.0	1.05
Milho (Verde)		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	.95	1.0	1.05	1.1
Milho (Grão)		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	.55	.55	.6	.6
Algodão		3	1.05	1.15	1.2	1.25
		4	.65	.65	.65	.7
Couve-flor		3	.95	1.0	1.05	1.1
		4	.80	.85	.9	.95

Continuação da TABELA 3.

CULTURA	UMIDADE RELATIVA	UR min	> 70%	UR min	< 20%
	VELOCIDADE DO VENTO m/seg	0-5	5-8	0-5	5-8
Pepeino	3	.9	.9	.95	1.0
	4	.7	.7	.75	.8
	4	.85	.85	.95	1.0
Beringela	3	.95	1.0	1.05	1.1
	4	.8	.85	.85	.9
Linho	3	1.0	1.05	1.1	1.15
	4	.25	.25	.2	.2
Grãos	3	1.05	1.1	1.15	1.2
	4	.3	.3	.25	.25
Lentilha	3	1.05	1.1	1.15	1.2
	4	.3	.3	.25	.25
Alface	3	.95	.95	1.0	1.05
	4	.9	.9	.9	1.0
Melão	3	.95	.95	1.0	1.05
	4	.65	.65	.75	.75
Milheto	3	1.0	1.05	1.1	1.15
	4	.3	.3	.25	.25
Cevada	3	1.05	1.1	1.15	1.2
	4	.25	.25	.2	.2
Cebola (seca)	3	.95	.95	1.05	1.1
	4	.75	.75	.8	.85
Cebola (verde)	3	.95	.95	1.0	1.05
	4	.95	.95	1.0	1.05
Amendoim	3	.95	1.0	1.05	1.1
	4	.55	.55	.6	.6
Ervilha	3	1.05	1.1	1.15	1.2
	4	0.95	1.0	1.05	1.1
Pimentão (verde)	3	.95	1.0	1.05	1.1
	4	.8	.85	.85	.9
Batata	3	1.05	1.1	1.15	1.2
	4	.7	.7	.75	.75

Continuação da TABELA 3.

CULTURA	UMIDADE RELATIVA	UR min	>70%	UR min	<20%
	VELOCIDADE DO VENTO m/seg	0-5	5-8	0-5	5-8
Rabanete	3	.8	.8	.85	.9
	4	.75	.75	.8	.85
Cártamo	3	1.05	1.1	1.15	1.2
	4	.25	.25	.2	.2
Sorgo	3	1.0	1.05	1.1	1.15
	4	.5	.5	.55	.55
Soja	3	1.0	1.05	1.1	1.15
	4	.45	.45	.45	.45
Espinafre	3	.95	.95	1.0	1.05
	4	.9	.9	.95	1.0
MEIA ESTAÇÃO					
Abóbora	3	.9	.9	.95	1.0
	4	.7	.7	.75	.8
NA COLHEITA					
Batata açuca reira.	3	1.05	1.1	1.15	1.2
	4	.9	.95	1.0	1.0
	4	.6	.6	.6	.6
NÃO IRRIGAR NO ÚLTIMO MÊS					
Girassol	3	1.05	1.1	1.15	1.2
	4	.4	.4	.35	.35
Tomate	3	1.05	1.1	1.2	1.25
	4	.6	.6	.65	.65
Trigo	3	1.05	1.1	1.15	1.2
	4	.25	.25	.2	.2

das culturas.

- Os valores do K_c para os estágios inicial e médio plotam-se no meio do respectivo período. O valor do K_c para o estágio final plota-se no final do período.

- Traça-se uma curva que une os três pontos anteriormente indicados.

A Figura 3 apresenta um exemplo ilustrativo da construção deste tipo de curva. A partir deste é possível determinar o Coeficiente de Cultura para qualquer tempo e período. No presente trabalho obteve-se este gráfico, para cada cultura estudada sob as condições climáticas locais do Município de Sumé.

A Evapotranspiração Potencial foi obtida através da fórmula de Hargreaves (HARGREAVES, 1974) considerando que esta metodologia foi criada e adaptada para as condições climáticas do Nordeste do Brasil.

3.4 - NECESSIDADES DE ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

A quantidade de água a ser aplicada em cada irrigação (lâmina de irrigação) é função do nível de água no perfil do solo ideal para planta, que resulte na produtividade mais econômica, sendo determinada pela seguinte equação:

$$L = \frac{CC - U}{100} \times D_a \times Pr \quad [2]$$

onde:

CC = capacidade de campo (% em peso)

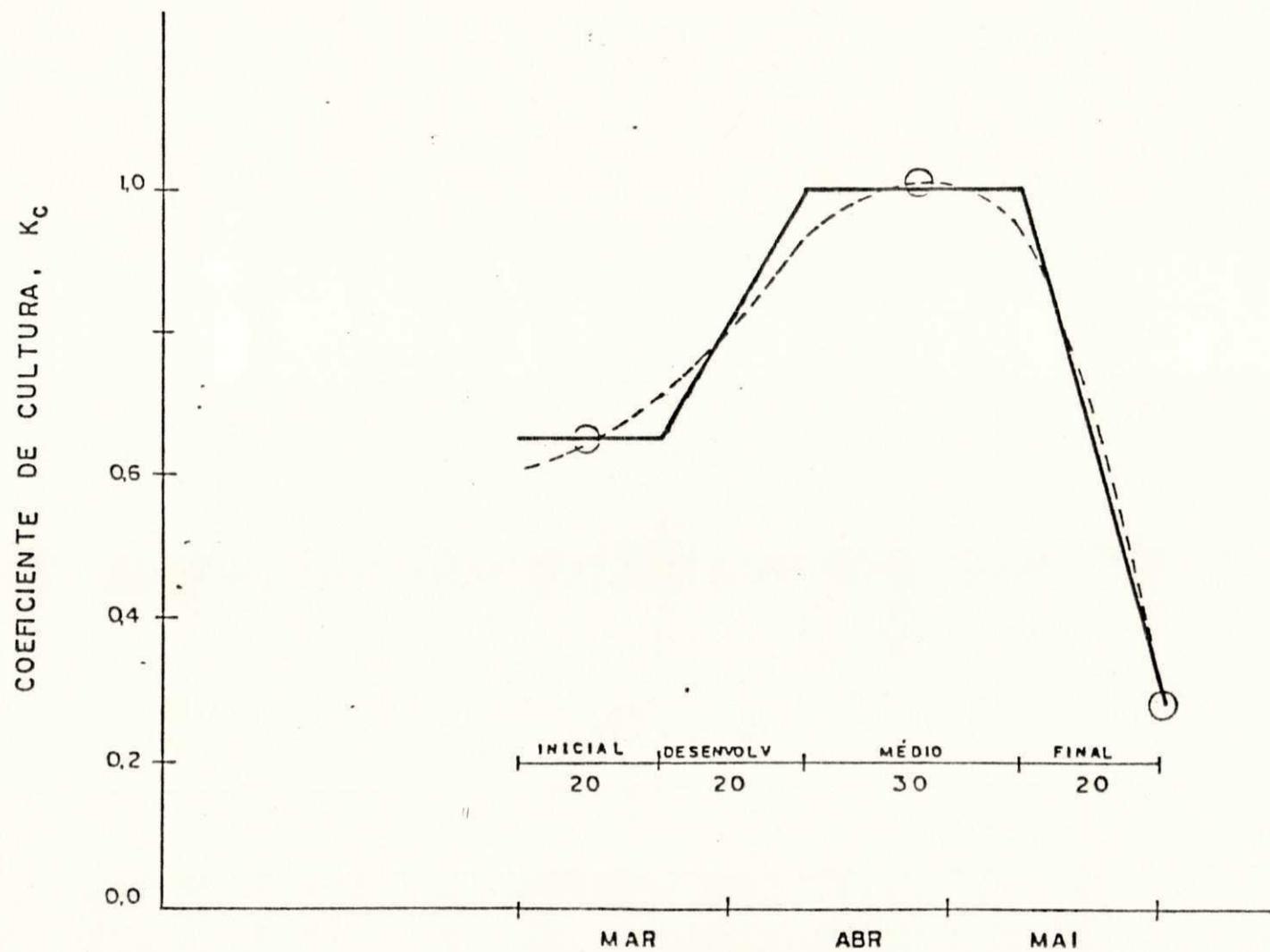


FIGURA 3

CURVA MÉDIA DO COEFICIENTE DE CULTIVO K_c MÉDIO PARA OS QUATRO ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO FEIJÃO

U = umidade limite (% em peso)

D_a = densidade aparente do solo g/cm^3

P_r = profundidade efetiva do sistema radicular.

No presente trabalho compara-se 4 maneiras de determinar o momento de irrigar e a quantidade de água a aplicar, usando:

- irrigação para obtenção da máxima produção;
- irrigação para obter 80% da produção máxima;
- irrigação quando 50% da água disponível no solo seja esgotada;
- irrigação a partir de um turno de rega fixo de 4 dias.

A profundidade efetiva das raízes foi determinada "in loco" para cada período de crescimento de cada cultura estudada. Para cada cultura escolheu-se 10 plantas no acaso, nos respectivos estágios de desenvolvimento (inicial, desenvolvimento, médio e final), e mediu-se com uma régua o comprimento do sistema radicular efetivo das plantas. Posteriormente obteve-se uma média destas 10 observações. A Tabela 4 apresenta a profundidade efetiva média das 4 culturas.

3.4.1 - Irrigação para Obtenção da Produção Máxima.

A lâmina de irrigação é calculada através da equação [2] onde U é a umidade limite que possibilita rendimentos máximos.

VITTUM *et al* (1958, 1963), DOORENBOS e PRUITT (1975)

TABELA 4 - Profundidade efetiva média para cada mês do ciclo de crescimento

CULTURA	MÊS	PROFUNDIDADE * (cm)
Milho	1	15
	2	17
	3	23
Feijão	1	15
	2	35
	3	48
Tomate	1	15
	2	21
	3	29
	4	35
Algodão	1	15
	2	25
	3	33
	4	43

(*) média de 10 observações.

TAYLOR (1965), citados por MILLAR em (1984), apresentaram os intervalos de potenciais a serem usados para obtenção da produtividade máxima para as culturas do (milho, feijão, tomate e algodão), Tabela 5.

Os critérios usados para estabelecer os limites inferiores e superiores de potenciais matriciais são os recomendados por TAYLOR (1965). O maior valor é usado quando a demanda evaporativa é alta e o menor é usado quando a demanda é baixa.

No caso do milho, o potencial utilizado foi de 0,5 bar durante, todo ciclo, porque a espiga é colhida com o grão no estado leitoso (milho verde). Quando a exploração se destina a produção de grãos, a planta pode ser submetida as tensões de 8 a 12 bares durante o período de maturação do grão.

No nordeste do Brasil, em consequência da elevada energia solar radiante, surgem altos valores de demanda atmosférica. Assim no presente trabalho utilizaram-se os máximos valores de potenciais matriciais.

3.4.2 - Irrigação para Obtenção de 80% da Produtividade Máxima.

As lâminas de irrigação são calculadas através da equação [2] em que U é a unidade limite que possibilita 80% de rendimentos máximos. Neste caso, os máximos valores de potenciais para as culturas de milho, tomate e algodão foram obtidos de tabelas apresentadas por MILLAR, 1984 (Tabela 6). Já o valor para o feijão foi obtido das curvas de rendimento relativo de feijão em função do nível de manejo de irrigação

TABELA 5 - Potenciais matriciais do solo ao qual dever-se-ia aplicar a irrigação para obter produtividade máxima nas quatro culturas estudadas.

CULTURA	POTENCIAL MATRICIAL (BARS)
Milho (verde)	- 0,50 a - 12,0 *
Feijão	- 0,75 a - 2,0
Tomate	- 0,80 a - 1,5
Algodão	- 1,0 a - 3,0

(*) -(8,0 - 12) Maturação. Para produção de grãos.

Fonte: MILLAR, 1984.

TABELA 6 - Potenciais matriciais do solo al qual deve-se irrigar as culturas, para obter 80% da produtividade máxima.

CULTURA	POTENCIAL MATRICIAL (BARS)
Milho	- 1,6
Feijão	- 1,6
Tomate	- 3,0
Algodão	- 7,5

Fonte: MILLAR (1984).

apresentada por MAGALHÃES et al (1979).

3.4.3 - Irrigação Utilizado 50% da Água Disponível.

A lâmina de irrigação é calculada utilizando o conceito clássico da água disponível (conteúdo de água do solo a $-1/3$ atmosfera menos o conteúdo da água do solo a -15 atmosferas). Nesta forma de planejar a irrigação, aplica-se água quando 50% da água disponível se esgota. O conteúdo de água do solo neste momento, corresponde ao valor de U da equação [2].

3.4.4 - Irrigação a Partir de um Turno de Rega Fixo de 4 Dias.

A lâmina de irrigação é obtida multiplicando-se o turno de rega fixo (4 dias) pelo uso consuntivo diário. Com o objetivo de obter-se os rendimentos das culturas do milho, feijão, tomate e algodão, utiliza-se a equação [2] para obter-se o valor da umidade limite, em seguida toma-se a equação da curva de retenção de água do solo e calcula-se o valor do potencial matricial do solo. Através de gráficos que relacionam potenciais matriciais com rendimentos das culturas, apresentados por MILLAR, 1984 (Figuras 4, 5, 6 e 7) são obtidos os rendimentos relativos das respectivas culturas.

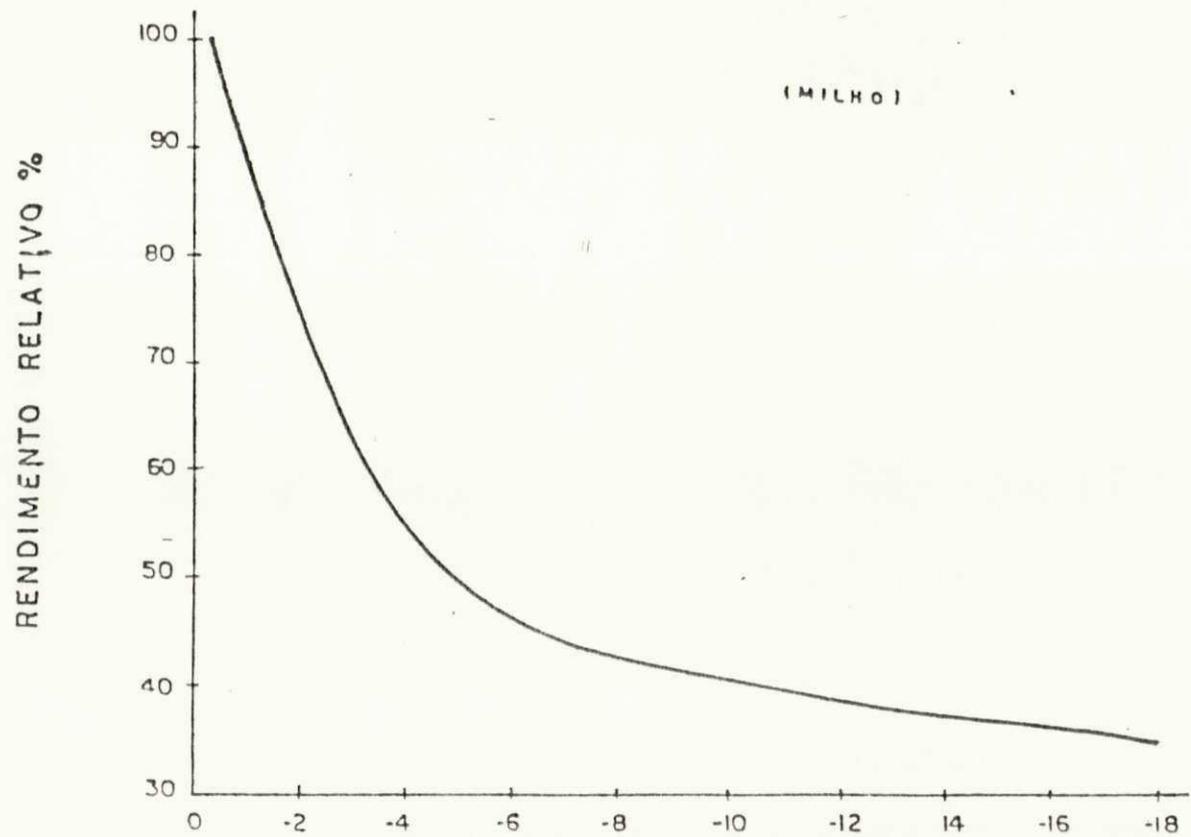


FIGURA 4 NÍVEL DE MANEJO DA IRRIGAÇÃO (BAR)
MILLAR 1984

POTENCIAL MATRICIAL VERSUS RENDIMENTO DA CULTURA

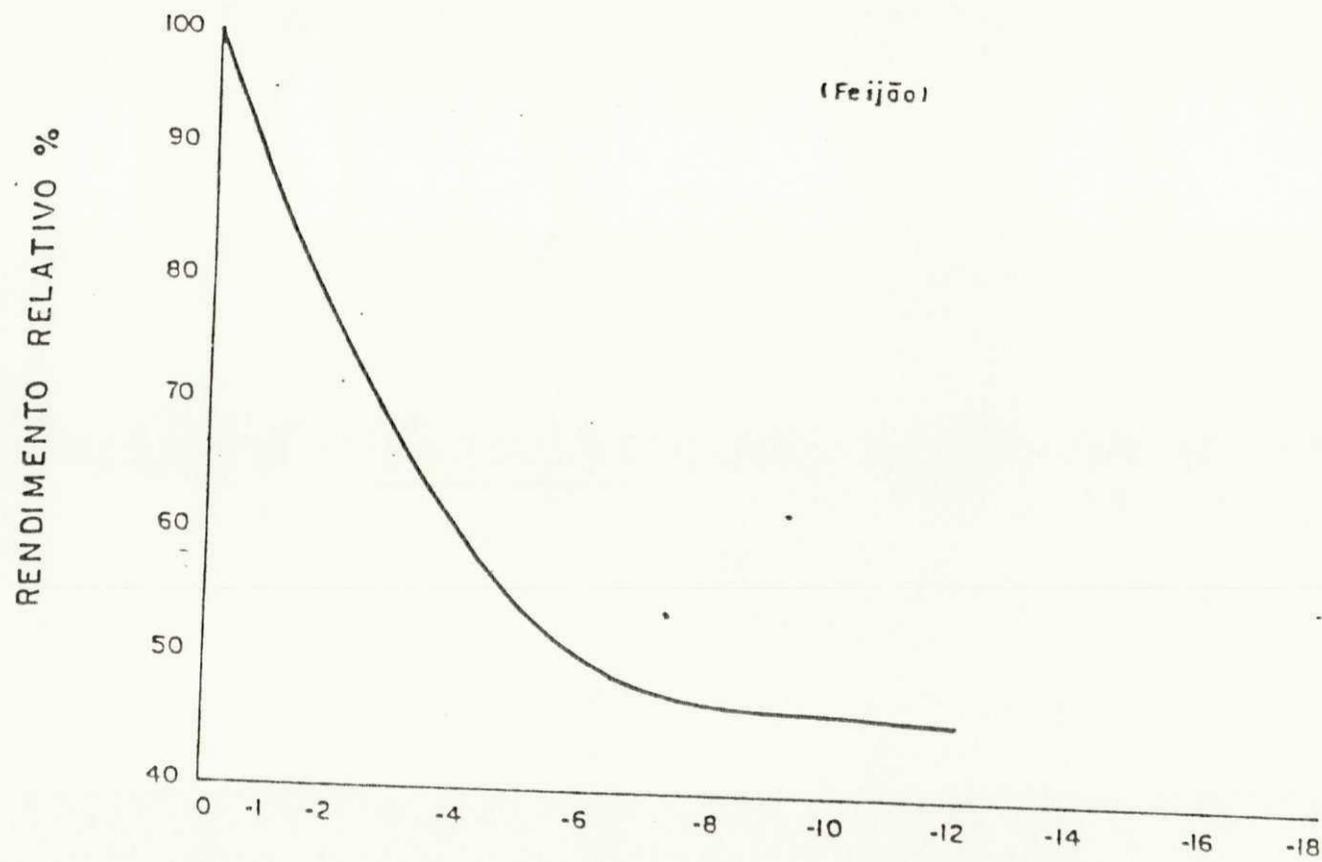


FIGURA 5 NÍVEL DE MANEJO DA IRRIGAÇÃO (BAR)

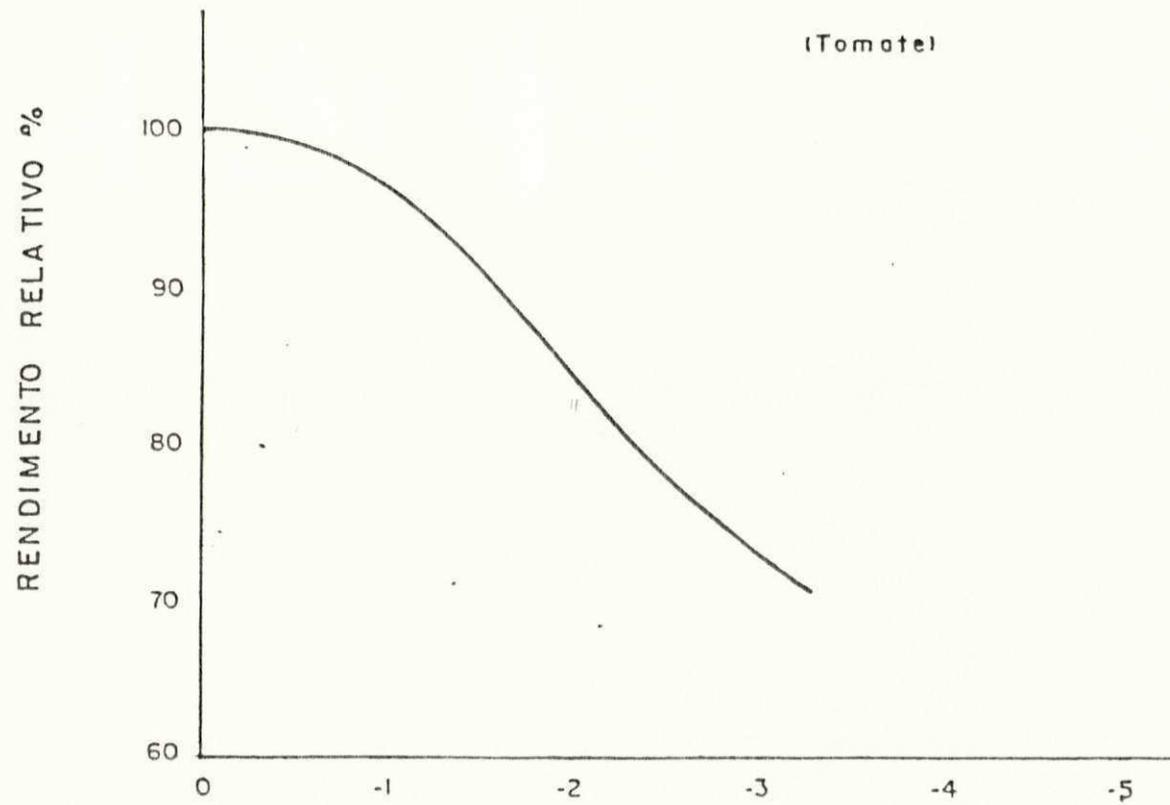


FIGURA 6 NÍVEL DE MANEJO DA IRRIGAÇÃO (BAR)
(MILLAR 1984)

POTENCIAL MATRICIAL VERSUS RENDIMENTO DA CULTURA

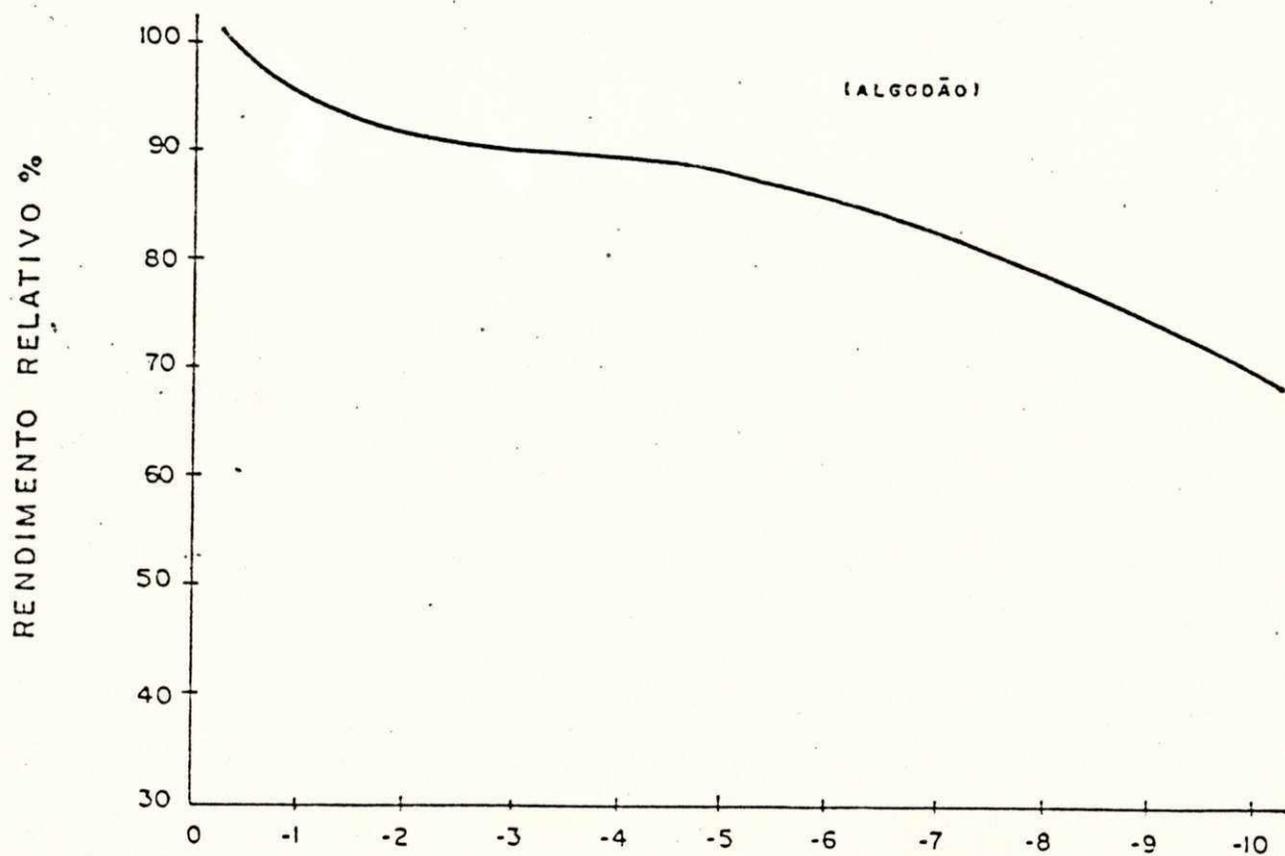


FIGURA 7 NIVEL DE MANEJO DA IRRIGACÃO (BAR)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DOS DIFERENTES TIPOS DE SOLOS PARA FINS DE IRRIGAÇÃO.

No Anexo I e II apresentam-se as características físico-hídricas dos solos amostrados e analisados do Perímetro Irrigado de Sumé-PB. O Anexo I relaciona a distribuição do tamanho das partículas, densidade global, densidade real, "capacidade de campo" e "ponto de murcha". O Anexo II apresenta as curvas de retenção da água no solo para alguns dos solos estudados. Observa-se que em geral os solos são de textura média (franca e franca arenosa de acordo com a classificação do USDA, 1965) com uma alta densidade aparente e valores médios de capacidade de Campo e Ponto de Murcha. Estes resultados estão de acordo com aqueles encontrados em estudos anteriores conduzidos pelo DNOCS (1966) e UFPB e FINEP (1983) no Perímetro Irrigado de Sumé.

A distribuição do tamanho das partículas (textura) para os cinco tipos de solos estudados é apresentada, por profundidade, na Tabela 7. Dos 5 solos estudados, quatro são de textura franca a franca arenosa. Com exceção dos solos D e E, os solos são relativamente uniforme em textura.

TABELA 7 - Caracterização Físico-Hídrica de Cinco Solos do Perímetro Irrigado de Sumé-PB.

SOLO	PROFUNDIDADE (%)	GRANULOMETRIA			CLASSE TEXTURAL	DENSIDADE		POROSIDADE (%)	UMIDADE %		ÁGUA DISPONÍVEL (%)
		% AREIA	% LIMO	% ARGILA		APARENTE (g/cm ³)	REAL (g/cm ³)		0,33 ATM	15 ATM	
A	0 - 15	61,9	28,0	10,1	Franco Arenoso	1,70	2,68	36,56	15,94	5,74	10,20
	15 - 30	61,6	28,9	9,5	Franco Arenoso	1,72	2,68	35,82	16,33	6,12	10,21
	30 - 60	63,0	27,4	9,6	Franco Arenoso	1,70	2,69	36,80	17,12	5,28	11,84
B	0 - 15	40,9	39,2	19,9	Franco	1,72	2,72	36,76	24,54	12,17	12,37
	15 - 30	41,9	38,6	19,5	Franco	1,74	2,71	35,79	22,31	10,87	11,44
	30 - 60	39,0	40,3	20,7	Franco	1,68	2,73	38,46	24,59	11,28	13,31
C	0 - 15	46,3	38,5	15,2	Franco	1,74	2,70	35,55	18,61	5,60	13,01
	15 - 30	56,8	30,1	13,1	Franco Arenoso	1,75	2,65	33,39	23,34	7,18	16,16
	30 - 60	59,9	31,1	9,0	Franco Arenoso	1,75	2,71	35,42	24,30	9,55	14,75
D	0 - 15	55,7	30,1	14,2	Franco Arenoso	1,76	2,77	36,46	20,61	8,13	12,48
	15 - 30	49,5	34,3	16,2	Franco	1,75	2,74	36,13	18,98	8,11	10,87
	30 - 60	20,7	39,4	39,9	Franco Argiloso	1,65	2,73	39,56	28,60	13,95	14,65
E	0 - 15	39,2	30,9	29,9	Franco Argiloso	1,67	2,74	39,05	21,48	11,01	10,47
	15 - 30	36,4	32,2	31,4	Franco Argiloso	1,66	2,79	40,50	36,19	19,47	16,77
	30 - 60	33,7	33,1	23,2	Franco Argiloso	1,64	2,68	38,80	39,83	17,18	22,55

Os valores de densidade aparente, apresentados na Tabela 7, variaram de 1,64 a 1,76 g/cm³, variando dentro dos intervalos indicados pela bibliografia (BUCKMAN & BRADY, 1983).

A densidade real ou das partículas variam de 2,65 a 2,79 g/cm³. Segundo BUCKMAN & BRADY (1983) a densidade real dos solos minerais varia para a maioria deles, numa faixa limitada de 2,65 a 2,77 g/cm³ devido estes solos serem compostos principalmente de quartzo, feldspato e silicatos coloidais com densidades compreendidas nesta faixa. A densidade poderá ser maior quando há ocorrências de minerais pesados tais como magnetita, granada, epídoto, zircão, turmalina ou hornblenda.

A porosidade total é bastante uniforme nos solos e com a profundidade variando de 35 a 40%, isto devido a uniformidade na distribuição do tamanho das partículas através do perfil do solo. Embora o manuseio do solo exerça influência considerável sobre o espaço poroso da camada superficial, os dados obtidos não amostram isto.

A quantidade de água disponível para as plantas, com exceção do solo E, apresentou variações pequenas, com a profundidade, isto devido aos valores de capacidade de campo e ponto de murcha variarem pouco dentro do perfil. Observa-se que os solos arenosos e franco-arenosos tem água disponível entre 10,20 e 16,16%, enquanto os solos franco argilosos apresentaram valores entre 10,47 e 22,65%. Assim, a medida que a textura se apresenta mais fina, há um aumento geral na armazenagem de água no solo, embora as argilas possuam, via de regra, menor capacidade do que os solos francos bem estru

turados. Isto possivelmente explica a pouca diferença em água disponível para as plantas entre as camadas de textura franco e franco argilosa do solo tipo D.

A Tabela 8 apresenta as equações das curvas de retenção de água para cada profundidade dos solos representativos do Perímetro Irrigado de Sumé. Estas equações representam matematicamente, as curvas de retenção dos solos, apresentados no Anexo II. Estas equações permitem obter as umidades do solo para qualquer potencial matricial ao qual este é submetido ou contrariamente, permitam conhecer o stress (tensão) a qual as plantas são submetidas sob um determinado conteúdo de água do solo.

4.2 - DEMANDA DE ÁGUA DAS CULTURAS

As Figuras 8, 9, 10 e 11 apresentam os coeficientes de culturas (K_c) versus o período de crescimento das culturas de milho, feijão, tomate e algodão, respectivamente. Para uma mesma cultura, os valores do K_c variaram com o desenvolvimento da planta, atingindo os máximos valores na época da floração e ou fecundação. No começo do ciclo, quando a planta está pouco desenvolvida e ao final deste, quando a planta atinge o estágio de maturação, as necessidades de água foram menores. Os valores de K_c , das culturas em estudo não diferem entre si, de acordo com HARGREAVES (1966) que classifica o milho, feijão, tomate e algodão num grupo de culturas, de mesmo coeficiente de cultivo.

SANTOS & SILVA (1984) determinando as curvas para as

TABELA 8 - Equações das curvas características dos solos do Perímetro Irrigado de Sumé-PB.

SOLO	PROFUNDIDADE	EQUAÇÃO	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)
A	0 - 15	$\theta = 13,20 \times T^{-0,25}$	0,98
	15 - 30	$\theta = 13,22 \times T^{-0,26}$	0,99
	30 - 60	$\theta = 13,36 \times T^{-0,29}$	0,99
B	0 - 15	$\theta = 21,41 \times T^{-0,18}$	0,99
	15 - 30	$\theta = 18,84 \times T^{-0,21}$	0,99
	30 - 60	$\theta = 20,71 \times T^{-0,21}$	0,99
C	0 - 15	$\theta = 14,29 \times T^{-0,32}$	0,99
	15 - 30	$\theta = 17,76 \times T^{-0,29}$	0,99
	30 - 60	$\theta = 18,92 \times T^{-0,27}$	0,99
D	0 - 15	$\theta = 15,54 \times T^{-0,23}$	0,99
	15 - 30	$\theta = 15,13 \times T^{-0,19}$	0,98
	30 - 60	$\theta = 23,75 \times T^{-0,19}$	0,99
E	0 - 15	$\theta = 18,71 \times T^{-0,19}$	0,99
	15 - 30	$\theta = 29,63 \times T^{-0,16}$	0,98
	30 - 60	$\theta = 32,19 \times T^{-0,19}$	0,96

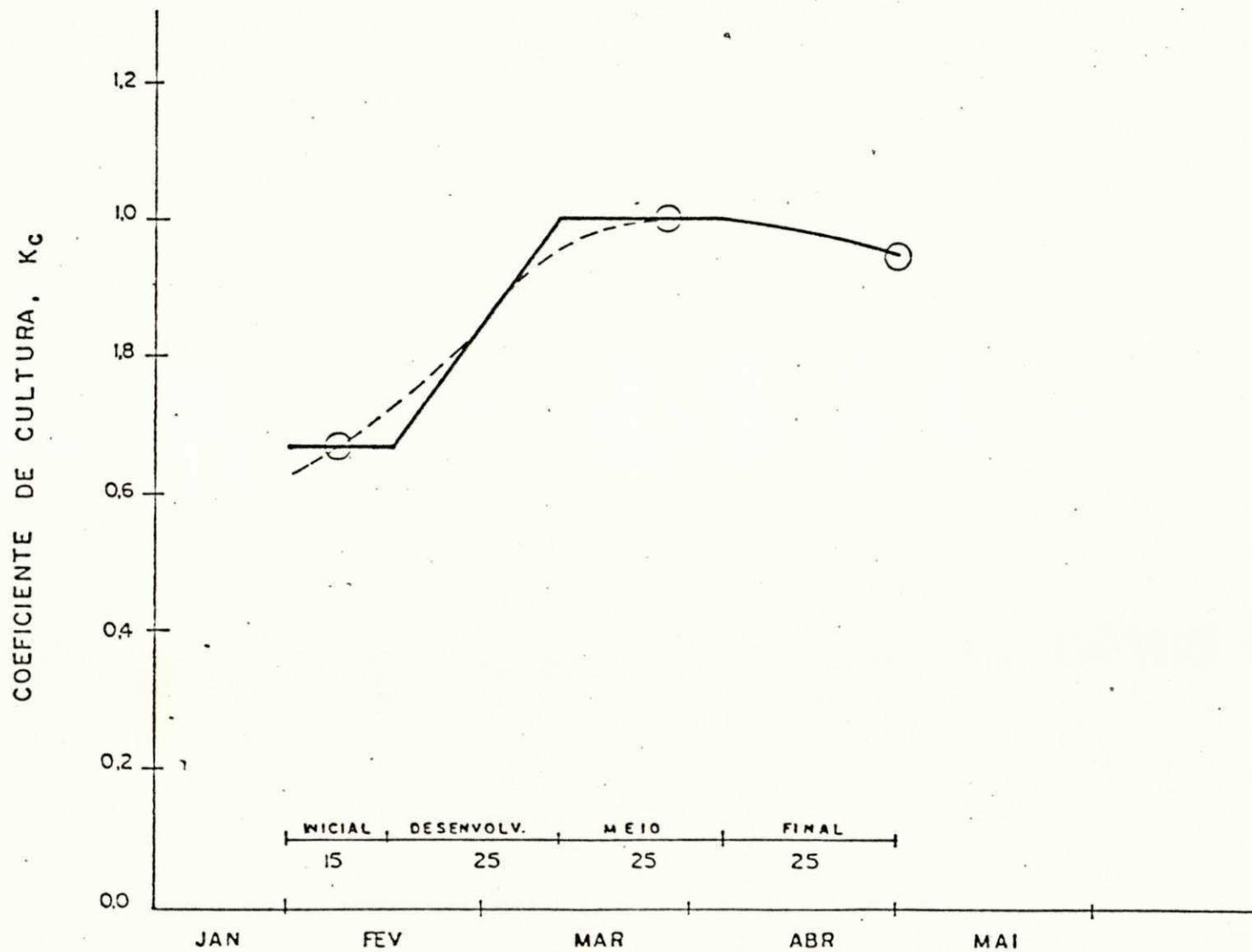


FIGURA 8 CURVA MÉDIA DO COEFICIENTE DE CULTIVO K_c MÉDIO PARA OS QUATRO ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO

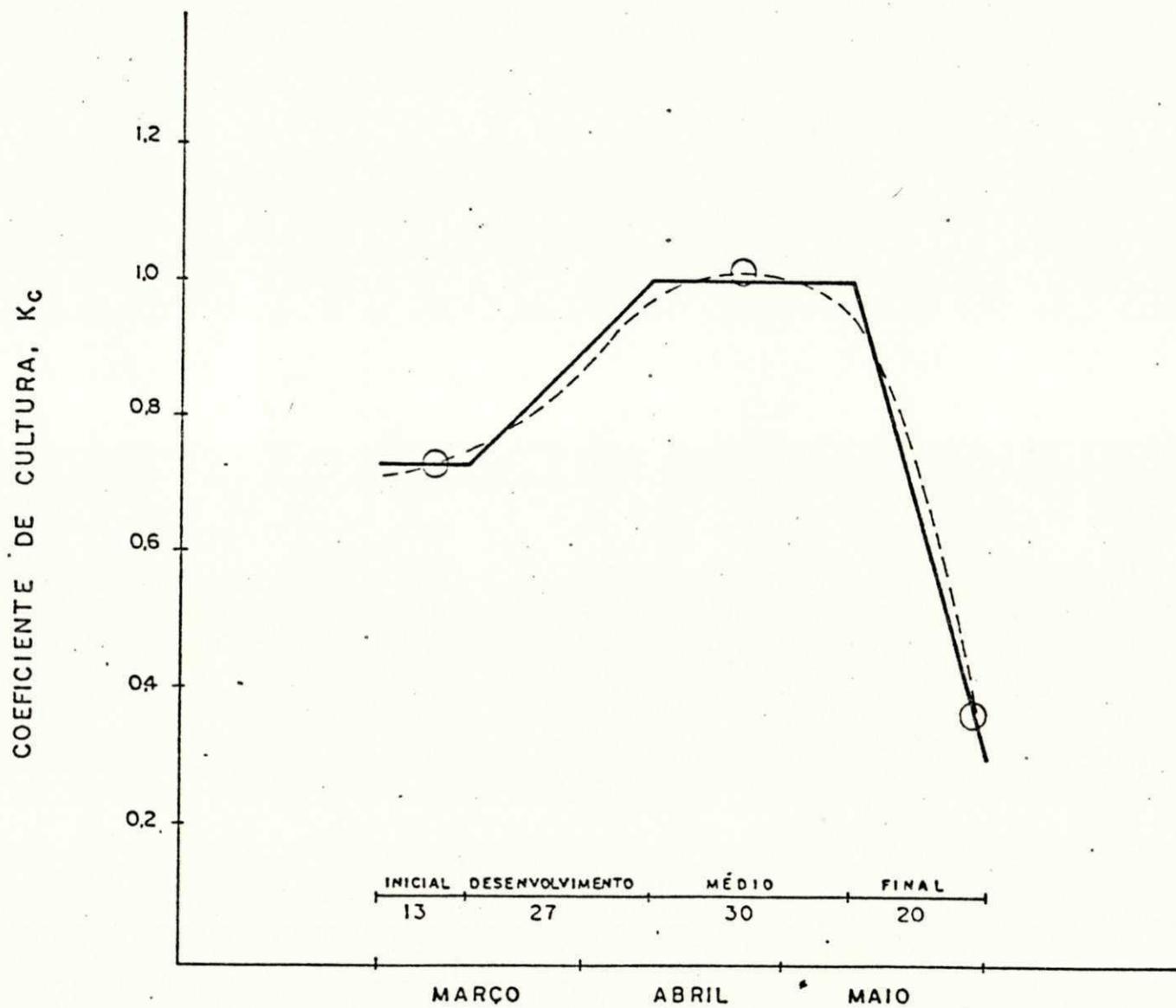


FIGURA 9 . CURVA MÉDIA DO COEFICIENTE DE CULTIVO K_c MÉDIO PARA OS QUATRO ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO FEIJÃO

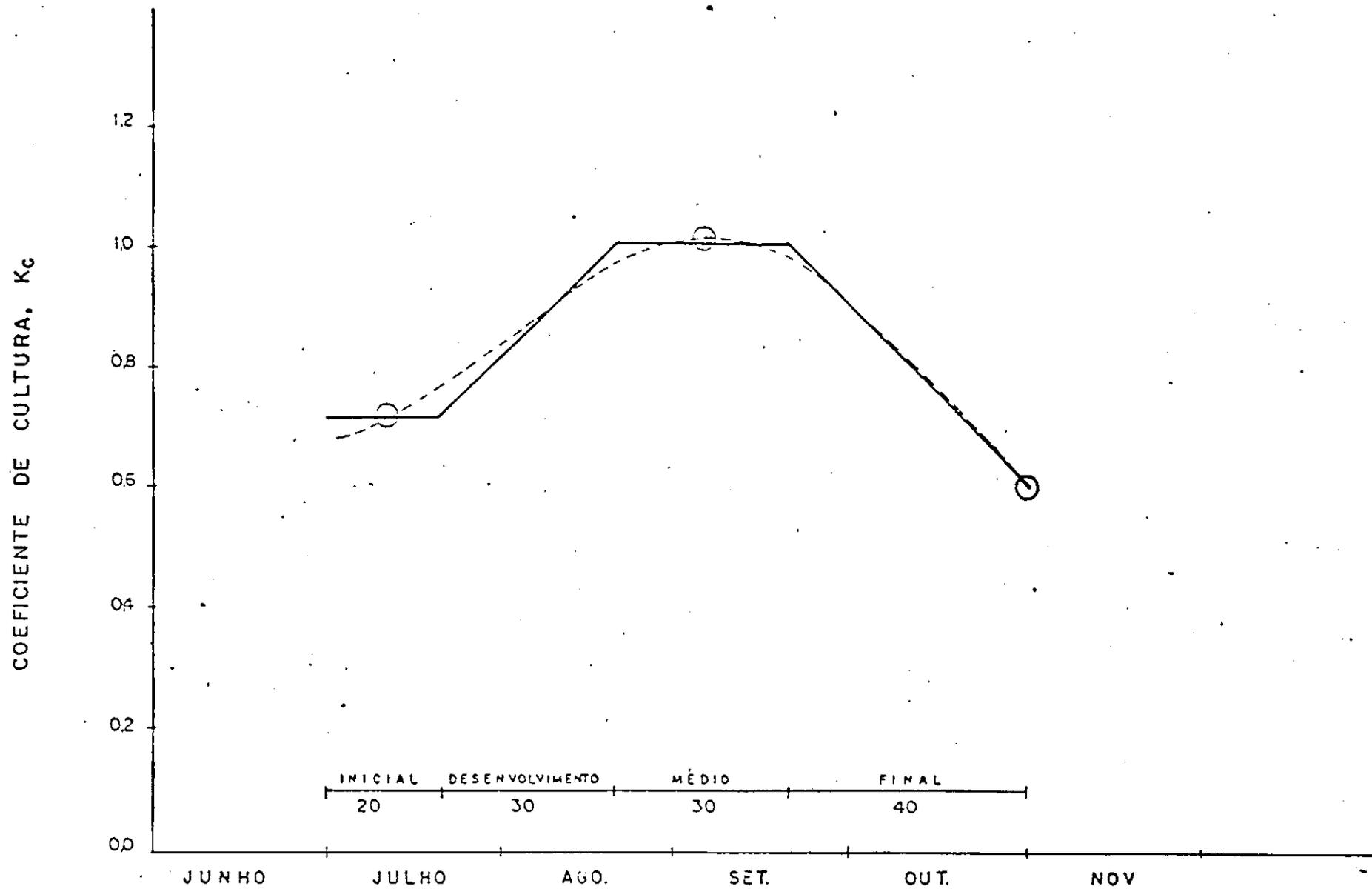


FIGURA 10 CURVA MÉDIA DO COEFICIENTE DE CULTIVO K_c MÉDIO PARA OS QUATRO ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO TOMATE

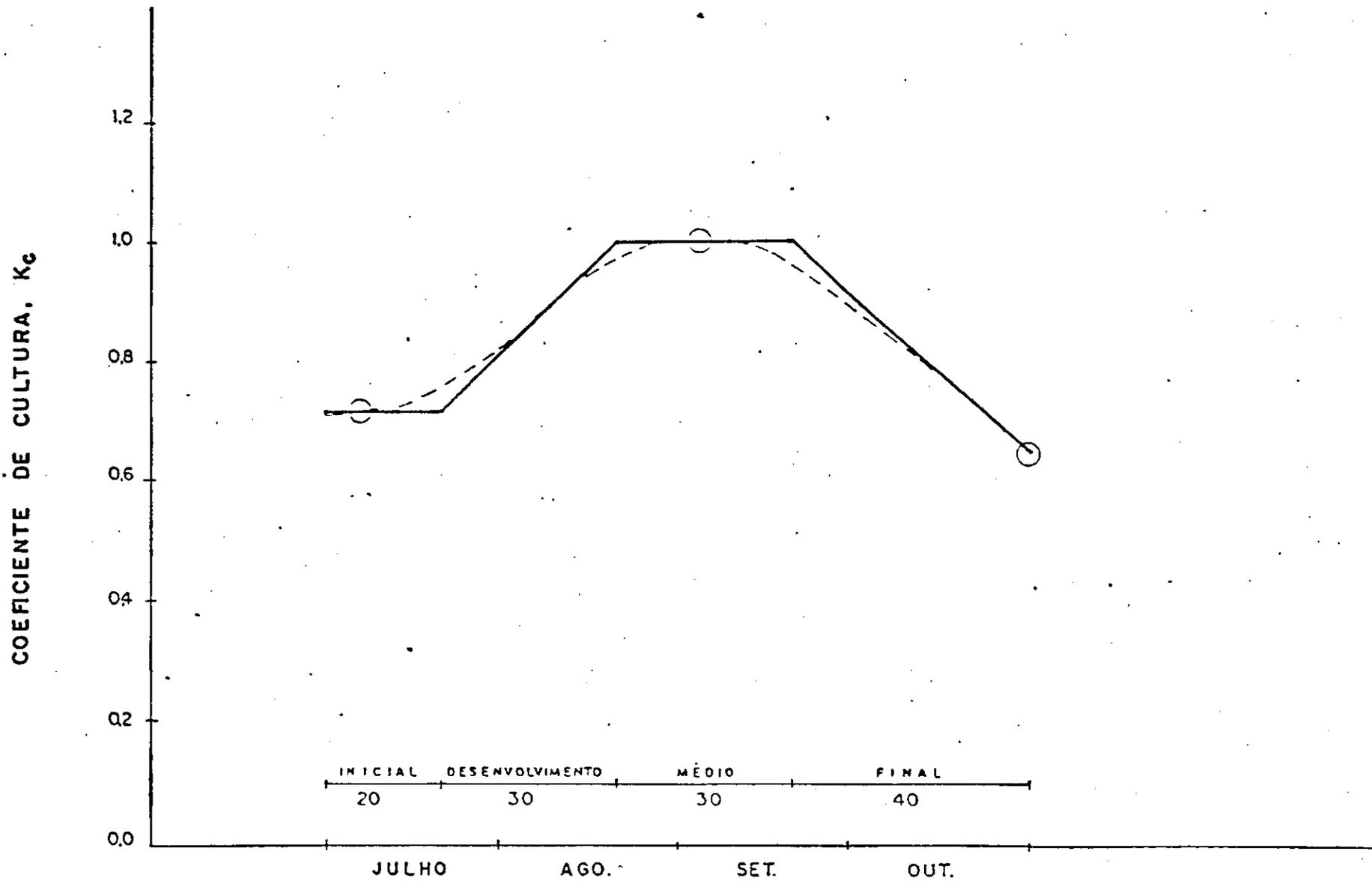


FIGURA II CURVA MÉDIA DO COEFICIENTE DE CULTIVO K_c MÉDIO PARA OS QUATRO ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO ALGODÃO

culturas de tomate e feijão no Médio São Francisco, encontraram resultados similares, com diferenças dos K_c no estágio inicial. Isto deve-se ao fato que os coeficientes de cultura para os estágios médio e final são baseados unicamente nas condições de umidade relativa e velocidade do vento, que não variam grandemente entre a área de Sumé e a do Médio São Francisco. Já o estágio inicial é baseado na Evapotranspiração Potencial que varia enormemente entre as duas áreas onde os trabalhos foram conduzidos. Assim, na área de Sumé e Evapotranspiração Potencial anual é de 1714mm enquanto em Petrolina é de 2080mm.

A Tabela 9 apresenta a evapotranspiração Potencial Mensal para o Perímetro Irrigado de Sumé, calculada pelo Método de HARGREAVES (1975) e os coeficientes de cultura, para cada um dos quatro estágios considerados, para as culturas estudadas. Os valores da evapotranspiração mensal multiplicados pelos coeficientes de cultura correspondente a cada mês, originaram as demandas de água (Tabela 10). Igualmente aos valores do K_c , as demandas de água foram maiores nos estados fenológicos de floração e fecundação. Observa-se também na Tabela 10, que as demandas de água variam com a época de plantio e desenvolvimento das culturas. Assim, as culturas cultivadas na época quente e seca (setembro e outubro) tiveram uma demanda de água (média de 130 mm/mês) maior que as cultivadas em época chuvosa de temperatura mais baixa, com média de 100mm por mês (fevereiro, março e abril).

TABELA 9 - Coeficientes de Cultura e Evapotranspiração Potencial para as culturas estudadas e para o Perímetro Irrigado de Sumé, respectivamente.

Mês	Evapotranspiração Potencial (mm)	Coeficiente de Cultura			
		Milho	Feijão	Tomate	Algodão
Janeiro	174				
Fevereiro	134	0,72			
Março	119	0,99	0,75		
Abril	114	0,97	1,00		
Maiο	110		0,85		
Junho	107				
Julho	120			0,74	0,67
Agosto	145			0,94	0,95
Setembro	160			1,00	0,99
Outubro	176			0,76	0,78
Novembro	173				
Dezembro	182				

TABELA 10 - Demanda de água das culturas (em mm)

CULTURA	TOTAL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Milho	324,9		96,5	117,8	110,6								
Feijão	296,8			89,3	114,0	93,5							
Tomate	518,9							88,8	136,3	160,0	133,8		
Algodão	513,9							80,4	137,8	158,4	137,3		

4.3 - PROGRAMAÇÃO DA IRRIGAÇÃO, MANEJO E OPERAÇÃO DO PROJETO.

Sendo o propósito básico da irrigação abastecer as plantas de água, antes que os níveis de água no solo baixem a valores prejudiciais à produtividade das culturas e qualidade dos produtos, usou-se quatro maneiras para determinar o momento e a quantidade de água à irrigar.

No cálculo das lâminas líquidas de irrigação não foi considerada a precipitação dependente nem as contribuições de água pela ascensão capilar a partir do lençol freático. No Perímetro Irrigado de Sumé, e em geral no Nordeste Semi-Árido, as chuvas são muito irregulares, ocorrendo meses com precipitação igual a zero, HARGREAVES (1973). O mesmo autor analisando dados de precipitação de 35 anos para o Município de Sumé encontra que chuvas de 12, 15, 15, 8 e 5mm durante os meses de fevereiro, março, abril, maio e junho, respectivamente, podem ser esperadas ocorrer em quatro anos num total de cinco. Isto corresponde a um nível de probabilidade de 80%, superior ao 75% valor selecionado como um valor razoável para a maioria das condições e culturas. Por outro lado a contribuição de água oriunda do lençol freático considerou-se insignificante uma vez que na maior parte do Perímetro o lençol freático está à profundidades maiores que 1m e a textura geralmente grossa dos solos, impossibilita a ascensão capilar.

Quando se irriga visando obter a máxima produção, ou 80% desta, ou através do critério da água disponível, a lâmina líquida de água é calculada baseando-se num grau de esgotamento de umidade, previamente estabelecido para as dife

rentes estágios de desenvolvimento. A frequência de irrigação é calculada dividindo a lâmina líquida pelo uso consuntivo diário.

A Tabela 11 apresenta as lâminas líquidas de irrigação e os turnos de rega para diferentes épocas de desenvolvimento das culturas crescendo nos cinco tipos de solos do perímetro irrigado de Sumé, que de acordo com a metodologia adotada permitiria obter produtividade máxima.

No caso do milho, observa-se com exceção do solo tipo D, para todos os estágios de crescimento, a cultura necessita de pequenas lâminas de irrigação, com pequenos turnos de rega. Assim tem-se irrigações tão pequenas como de 0,35mm, aplicadas em intervalos de 2,4 horas. Isto se deve ao fato de que, para obter produtividades máximas deve-se irrigar quando os potenciais matriciais do solo atingem 0,5 bars (MILLAR, 1984). Por outro lado, a escassa profundidade das raízes do milho fez que a água disponível na zona radicular deste fosse reduzida.

O solo D apresenta maiores lâminas e turnos de rega que os outros quatro solos; isto se deve ao fato de que as densidades aparentes deste solo foram altas (1,76 e 1,75 g/cm³ para os intervalos 0-15 e 15-30cm, respectivamente). Observando-se as equações das curvas características do solo D não se encontra uma percentagem de água disponível maior que nos outros solos; também não se pode atribuir ao sistema radicular do milho que é bem menos desenvolvido que nas outras culturas. O solo E embora mais argiloso não apresentou isto, devido estar menos compactado (densidade aparente 1,65 g/cm³).

O fato dos turnos de rega para o milho serem muito pe

TABELA 11 - Lâminas Líquidas e Turnos de Rega para Obtenção da Produtividade Máxima das Culturas.

CULTURA	MÊS	SOLO A		SOLO B		SOLO C		SOLO D		SOLO E	
		LÂMINA (mm)	TURNO DE REGA (dias)								
Milho	Fevereiro	0,61	0,18	0,74	0,21	2,04	0,59	6,31	1,83	0,35	0,10
	Março	0,78	0,21	1,14	0,30	2,60	0,68	6,94	1,83	1,39	0,37
	Abril	1,30	0,35	1,47	0,40	4,32	1,17	8,74	2,37	4,49	1,22
Feijão	Março	4,48	1,56	5,16	1,79	7,70	2,67	10,59	3,68	4,31	1,50
	Abril	12,03	3,17	13,44	3,54	19,72	5,19	21,38	5,63	21,96	5,78
	Maior	17,71	5,86	19,04	6,30	23,02	7,62	29,23	9,68	34,45	11,41
Tomate	Julho	5,04	1,76	5,83	2,04	8,53	2,98	11,25	3,93	4,91	1,72
	Agosto	7,51	1,71	8,49	1,93	13,23	3,01	14,56	3,31	10,49	2,38
	Setembro	10,66	2,00	12,04	2,26	19,23	3,61	19,19	3,60	17,68	3,32
	Outubro	13,47	3,12	14,96	3,46	23,83	5,52	22,78	5,27	23,76	5,50
Algodão	Julho	6,98	2,69	8,08	3,12	11,28	4,36	13,38	5,17	6,94	2,68
	Agosto	12,31	2,77	14,06	3,16	21,05	4,73	20,20	4,54	17,80	4,00
	Setembro	16,93	3,21	19,07	3,61	28,82	5,46	25,93	4,91	27,23	5,16
	Outubro	23,38	5,28	25,66	5,79	38,15	8,61	33,92	7,66	39,45	8,91

quenos nos dois primeiros meses significa, que a irrigação deve ser praticamente contínua. Do ponto de vista do uso e manejo, haverá dificuldades do manejo da irrigação.

O algodão, mais resistente ao déficit de água (potencial matricial limite de $-1,0$ bar para obtenção da máxima produtividade), apresenta os maiores intervalos de irrigação das quatro culturas irrigadas. O feijão e tomate com potenciais matriciais do solo máximos de $-0,75$ e $-0,80$ bars, respectivamente, em geral apresentam lâminas e intervalos de irrigação intermediários. Exceção faz novamente o solo D, pela mesma razão de solo anteriormente mencionada.

Observa-se também para as quatro culturas, um incremento das lâminas de irrigação e turnos de rega com o desenvolvimento das culturas. Isto devido a que a profundidade das raízes aumenta com o tempo, aumentando assim a capacidade de armazenamento de água no perfil de solo.

A Tabela 12 apresenta as lâminas líquidas e turnos de rega para obtenção de 80% dos máximos rendimentos; esta forma de determinar lâminas e turnos de rega se baseia no déficit hídrico no solo que os cultivos suportam para obter 80% dos rendimentos máximos.

Observa-se que na cultura do milho em todos os estágios de desenvolvimento, a cultura apresenta valores de lâminas e turnos de rega mais adequados ao uso da irrigação no que diz respeito ao uso e manejo, comparado a maneira de irrigar para obtenção da produtividade máxima. Os turnos de rega e as lâminas de irrigação são maiores, devido a que os potenciais matriciais para produzir 80% dos rendimentos, reco-

TABELA 12 - Lâminas e Turnos de Rega para Obtenção de 80% da Produtividade Máxima.

CULTURA	MÊS	SOLO A		SOLO B		SOLO C		SOLO D		SOLO E	
		LÂMINA (mm)	TURNO DE REGA (dias)								
Milho	Fevereiro	10,74	3,11	12,56	3,64	16,50	4,78	17,61	5,10	10,95	3,17
	Março	11,22	2,95	14,39	3,79	19,23	5,06	19,42	5,11	13,85	3,64
	Abril	17,19	4,66	19,90	5,39	27,45	7,44	24,85	6,73	22,62	6,13
Feijão	Março	10,74	3,73	12,56	4,36	16,50	5,73	17,61	6,11	10,95	3,80
	Abril	27,35	7,20	31,24	8,22	43,92	11,56	36,72	9,66	41,13	10,82
	Maio	39,33	13,02	43,91	14,54	61,32	20,30	51,52	17,06	63,44	21,01
Tomate	Julho	15,10	5,28	18,00	6,29	23,34	8,16	22,55	7,88	15,78	5,52
	Agosto	21,80	4,95	25,57	5,81	29,77	6,77	29,57	6,72	27,21	6,18
	Setembro	30,50	5,72	35,92	6,74	47,68	8,95	39,10	7,34	42,23	7,92
	Outubro	37,89	8,77	43,54	10,08	58,80	13,61	47,62	11,02	55,20	12,78
Algodão	Julho	20,32	7,85	24,90	9,61	29,02	11,20	28,62	11,05	21,87	8,44
	Agosto	34,97	7,86	42,26	9,50	52,46	11,79	43,91	9,87	46,23	10,39
	Setembro	47,29	8,96	56,36	10,67	71,44	13,53	57,63	10,91	67,60	12,80
	Outubro	63,82	14,41	74,85	16,90	94,74	21,39	77,66	17,53	96,35	21,75

mendados por MILLAR (1984), são menores que os recomendados para obtenção dos rendimentos máximos. Do ponto de vista prático esta forma de planejar a irrigação seria mais recomendável.

As culturas de feijão e milho no primeiro mês, apresentaram as mesmas lâminas líquidas, pois o potencial recomendado para produzir 80% dos rendimentos máximos é o mesmo para ambas culturas (-1,6 bars). No mês de abril, a cultura do feijão apresentou lâminas mais elevadas que o milho, no mesmo mês, apesar dos potenciais matriciais serem os mesmos (-1,6 bar), devido o feijão apresentar sistema radicular mais desenvolvido que o milho (35cm do feijão comparado com 17cm do milho).

A cultura do tomate durante todos os estágios apresentou lâminas e turnos de rega com valores intermediários, enquanto o algodão apresenta as maiores lâminas e turnos de rega. É que o algodão se desenvolve durante meses de maior demanda atmosférica e possui sistema radicular bem desenvolvido, próximo ao do feijão, 43cm.

Observa-se que no último mês para cada cultura os turnos de rega aumentaram consideravelmente; isto poderia ser explicado devido a que na maior parte deste mês as culturas se encontram nos estágios de maturação e colheita com necessidades de água menores que no mês anterior (veja Tabela 10).

A Tabela 13 apresenta as lâminas líquidas de irrigação e os turnos de rega para irrigações quando o solo atinge 50% da água disponível.

Observa-se um aumento das lâminas de irrigação com o

TABELA 13 - Lâminas líquidas e turnos de rega quando planeja-se uma vez que 50% da água disponível do solo tenha se esgotado.

CULTURA	MÊS	SOLO A		SOLO B		SOLO C		SOLO D		SOLO E	
		LÂMINA (mm)	TURNO DE REGA (dias)								
Milho	Fevereiro	13,00	3,77	16,14	4,68	16,97	4,92	16,47	4,77	13,11	3,80
	Março	14,84	3,91	17,94	4,72	19,80	5,21	18,40	4,84	15,91	4,19
	Abril	20,08	5,44	23,97	6,50	28,25	7,66	24,13	6,54	24,31	6,59
Feijão	Março	13,00	4,51	16,14	5,60	16,97	5,89	16,47	5,72	13,11	4,55
	Abril	31,21	8,21	36,60	9,65	44,71	11,77	36,78	9,68	43,20	11,37
	Maio	44,15	14,62	51,05	16,90	61,49	20,36	53,99	17,88	67,48	22,34
Tomate	Julho	13,00	4,55	16,14	5,64	16,97	5,93	16,47	5,76	13,11	4,58
	Agosto	18,33	4,17	21,85	4,97	25,58	5,81	22,19	5,04	21,53	4,89
	Setembro	25,32	4,75	29,90	5,61	36,63	6,87	29,88	5,61	32,59	6,11
	Outubro	31,21	7,22	36,63	8,48	44,71	10,35	36,78	8,51	43,20	10,00
Algodão	Julho	13,00	5,02	16,14	6,23	16,97	6,55	16,47	6,36	13,11	5,06
	Agosto	21,80	4,90	25,93	5,83	31,06	6,98	26,05	5,85	26,91	6,05
	Setembro	29,26	5,54	34,17	6,47	42,13	7,98	36,24	6,86	39,74	7,53
	Outubro	39,38	8,89	45,37	10,24	55,05	12,43	46,68	10,54	57,93	13,08

tempo. Para o primeiro mês e para o mesmo solo as culturas apresentam idênticas lâminas líquidas de irrigação, isto devido a que estas dependem das características do solo e da profundidade do sistema radicular, que para o primeiro mês foi idêntica para todas as culturas (15cm).

No segundo mês, a cultura do milho apresentou lâminas líquidas e turnos de rega semelhantes a aquelas do primeiro mês, devido a que o desenvolvimento radicular nesse intervalo de tempo foi bastante pequeno (de 15 para 17cm). O mesmo não ocorreu com as outras culturas, nas quais houve um significante aumento do sistema radicular do mês de fevereiro para o mês de março. O reduzido crescimento do sistema radicular do milho fez com que a água disponível no solo na zona radicular fôsse pequena, resultando em pequenas lâminas de irrigação e turnos de rega.

A cultura do tomate apresentou também lâminas líquidas e turnos de rega intermediários, pelo fato de seu sistema radicular apresentar profundidade média intermediária entre as quatro culturas. Com exceção da cultura do feijão durante os estágios de maturação e colheita (maio), o algodão apresentou as maiores necessidades de lâminas e turnos de rega. O fato do feijão no estágio dito tenha apresentado necessidade de maiores lâminas e turnos de rega que o algodão é que neste estágio e feijão apresentou sistema mais desenvolvido que o algodão, 48cm.

A Tabela 14 apresenta os valores dos potenciais matriciais e os rendimentos dos cultivos para cada solo quando a irrigação é feita ao atingir 50% da sua água disponível. Os

TABELA 14 - Potenciais matriciais e rendimentos, quando irriga-se utilizando 50% da água disponível.

CULTURA	MÊS	SOLO A		SOLO B		SOLO C		SOLO D		SOLO E	
		POTENCIAL MATRICIAL (bar)	RENDIMENTO (%)								
Milho	Fevereiro	- 2,20		- 2,41		- 1,68		- 1,41		- 2,10	
	Março	- 2,17	71	- 2,21	69	- 1,70	77	- 1,46	82	- 1,95	74
	Abril	- 2,10		- 2,07		- 1,68		- 1,50		- 1,79	
Feijão	Março	- 2,20		- 2,41		- 1,68		- 1,41		- 2,10	
	Abril	- 1,99	74	- 2,03	73	- 1,65	80	- 1,59	82	- 1,72	78
	Maior	- 1,94		- 1,97		- 1,61		- 1,74		- 1,80	
Tomate	Julho	- 2,20		- 2,41		- 1,68		- 1,41		- 2,10	
	Agosto	- 2,05		- 2,16		- 1,68		- 1,49		- 1,61	
	Setembro	- 2,06	86	- 2,10	83	- 1,67	90	- 1,56	94	- 1,68	89
	Outubro	- 1,99		- 2,04		- 1,65		- 1,59		- 1,72	
Algodão	Julho	- 2,20		- 2,41		- 1,68		- 1,41		- 2,10	
	Agosto	- 2,09		- 2,14		- 1,67		- 1,51		- 1,63	
	Setembro	- 2,07	89	- 2,10	89	- 1,66	91	- 1,75	93	- 1,70	90
	Outubro	- 1,94		- 2,11		- 1,64		- 1,62		- 1,72	

potenciais matriciais do solo que representam um esgotamento de 50% da água disponível, são idênticos para o primeiro mês de cada cultura devido a que tais potenciais foram obtidos para as mesmas condições de solo, necessidades de irrigação e profundidade radicular. Análises da tabela 14 permite observar que os potenciais matriciais do solo equivalentes a 50% da água disponível no solo são menores que os potenciais matriciais aos quais deveria-se irrigar para obter a produtividade máxima (Tabela 5). Assim os rendimentos não poderão ser nem são os máximos.

Ainda, observa-se para o milho e para o feijão os potenciais matriciais equivalentes a 50% da água disponível são inferiores a aqueles aos quais deveria se irrigar para obter 80% de produtividade máxima (Tabela 6), assim os rendimentos são menores que 80%. Exceção fazem as culturas crescendo no solo D em que os potenciais matriciais a 50% de água disponível são maiores que aqueles necessários para obter 80% da produção máxima. Neste solo os rendimentos foram superiores a 80% (82%).

Os potenciais matriciais a 50% da água disponível para as culturas de tomate e algodão são maiores que os potenciais com os quais deveria obter-se 80% dos rendimentos máximos, assim os rendimentos foram maiores (acima de 83%).

Os rendimentos mostrados na Tabela 14 correspondem aos rendimentos obtidos durante o estágio mais sensível ao déficit hídrico. Segundo Doorembos e Pruitt (1975) e Grassi *et alii* (1967) citados por MILLAR (1984) os períodos críticos para o milho seriam aqueles antes da formação do pólen

e durante a formação da espiga. Para o feijão são os estágios de polinização, floração e formação de vagem. Para o tomate a floração e o início da maturação. Para o algodão a floração e a formação dos capulhos. Assim, os períodos críticos para o milho e o feijão correspondem ao segundo mês de desenvolvimento (março e abril, respectivamente). Para as culturas de tomate e algodão, os períodos críticos correspondem ao segundo e terceiro meses de desenvolvimento. Para estas culturas os rendimentos apresentados correspondem a o menor rendimento obtido em qualquer dos períodos críticos considerados.

A Tabela 15 apresenta as lâminas líquidas, os potenciais matriciais dos solos e os rendimentos obtidos quando irriga-se com um turno de rega fixo de 4 dias (usado no Perímetro de Sumé).

Em semelhança com a metodologia anterior (irrigação a cada vez que 50% da água disponível é esgotada), esta não considera os limites de umidade do solo que a cultura pode suportar (inferiores ou superiores), e assim os rendimentos podem não ser necessariamente os melhores. A análise da Tabela 15 permite observar também que usando esta modalidade de programação, as lâminas de irrigação são iguais para todos os solos. Também seus valores não dependem da profundidade das raízes, assim, a cultura do milho, com um sistema radicular reduzido, precisa de lâminas tão grandes como a cultura de feijão com um sistema radicular muito mais desenvolvido.

Em geral, os potenciais matriciais do solo que foram atingidos no momento da irrigação cada 4 dias variaram entre

TABELA 15 - Lâminas líquidas, rendimentos e potenciais matriciais para quando irriga-se com um turno de rega fixo (4 dias).

CULTURA	MÊS	SOLO A			SOLO B		SOLO C		SOLO D		SOLO E	
		LÂMINA (mm)	POTENCIAL MATRICIAL (bars)	RENDI MENTO (%)								
Milho	Fevereiro	13,79	- 2,47		- 1,83		- 1,24		- 1,04		- 2,29	
	Março	15,20	-2,25	70	- 1,70	79	- 1,16	85	- 1,05	88	- 1,81	77
	Abril	14,74	- 1,32		- 1,12		- 0,80		- 0,75		- 0,94	
Feijão	Março	11,52	- 1,78		- 1,43		- 1,02		- 0,82		- 1,72	
	Abril	15,20	- 0,87	87	- 0,81	88	- 0,62	91	- 0,58	92	- 0,60	92
	Maior	12,08	- 0,63		- 0,63		- 0,51		- 0,46		- 0,44	
Tomate	Julho	11,44	- 1,77		- 1,42		- 1,01		- 0,82		- 1,70	
	Agosto	17,60	- 1,91		- 1,55		- 1,02		- 1,02		- 1,35	
	Setembro	21,32	- 1,46	86	- 1,29	91	- 0,87	96	- 0,91	96	- 0,96	89
	Outubro	17,28	- 0,96		- 0,88		- 0,66		- 0,63		- 0,64	
Algodão	Julho	10,36	- 1,52		- 1,27		- 0,93		- 0,73		- 1,49	
	Agosto	17,80	- 1,50		- 1,26		- 0,86		- 0,86		- 1,11	
	Setembro	21,12	- 1,25	92	- 1,10	93	- 0,77	96	- 0,79	96	- 0,79	94
	Outubro	17,72	- 0,81		- 0,76		- 0,60		- 0,58		- 0,55	

aqueles valores necessários para produzir rendimentos máximos e aqueles para produzir 80% destes.

Quando estes potenciais resultaram ser menores que aqueles necessários para obter 80% dos rendimentos máximos, como foi no caso do milho nos solos A, B e E, os rendimentos foram menores (70, 79 e 77%, respectivamente). No resto dos casos, os potenciais foram maiores que aqueles necessários para produzir 80% dos rendimentos e assim estes variam entre 80 e 100%. Em geral, os rendimentos foram bastante altos (87 a 96%). Observa-se que no último mês das culturas do feijão, tomate e milho, os potenciais matriciais foram maiores que aqueles necessários para produzir rendimentos máximos, não obstante durante o período crítico estes foram menores o qual contribuiu para diminuir os rendimentos.

4.4 - COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS USADOS PARA PROGRAMAR A IRRIGGAÇÃO.

Sob as condições do Nordeste e visando facilitar o manejo da irrigação é conveniente utilizar um só critério para operar a irrigação no Perímetro Irrigado de Sumé.

A modalidade de irrigação visando obter produções máximas apresenta certas inconveniências do ponto de vista da operação da irrigação quando comparadas com as outras três modalidades. Assim, para a cultura do milho as lâminas de irrigação necessárias resultam ser muito pequenas o que incorre na obtenção de turnos de rega muito baixos para poderem ser utilizados na prática. Semelhante situação acontece com

o feijão e tomate implantados nos solos A, B e E.

A maneira de irrigar que utiliza 80% da produtividade máxima apresenta valores de lâminas líquidas e turnos de rega mais adequados do ponto de vista do uso e manejo da irrigação, que a maneira de irrigar que visa produtividade máxima. Os valores das lâminas líquidas e turnos de rega são maiores e tornam mais fácil a operação de irrigação.

A maneira de irrigar que utiliza 50% da água disponível, apresenta rendimentos inferiores a 80% de produtividade máxima, para as culturas do milho nos solos A, B, C e E e para a cultura do feijão nos solos A, B e E. Já para o tomate e feijão os rendimentos foram superiores a 80%, não atingindo a produção máxima.

A modalidade de irrigar usando um turno de rega fixo de 4 dias apresentou rendimentos inferiores a 80% unicamente para o milho implantado nos solos A, B e E. No entanto, nos solos B e E foram bem próximos a 80% (79 e 77%, respectivamente) pelo qual poderiam ser considerados dentro do intervalo de rendimentos aceitáveis.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Baseado nos resultados obtidos é possível extrair as seguintes conclusões e recomendações:

1 - Os resultados deste estudo indicam que os solos do projeto são solos aluviais, de textura em geral franco arenosa, franca, e franco argilosa. A densidade aparente é alta variando de 1,64 a 1,76, decorrente de sua textura arenosa; a porosidade é média e bastante uniforme, inclusive na camada superficial do solo.

2 - A maneira de irrigar que utiliza lâminas e turnos de rega para obtenção da produtividade máxima, não é recomendável para a cultura do milho, pois se tornaria impraticável a irrigação com turnos de rega inferiores a um dia.

3 - A maneira de irrigar que utiliza lâminas e turnos de rega para obtenção de 80% da produtividade máxima, se apresenta como uma alternativa entre as quatro maneiras adotadas para irrigar, pois garante em todas as culturas um mínimo de rendimentos de 80% da produtividade máxima com um adequado manejo da operação de irrigação.

4 - A modalidade que utiliza 50% da água disponível no cálculo das lâminas líquidas e turnos de rega, apresenta rendimentos inferiores a 80% na cultura do milho para os solos

A, B, C e E e nos solos A, B e E para o feijão. Portanto com exceção do milho e feijão nos solos acima citados, pode-se recomendar esta modalidade como uma prática de irrigação pois o turno de rega das culturas são maiores que o turno de rega administrativo do Perímetro de Sumé, (4 dias) não acarretando nenhum déficit hídrico para as culturas, já que os rendimentos apresentados são acima de 80%.

5 - A modalidade de irrigar usando um turno de rega fixo de 4 dias apresentou rendimentos inferiores a 80% apenas para a cultura do milho nos solos A, B e E (70, 79 e 77%), respectivamente.

6 - Considerando que quando irriga-se com um turno de rega fixo de 4 dias, dispensa-se a aquisição de equipamentos de controle de umidade, a operação e controle de irrigação torna-se fácil e acessível para o irrigante e os rendimentos obtidos foram satisfatórios (acima de 80%), com exceção do milho nos solos A, B e E. Tal modalidade poderá ser recomendada como uma prática de irrigação no Perímetro de Sumé por se adequar as condições administrativas, nível técnico dos agricultores, e dispensa de recursos para aquisição de equipamento para medição do momento de irrigação, mantendo altos níveis de produtividade.

BIBLIOGRAFIA

1. AINA, P. O. 1979. Soil Changes Resulting From Long Term Management Practices in Western Nigeria. Soil. Sci. Soc. Am.Proc.43, 177.
2. BAVER, L. D. Soil Physics. Third edition, New York.N. Y. JOHN WILEY & SONS. 1956. pp. 2 - 146.
3. BERNARDO. S. 1984. Manual de Irrigação. 3ª ed. Viçosa, UFV. Impr. Univ.
4. BLACK, C. A. 1975. Relaciones Suelo - Planta. Editorial Hemisfério Sur. SRL. Buenos Aires. Argentina. pp. 444.
5. BUCKMAN, HARRY O. & NYLE C. BRADY. 1983. Natureza e Propriedades dos Solos. 6ª ed. Rio de Janeiro. Freitas Bastos.
6. DAKER, A. 1984. Irrigação e Drenagem. A Água na Agricultura. 3ª ed. 6ª ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro. Freitas Bastos. pp. 543. il. tab.
7. DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS.1966. Projeto Executivo de Sumé. Recife. DNOCS.
8. DOOREMBOS,J. & KASSAM,A. 1979.Yields Responses to Water. Rome. FAO. Irrigation and Drainage Paper nº 26.
9. FAO. 1975. Crop Water Requirements. Food and Agriculture

Organization of the United Nations. Paper nº 24. Rome.

10. FINEP/UFPB. 1983. Caracterização de Solos Irrigados com Problemas de Sais, Prevenção e Recuperação. Relatório Final. Julho.
11. FORSYTHE, W. M. 1975. Densidad de las Partículas del Suelo: Metodo con Agua y con Kerosene. Curso de Física de Suelo. Turrialba. IICA. s. d. 14p.
12. GRASSI, J.C. 1968. Estimación de los Usos Consuntivos de Agua y Requerimientos de Riego con Fines de Formulación y Diseño de Proyectos. Criterios y Procedimientos. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Agua y Terras. Mérida. Venezuela. Enero.
13. HARGREAVES, G. H. & CHRISTIANSEN, J. E. 1966. Consumptive Use Computation From Evaporation Pan Data. In: Methods Estimating Evapotranspiration. New York. ASCE. p. 35-64.
14. HARGREAVES, G. H. 1973. Disponibilidades e Deficiências de Umidade para a Produção Agrícola no Ceará, Brasil, Universidade do Estado de Utah. Agosto.
15. HARGREAVES, G. H. 1974. Potential Evapotranspiration and Irrigation Requirements for Northeast Brazil. Utah State University.
16. HARGREAVES, G. H. 1975. Climatic and Irrigation Requirements for Brazil. Utah State University, Logan.
17. HILLEL, D. 1970. Solo e Água. Fenômenos e Princípios Físicos. Porto Alegre. UFRG. p. 231.

18. HILLEL, D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. Department of Plant and Soil Science. University of Massachusetts. Amherst, Massachusetts, New York.
19. KIEHL, J. E. 1979. Manual de Edafologia. Relações Solo-Planta. Editora Agronômica Ceres. São Paulo.
20. LOROCHE, ALBERTO. 1973. Recursos de Água e Solo e o Programa de Irrigação do Nordeste. V Curso de Engenharia de Irrigação e Drenagem. Escola Politécnica. Agosto.
21. MAGALHÃES, A. A.; A. A. MILLAR; E. N. CHOUDHURY e M. M. CHOUDHURY. 1979. Efeito do Déficit Fenológico de Água Sobre a Produção do Feijão. Turrialba. 29(4): 269. 273.
22. MILLAR, AGUSTIN, A. 1984. Manejo Racional da Irrigação: Uso de Informações Básicas Sobre Diferentes Culturas. IICA. Série Publicações Miscelâneas nº 461. Brasília, DF.
23. REICHARDT, K. 1978. A Água na Produção Agrícola. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil. p. 119.
24. SANTOS, E. D. & SILVA, A. S. Estimación de los Requerimientos de Riego para el Médio São Francisco en el Nordeste do Brasil. Chapingo, México (não publicado).
25. TACKETT, H. M. & PEARSON, E. 1964. Some Effects of Compacted Soil Pans on Plant Growth in the Southern Great Plains. J. Soil Water Conserv. 18: 235-6.
26. TAYLOR, A. STARLING. 1965. Physics of Irrigated and Nonirrigated Soils. Utah State University.
27. U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Plant-Water Relationships.

- SCS National Engineering Hand-Book Section 15. Chapter 1. March 1965. 72p.
28. VOMOCIL, J. A. 1965. Porosity. New York. Academic Press. Part 1. p. 299-314 (Agronomy Monograph, nº 9).
29. WILDE, S. H. 1959. Forest Soils, Their Properties and Relation to Silviculture. New York. N. Y. The Ronald Company. 357p.
30. WITHERS, B. & VIPOND, S. 1984. Irrigação, Projeto e Prática. 2ª ed. São Paulo. 339p.

ANEXOS

ANEXO I - Caracterização físico-hídrica dos cinco solos representativos do Perímetro Irrigado de Sumê-PB.

AMOSTRA	TIPO DE SOLO	PROFUNDIDADE (cm)	GRANULOMETRIA			DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)	DENSIDADE REAL (g/cm ³)	UMIDADE %	
			% AREIA	% LIMO	% ARGILA			0,33 ATM	15 ATM
2	A	0 - 15	68,0	24,6	7,4	1,75	2,70	18,34	7,30
		15 - 30	68,4	24,3	7,3	1,74	2,68	18,22	7,80
		30 - 60	76,5	16,2	7,3	1,72	2,69	10,25	5,39
3	A	0 - 15	54,1	29,5	16,4	1,79	2,72	17,15	7,05
		15 - 30	56,4	29,4	14,2	1,75	2,63	16,39	8,95
		30 - 60	55,8	26,2	18,0	1,76	2,71	17,77	9,35
4	A	0 - 15	60,3	29,5	10,72	1,77	2,70	26,94	12,65
		15 - 30	63,7	27,2	5,5	1,79	2,76	25,84	13,44
		30 - 60	58,9	30,8	10,3	1,76	2,80	26,77	11,64
7	A	0 - 15	73,1	16,15	10,4	1,75	2,80	12,70	5,76
		15 - 30	69,4	17,5	13,1	1,72	2,73	12,98	4,69
		30 - 60	59,7	23,7	16,6	1,71	2,68	15,73	7,42

Continuação do ANEXO I.

AMOSTRA	TIPO DE SOLO	PROFUNDIDADE (cm)	% AREIA	% LIMO	% ARGILA	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)	DENSIDADE REAL (g/cm ³)	UMIDADE %	
								0,33 ATM	0,15 ATM
9	A	0 - 15	57,4	28,3	14,3	1,74	2,74	17,25	7,34
		15 - 30	57,8	27,9	14,3	1,75	2,64	16,87	7,98
		30 - 60	56,8	27,8	15,4	1,73	2,68	17,69	8,30
10	A	0 - 15	56,8	29,3	13,8	1,75	2,68	17,11	8,99
		15 - 30	57,3	28,3	14,3	1,78	2,68	17,26	9,07
		30 - 60	63,6	24,1	12,3	1,74	2,74	16,03	7,95
11	A	0 - 15	65,6	20,5	13,9	1,72	2,70	12,60	5,34
		15 - 30	66,7	23,2	10,1	1,70	2,68	11,80	4,35
		30 - 60	68,0	23,9	8,1	1,69	2,69	10,77	3,41
14	A	0 - 15	54,8	42,2	3,0	1,73	2,80	31,78	12,86
		15 - 30	55,8	42,1	2,0	1,78	2,76	35,50	12,30
		30 - 60	61,8	28,0	10,2	1,72	2,78	34,53	17,81

Continuação do ANEXO I.

AMOSTRA	TIPO DE SOLO	PROFUNDIDADE (cm)	GRANULOMETRIA			DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)	DENSIDADE REAL (g/cm ³)	UMIDADE %	
			% AREIA	% LIMO	% ARGILA			0,33 ATM	0,15 ATM
18	A	0 - 15	69,1	20,1	10,8	1,72	2,74	37,22	8,94
		15 - 30	70,1	18,1	11,8	1,77	2,79	35,48	6,94
		30 - 60	71,6	18,2	10,2	1,75	2,78	37,05	6,39
20	A	0 - 15	69,0	20,7	10,3	1,69	2,57	15,00	6,30
		15 - 30	71,3	17,7	11,0	1,66	2,58	14,32	6,40
		30 - 60	71,0	17,6	11,4	1,65	2,65	14,90	7,60
21	A	0 - 15	55,3	40,0	4,7	1,65	2,64	17,83	11,64
		15 - 30	51,2	45,0	3,8	1,71	2,64	19,72	12,29
		30 - 60	55,4	41,1	3,5	1,66	2,65	23,28	15,85
22	A	0 - 15	67,6	19,7	12,8	1,76	2,65	21,36	4,51
		15 - 30	69,8	19,7	10,7	1,77	2,69	16,90	4,04
		30 - 60	72,0	19,7	8,7	1,74	2,75	17,66	4,18

Continuação do ANEXO I.

AMOSTRA	TIPO DE SOLO	PROFUNDIDADE (cm)	GRANULOMETRIA			DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)	DENSIDADE REAL (g/cm ³)	UMIDADE %	
			% AREIA	% LIMO	% ARGILA			0,33 ATM	0,15 ATM
24	A	0 - 15	65,0	26,4	8,7	1,74	2,72	9,53	4,54
		15 - 30	55,8	28,6	12,8	1,78	2,76	9,32	4,49
		30 - 60	61,0	26,6	12,8	1,74	2,79	14,04	6,06
23	A	0 - 15	67,1	21,2	11,6	1,70	2,72	12,15	6,36
		15 - 30	62,8	24,4	12,7	1,74	2,72	12,72	6,21
		30 - 60	69,0	23,3	7,6	1,72	2,68	13,08	6,46
26	A	0 - 15	67,0	21,3	11,7	1,63	2,72	15,35	6,62
		15 - 30	68,9	18,3	12,7	1,75	2,78	22,68	11,01
		30 - 60	64,8	23,5	11,7	1,70	2,74	14,99	6,26
5	B	0 - 15	27,0	45,9	27,1	1,73	2,59	24,54	12,17
		15 - 30	34,2	45,8	20,0	1,76	2,80	22,31	10,87
		30 - 60	34,1	41,8	24,2	1,70	2,65	24,59	11,28

Continuação do ANEXO I.

AMOSTRA	TIPO DE SOLO	PROFUNDIDADE (cm)	GRANULOMETRIA			DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)	DENSIDADE REAL (g/cm ³)	UMIDADE %	
			% AREIA	% LIMO	% ARGILA			0,33 ATM	0,15 ATM
6	D	0 - 15	55,7	30,15	14,2	1,76	2,77	20,61	8,13
		15 - 30	34,3	49,5	16,2	1,75	2,74	18,98	8,11
		30 - 60	20,7	39,4	39,9	1,65	2,80	28,60	13,95
25	E	0 - 15	64,7	24,6	10,7	1,67	2,79	21,48	19,47
		15 - 30	29,2	30,9	39,9	1,66	2,68	36,19	17,18
		30 - 60	56,4	32,2	11,4	1,64	2,73	39,83	10,32

ANEXO II - Curvas de retenção dos solos representativos. (As umidades são expressas em % base solo seco).

SOLO	AMOSTRA	PROFUNDIDADE (cm)	POTENCIAL MATRICIAL (ATM)						
			0,1	0,33	1,0	3,0	5,0	10,0	15,0
A	11	0 - 15	24,90	19,13	17,13	12,62	10,18	8,38	6,86
		15 - 30	22,42	17,06	11,63	9,40	7,67	6,85	4,76
		30 - 60	32,09	23,57	17,66	11,40	9,68	7,71	5,76
A	16	0 - 15	21,51	19,14	16,35	13,35	9,60	6,56	5,30
		15 - 30	29,73	23,03	19,27	11,33	10,00	8,76	6,67
		30 - 60	30,12	24,01	17,92	12,48	10,23	7,84	6,09
A	19	0 - 15	26,04	14,94	12,22	11,60	10,13	8,42	6,00
		15 - 30	23,90	12,64	9,14	8,13	7,42	6,91	5,70
		30 - 60	24,52	12,54	11,46	10,90	8,38	7,11	6,15
A	21	0 - 15	27,40	21,36	17,44	12,11	9,49	7,33	4,51
		15 - 30	26,23	16,90	11,88	9,74	6,46	5,16	4,04
		30 - 60	24,02	17,56	12,68	9,31	6,23	5,13	4,18

Continuação do ANEXO II.

SOLO	AMOSTRA	PROFUNDIDADE (cm)	POTENCIAL MATRICIAL (ATM)						
			0,1	0,33	1,0	3,0	5,0	10,0	15,0
C	1	0 - 15	33,08	18,61	12,85	10,30	8,84	7,62	5,60
		15 - 30	34,67	23,34	17,78	14,12	11,66	9,31	7,18
		30 - 60	39,68	24,30	16,86	13,40	11,80	11,00	9,55
D	6	0 - 15	25,32	20,61	15,46	12,60	10,97	9,07	8,13
		15 - 30	21,44	18,98	15,98	13,60	11,43	9,91	8,11
		30 - 60	34,73	28,60	25,00	20,33	17,46	16,12	13,95
E	25	0 - 15	30,43	21,48	18,39	15,78	13,69	12,43	11,01
		15 - 30	39,74	36,19	32,60	25,84	21,12	20,60	19,47
		30 - 60	44,63	39,83	35,15	30,63	24,77	19,62	17,18