

DINÂMICA DA ÁGUA NA CULTURA DA ABÓBORA (*Cucurbita máxima*,
Duch.) CULTIVADA EM UM SOLO ALUVIÃO EUTRÓFICO NO
VALE DO CURU-CE

VITAL ARTUR DE LIMA E SÁ

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM AGRONOMIA COM ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E
DRENAGEM, COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - 1988

Esta Dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Agronomia com Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas de ética científica.

Vital Artur de Lima e Sá

DISSERTAÇÃO APROVADA EM:

15/07/88

Prof. Luis Carlos Uchoa Saunders
Orientador da Dissertação

Prof. Paulo Teodoro de Castro
Conselheiro

Prof. Moisés Custódio Saraiva Leão
Conselheiro

Aos meus pais

ARTUR e DONINHA

e aos meus irmãos

JOSÉ, PRICILA, ANTONIO, SANTINA, LARICE, ARTUR e
AUXILIADORA

MINHA GRATIDÃO

À minha esposa

LOURDINHA

e a meus filhos

MARCELO e JANAINÉ

D E D I C O .

AGRADECIMENTOS

À Deus, fonte inesgotável de energia sem a qual nada é possível.

À Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária-IPA, pela oportunidade de realizar este curso.

À Universidade Federal do Ceará, pela acolhida e ensinamentos ministrados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo fornecida durante o curso.

Ao professor Luís Carlos Uchoa Saunders pela orientação segura e preciosos conselhos.

Aos professores Moisés Custódio Saraiva Leão e Paulo Teodoro de Castro pela colaboração na confecção deste trabalho.

Ao professor Francisco Marcus Lima Bezerra, pelo apoio e sugestões.

Aos colegas do IPA, especialmente a Eduardo de Albuquerque Maranhão, pela força e incentivo para realização deste curso.

Aos colegas do curso, Augusto, Apolo, Edileu, Eunice, Josildo, Limeira, Martins e Plutarco, pelo convívio amigo.

À todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

S U M Á R I O

	<u>Página</u>
1 - <u>RESUMO</u>	1
2 - <u>INTRODUÇÃO</u>	3
3 - <u>REVISÃO DA LITERATURA</u>	5
3.1 - <u>Evapotranspiração</u>	5
3.2 - <u>Estimativa da Evapotranspiração Atual.</u>	7
3.3 - <u>Estimativa da Evapotranspiração Poten-</u> <u>cial de Referência</u>	11
3.4 - <u>Coeficiente de Cultura</u>	12
4 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	14
4.1 - <u>Caracterização da Área do Experimento.</u>	14
4.1.1 - <u>Localização Geográfica</u>	14
4.1.2 - <u>Características Climáticas</u> ...	14
4.1.3 - <u>Classificação do Solo</u>	17
4.2 - <u>Dados de Campo</u>	17
4.2.1 - <u>Condutividade Hidráulica</u>	17
4.2.1.1 - <u>Parcela Experimental</u>	17
4.2.1.2 - <u>Condutividade Hidrâu-</u> <u>lica Saturada</u>	19
4.2.1.3 - <u>Condutividade Hidrâu-</u> <u>lica Não Saturada</u> ..	19
4.2.1.4 - <u>Tensiômetros</u>	19
4.2.1.5 - <u>Metodologia</u>	20
4.2.3 - <u>Condução da Cultura da Abóbora</u>	21
4.3 - <u>Fundamentos do Método do Balanço Hídri-</u> <u>co</u>	22

	<u>Página</u>
4.4 - <u>Determinação das Componentes do Balanço Hídrico</u>	24
4.4.1 - Variação do Armazenamento da Água do Solo (ΔA , mm)	25
4.4.1.1 - Tensiômetros	25
4.4.1.2 - Curva Característica da Água do Solo	25
4.4.1.3 - Umidade do Solo (θ , cm^3/cm^3)	26
4.4.1.4 - Armazenamento (A, mm)	26
4.4.2 - Drenagem Profunda (Q_L , mm) ...	27
4.4.3 - Precipitação Pluvial (P, mm) ..	28
4.4.4 - Irrigação (I, mm)	28
4.4.5 - Deflúvio Superficial (R, mm) ..	29
4.5 - <u>Evapotranspiração Potencial de Referência do Tanque "Classe A" (ETO, mm)</u> ...	29
4.6 - <u>Estimativa da Evapotranspiração Atual (ETA, mm)</u>	31
4.7 - <u>Determinação do Coeficiente de Cultura (Kc)</u>	31
4.8 - <u>Determinação do Coeficiente de Irrigação (Ki)</u>	31
5 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	32
5.1 - <u>Parâmetros de Irrigação</u>	32
5.2 - <u>Condutividade Hidráulica</u>	35
5.3 - <u>Balanço Hídrico</u>	38
5.4 - <u>Coeficiente de Cultura</u>	53
5.5 - <u>Coeficiente de Irrigação</u>	57

	<u>Página</u>
6 - <u>CONCLUSÕES</u>	61
7 - <u>RECOMENDAÇÕES</u>	62
8 - <u>ABSTRACT</u>	63
9 - <u>LITERATURA CITADA</u>	64

LISTA DAS TABELAS

<u>Tabela</u>		<u>Página</u>
1	Dados Climáticos da Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu (Pentecoste), anos de 1966 a 1984	15
2	Dados Climáticos da Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu, durante o ciclo da Cultura da Abóbora	16
3	Características Físicas e Químicas do Perfil do Solo onde se realizou o Balanço Hídrico na Cultura da Abóbora	18
4	Elementos Básicos de Irrigação obtidos durante o Balanço Hídrico da Cultura da Abóbora, Potencial Matricial -0,3 atm. (Nível 01)	33
5	Elementos Básicos de Irrigação obtidos durante o Balanço Hídrico da Cultura da Abóbora, Potencial Matricial -0,5 atm. (Nível 02)	34
6	Condutividade Hidráulica em função dos valores médios de Armazenamento da água do solo, para diversos tempos e profundidade de 30cm	36
7	Condutividade Hidráulica em função dos valores médios de Armazenamento da água do solo, para diversos tempos, e profundidade de 70cm	37

<u>Tabela</u>	<u>Página</u>
8 Componentes do Balanço Hídrico da Cultura da Abóbora profundidade de (0 - 40) cm, Potencial Matricial -0,3atm. (Nível 01).	42
9 Componentes do Balanço Hídrico da Cultura da Abóbora profundidade de (0 - 80) cm, Potencial Matricial -0,3atm. (Nível 01).	43
10 Componentes do Balanço Hídrico da Cultura da Abóbora profundidade de (0 - 40) cm, Potencial Matricial -0,5atm. (Nível 02).	44
11 Componentes do Balanço Hídrico da Cultura da Abóbora, profundidade de (0 - 80) cm, Potencial Matricial -0,5atm. (Nível 02).	45
12 Coeficiente do Tanque "Classe A", da Cultura e de Irrigação, em função do Tanque, para a Cultura da Abóbora, nos 15 períodos considerados no Balanço Hídrico (Nível 01)	54
13 Coeficiente do Tanque "Classe A", da Cultura e de Irrigação, em função do Tanque, para a Cultura da Abóbora, nos 13 períodos considerados no Balanço Hídrico (Nível 02)	55
14 Valores de ETA(mm) e ETO(mm) acumulados, com o tempo acumulado, utilizados na Análise de Regressão Linear e valores de (Kc) obtidos pela equação (21)..	58

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Esquema de um Tensiômetro instalado no solo	30
2	Condutividade Hidráulica (Método de HILLEL, modificado por SAUNDERS, 1978) em função do conteúdo de água do solo, para a profundidade de 30cm	39
3	Condutividade Hidráulica (Método de HILLEL, modificado por SAUNDERS, 1978) em função do conteúdo de água do solo, para profundidade de 70cm	40
4	Necessidades Hídricas diárias da Cultura da Abóbora, durante o Balanço Hídrico, Nível 01 e 02	48
5	Variação das componentes do Balanço Hídrico da Cultura da Abóbora, Nível 01..	49
6	Variação das componentes do Balanço Hídrico da Cultura da Abóbora, Nível 02..	50
7	Curvas de regressão linear da Evapotranspiração Atual e Evapotranspiração Potencial (acumuladas), elaboradas em função do tempo acumulado t (dia) durante o Balanço Hídrico, Nível 01	51
8	Curvas de regressão linear da Evapotranspiração Atual e Evapotranspiração Potencial (acumuladas), elaboradas em função do tempo acumulado t (dia) durante o Balanço Hídrico, Nível 02	52

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
9	Variação dos valores de (Kc) durante os intervalos do Balanço, Nível 01 e 02 ..	56
10	Variação dos valores corrigidos de (Kc), durante o Balanço Hídrico da Cultura da Abóbora	59

O ciclo intensivo da lavoura irrigada será atingido quando os grupos humanos aprenderem, ao lado da aritmética e da escrita, também, as disciplinas do dever, do respeito aos direitos alheios, da ajuda mútua, do altruísmo, da responsabilidade, etc. ensinadas diariamente, como programa, na escola e no lar, para que a sociedade da irrigação seja laboriosa, harmônica e tolerante, capaz do sacrifício que requer o empreendimento, que é de todos e para todos.

(J. G. Duque)

1 - RESUMO

Este trabalho foi executado na Fazenda Experimental do Vale do Curu, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, município de Pentecoste.

Estudando-se a Dinâmica da água na cultura da abóbora (*Cucurbita maxima*, Duch), cultivada em solo Aluvião Eutrófico, no Vale do Rio Curu-Ce, determinou-se a evapotranspiração atual da cultura, através do balanço hídrico, obedecendo a metodologia sugerida por ROSE & STERN (1967).

Durante o balanço efetuou-se uma apreciação detalhada de todas as entradas e saídas e variação do armazenamento de água ocorridos no volume de controle de solo, de (0 - 40)cm e (0 - 80)cm de profundidade, em um intervalo de tempo de 73 dias.

A variação da umidade do solo ao longo do perfil foi acompanhada por tensiômetros instalados às profundidades de 10, 30, 50, 70 e 90cm, sendo as irrigações efetuadas obedecendo a dois níveis de potencial matricial, -0,3 e -0,5 atmosferas.

A evapotranspiração atual (ETA) média da cultura, durante o balanço hídrico foi de 4,7mm/dia e 5,4mm/dia para os níveis de potencial matricial de -0,3 e -0,5atm, respectivamente.

Pelo método do perfil instantâneo, determinou-se a condutividade hidráulica não saturada, aplicando o procedimento sugerido por HILLEL et alii (1972), modificado por SAUNDERS (1978).

Foram também determinados os coeficientes de cultura (K_c) e de irrigação (K_i), para o período considerado. O K_c médio obtido para o Nível 01 (-0,3atm) foi de 0,75 e para o Nível 02 (-0,5atm) 0,88. Enquanto o K_i médio foi de 0,57 e 0,66, respectivamente para os níveis 01 e 02.

2 - INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro apresenta áreas áridas e semi-áridas, onde a instabilidade climática é representada principalmente pela extrema irregularidade de distribuição de chuvas, concorrendo para que uma agricultura produtiva só possa se desenvolver às custas de irrigação.

Muito se tem comentado a respeito da irrigação como meta prioritária para tornar viável a agricultura Nordestina. Entretanto, a irrigação não é apenas uma simples aplicação de água à cultura. A idéia básica da irrigação é suprir água às plantas na quantidade necessária e no momento adequado, a fim de que seus processos fisiológicos sejam realizados sem prejuízos na produção e se obtenham produtos de boa qualidade.

Por outro lado, para se poder estimar a quantidade de água requerida para a irrigação, é preciso ter conhecimento do consumo de água pelas plantas (evapotranspiração) nos diversos períodos do seu ciclo vegetativo.

É preciso também, que se conheça a capacidade de armazenamento temporário da água no solo, para que a água adicionada a ele por irrigação, não venha a escorrer superficialmente provocando erosão, nem se constituir em drenagem profunda, conduzindo água e adubos além do alcance do sistema radicular.

No sistema de exploração do Nordeste brasileiro, raramente a abóbora constitui o principal cultivo. Como cultura secundária, aparece associada a outros produtos agrícolas, como milho, feijão, algodão arbóreo e a mandioca. Isso faz com que se tenham poucos conhecimentos dessa cultura com relação às suas reais necessidades hídricas.

FILGUEIRA (1981), relata que a abóbora é uma planta tipicamente de clima quente, sendo que sua faixa térmica mais favorável situa-se entre 18 e 24°C. É uma planta rústica adaptável a vários tipos de solos preferindo entretanto, aqueles argilo-arenosos, medianamente leves, bem drenados. A produtividade média por hectare cultivado é muito variável, sendo de 10 - 12 ton para frutos verdes e 12 - 16 ton para frutos maduros.

O presente trabalho tem como objetivo estudar a Dinâmica da água da Cultura da Abóbora, cultivada em um aluvião fluvial onde se pretende: (a) obter a Condutividade Hidráulica Saturada e não Saturada à diferentes profundidades; (b) Determinação da Evapotranspiração Atual da Abóbora submetida a diferentes estresses hídricos: -0,3 e -0,5atm.; (c) Coeficiente de Cultura e de Irrigação da Abóbora em função da Evapotranspiração Potencial de Referência do Tanque "Classe A".

3 - REVISÃO DA LITERATURA

3.1 - Evapotranspiração

O balanço da água das culturas irrigadas mostra que a maior porção da água na zona das raízes é perdida na forma de vapor para a atmosfera. Perdas de água ocorridas diretamente da superfície do solo são comumente chamadas "evaporação", enquanto que "transpiração" se refere às perdas de água das plantas. Quando ambos os processos ocorrem simultaneamente, dá-se o nome de "evapotranspiração".

DENMED & SHAW (1962), trabalhando com milho em recipiente e no campo sob diversos suprimentos de água e evaporação variável, observaram que para a taxa de transpiração potencial moderada (3 a 4mm/dia), a taxa de transpiração real caiu abaixo da potencial quando a média da sucção do solo na zona das raízes foi de 2atm. Quando as taxas de transpiração potencial foram altas, 6 a 7mm/dia, este declínio na taxa de transpiração relativa ocorreu em 0,3atm. Porém, quando a taxa de ETP era somente de 1,4mm/dia, a ETA se manteve constante até 12 atm. de sucção do solo.

HILLEL (1970), cita que a quantidade de água extraída pela planta depende de propriedades da planta (densidade do sistema radicular e sua profundidade, bem como da sua aptidão fisiológica de aumentar sua própria sucção o suficiente para extrair do solo em regime capaz de impedir sua murcha). Depende também, de propriedades do solo (condutividade hidráulica, difusibilidade, sucção e teor de água, como também, das condições micro-meteorológicas que determinam o regime de transpiração da planta).

PRUITT et alii (1972), asseguraram que as condições climáticas determinam largamente o uso da água ou evapotranspiração (ET) pela maioria das culturas, durante épocas em que as plantas estão saudáveis e cobrem inteiramente a superfície do solo. Contudo, mesmo sob estas condições, a evapotranspiração de várias culturas pode variar significativamente em função da resistência estomática, albedo e condições aerodinâmicas. Durante os estádios iniciais da cultura, a (ET) é muito baixa e o que controla o uso da água é a condição de umidade do solo. A taxa de evapotranspiração é muito influenciada pela frequência com que a superfície do solo recebe água de chuva ou irrigação, em conjunto com as condições meteorológicas.

Com o intuito de padronizar a evapotranspiração de comunidades vegetais, foram fixadas condições nas quais sua medida deve ser feita. HARGREAVES (1972), define evapotranspiração potencial, ETP, como o total de água transpirada por uma cobertura vegetal homogeneamente completa, curta (usualmente, num gramado), em crescimento ativo, sempre verde e com suprimento hídrico adequado e contínuo. Considera-se que depende só do clima e pode ser estimada a partir de parâmetros climáticos. Por outro lado, definiu evapotranspiração atual, ETA, ou real, ETR, como sendo o uso real de água pelas plantas cultivadas incluindo a evaporação direta do solo úmido e da vegetação. Depende do clima, da cultura e suprimento hídrico do solo.

FERRAZ (1972), calculando a evapotranspiração real em um solo vegetado, através de uma sonda de neutrons para a medida da água no solo, concluiu que o método empregado é conveniente para a determinação da evapotranspiração real in situ, pois mesmo levando-se em conta as dificuldades de se calcular corretamente os fluxos verticais, os resultados são satisfatórios.

BRUNINI et alii (1981), através da técnica de moderação de neutrons para determinação da umidade do so-

lo, fizeram estudos dos termos do balanço hídrico no campo na cultura do arroz. Observaram que a evapotranspiração real diminui com o decréscimo da água disponível no solo e com o aumento da evapotranspiração potencial. Sob condições de demanda evaporativa baixa (ETO 3 mm/dia), a evapotranspiração real é igual a potencial até 50% da água disponível no solo. Quando porém, ETO é superior a 5mm/dia a ETR torna-se inferior à ETO a partir de 90% do total da água disponível.

A medida que a umidade do solo decresce, haverá um ponto em que a (ETA) passa a ser menor que a (ETO). Várias teorias foram estabelecidas para relacionar a disponibilidade de água no solo e a razão ETA/ETO, entretanto, segundo REICHARDT (1985), a descrição exata da absorção de água pelas plantas por meio de uma teoria bem fundamentada é muito difícil, se não impossível, devido a complicações inerentes das relações espaço-tempo envolvidas no processo.

BRUNINI (1987), informa que para um manejo adequado da água na agricultura, certos aspectos do solo, planta e clima e das interações múltiplas destes, devem ser abordados e avaliados, tais como: (a) Caracterizar o efeito do déficit hídrico no solo sobre o comportamento estomático e potencial da água na planta; (b) Determinar a magnitude das resistências ao fluxo líquido da água desde o solo até as folhas; (c) Observar como o consumo hídrico varia entre os diferentes genótipos e também em função das variáveis meteorológicas; (d) Aprimorar os estudos das relações ER/EP que permitem estimar o consumo de água desta cultura, com base na disponibilidade hídrica do solo.

3.2 - Estimativa da Evapotranspiração Atual

Medidas de evaporação e 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 as vezes na única alternativa disponível. Segundo BERLATO & MOLION (1981), os métodos "clássicos" para estimativa da evaporação e evapotranspiração, são representados pelas seguintes classes: (a) Método do balanço hídrico; (b) Método do balanço hídrico combinado com o balanço de energia; (c) Métodos micro-meteorológicos e (d) Métodos empíricos.

O método do balanço hídrico divide-se em dois principais: (a) O que utiliza lisímetros para a estimativa dos processos envolvidos no balanço; e (b) Método em que a estimativa é feita diretamente num volume de controle de solo.

O método dos lisímetros é o mais preciso, para a determinação direta da evapotranspiração, desde que sejam instalados corretamente BERNARDO (1984).

Diversos autores como ROSE & STERN (1967), REICHARDT et alii (1979), CASTRO (1979) e SAUNDERS et alii (1985), apresentam o balanço hídrico em um volume de controle de solo, como de fundamental importância para o estudo do ciclo da água no sistema solo-planta-atmosfera. Os componentes da equação geral do balanço de massa que define este método são: precipitação, irrigação, defluvio superficial, percolação profunda, evapotranspiração e variação do armazenamento da água do solo.

ERIE et alii (1965), citado por SILVA (1978) in forma que o método do balanço hídrico para determinar a evapotranspiração é útil em condições de baixa precipitação e onde haja possibilidade de um bom controle de água de irrigação e não haja efeito do lençol freático.

BLACK et alii (1970), determinaram a drenagem profunda da zona da raiz do feijão, com medições em lisímetros e calculados pela Lei de Darcy e pela equação do

balanço hidrológico. Ao final de sessenta dias, o cálculo pela Lei de Darcy deu uma estimativa de drenagem acumulada 11% mais alta que os outros dois métodos.

Segundo REICHARDT et alii (1979), na elaboração dos balanços hídricos, a maior dificuldade encontra-se na estimativa da drenagem profunda, Q_L , obtida a partir da integrassão de fluxos q_L , calculados a partir da equação de Darcy. As dificuldades na aplicação da equação de Darcy ocorrem devido a erros cometidos na estimativa do gradiente de potencial $\partial\psi/\psi Z$ e, principalmente na escolha do valor da condutividade hidráulica.

BAKER et alii (1974), citados por EL-HUSNY (1979) apresentaram limitações para a determinação em campo da condutividade hidráulica não saturada. Afirmaram que tais limitações se devem às características do próprio perfil do solo e aos problemas técnicos. Sugerem a utilização de sonda de neutrons como melhor método para determinação do conteúdo de água do solo. Recomendam a aplicação do método do perfil instantâneo para o cálculo da condutividade hidráulica não saturada, somente para solos em nível e sem camada de impedimento ao longo do perfil.

CASTRO (1979), em trabalho realizado em solo do grande grupo Terra Roxa Estruturada, observou que a umidade do solo nas camadas superiores sofre bastante flutuações e a medida que se aprofunda no perfil há uma melhor uniformidade na sua distribuição. Nos primeiros 15cm de profundidade, devido aos baixos valores de umidade atingidos pelo solo, as leituras dos tensiômetros se tornam pouco confiáveis. Aconselhando nestas circunstâncias, a medida direta da umidade do solo por gravimetria, ao invés o uso de tensiômetros.

CADIMA et alii (1981), estudando a variabilidade espacial da condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho Amarelo, no campo, concluíram que a condutividade hidráulica apresenta grande variabilidade entre pontos notadamente nas camadas superiores do solo. Entretanto,

os resultados obtidos para profundidades superiores a 75cm podem ser utilizados com relativa segurança na estimativa de fluxos de água no solo, para efeitos de cálculo do balanço hídrico.

SAUNDERS et alii (1981), estudando a dinâmica da água no solo com a cultura do feijão-de-corda em aluvião eutrófico, dividiram o ciclo da cultura, de 87 dias, em sete períodos, nos quais se estudou detalhadamente todos os componentes do balanço. Utilizando um nível de umidade bastante elevado -240cm H₂O, observaram que a percolação profunda evidenciou-se em todo ciclo da cultura, exceto para o último intervalo de tempo em que se verificou ascensão capilar, relativamente pequena. Desse modo, comprovaram que a percolação profunda não pode ser negligenciada no cálculo da evapotranspiração real em solos de clima tropical, uma vez que, considerando a soma da evapotranspiração e percolação profunda como 100%, em determinados períodos esta alcançou 30%.

ARAGÃO JUNIOR (1982), comenta que quando se aplica a lei de conservação das massas em estudo de balanço hídrico num volume de controle de solo, em condições de campo, deve-se levar em consideração todos os componentes integrantes do processo, para que assim, não se cometam erros no cálculo da evapotranspiração.

Segundo CHOUDRURY & MILLAR (1983), normalmente, considera-se que a capacidade de armazenamento de água no solo é uma característica estável; a partir daí, tem-se definido os limites de aproveitamento de água pela planta. Em balanço hídrico a componente de drenagem é geralmente desprezada, de maneira que não haveria movimento de água quando o conteúdo de água no solo fosse inferior à capacidade de campo. O erro provém de considerar o solo como estático na sua condição de capacidade de campo, quando na realidade, a água continua a movimentar-se a taxas mais baixas, não podendo ser desprezada sem uma comprovação experimental.

SAUNDERS et alii (1985), utilizando a equação do balanço de massas (lei da conservação da energia), na estimativa da evapotranspiração da cultura do feijão, observaram que a percolação profunda nos primeiros períodos contribuiu com mais de 50% para a depleção do solo, o que mostra mais uma vez a importância deste parâmetro em trabalhos dessa natureza.

MARCA (1985) cita que o método do balanço hídrico em um volume de controle de solo, é um recurso bastante seguro e aplicável na determinação da evapotranspiração das culturas desde que se tenha um conhecimento prévio detalhado das características físico-hídricas do perfil do solo.

SANTOS (1986), sugere que para a determinação da evapotranspiração pelo método do balanço hídrico, em solos com baixa capacidade de infiltração e usando-se sulcos fechados no final, seja considerada a contribuição da evaporação da água diretamente da superfície da área, para não superestimar a evapotranspiração.

3.3 - Estimativa da Evapotranspiração Potencial de Referência

DOOREMBOS & KASSAM (1979), citados por VILLA NOVA (1987), relatam que existem cerca de 32 métodos para estimativa do valor da evapotranspiração de referência (ETO). Entretanto, para as condições do território brasileiro, recomendam o de Penman (1956); Thornthwaite (1955) e o Tanque "Classe A". Ressalvam ainda que o Tanque "Classe A" bem manipulado dá resultados bons da estimativa da ETO, pois, sendo um evaporímetro, constitui-se de um bom integrador de ação do clima.

AGUIAR et alii (1975), fazendo a estimativa da evapotranspiração do feijão comum, *Phaseolus vulgaris*, L.,

utilizando tanques de evaporação e fórmulas empíricas, concluíram que o Tanque "Classe A" superestimou a evapotranspiração potencial estimada pelos métodos de Penman, Van Bavel, Thornthwaite e Hargreaves e a evaporação do tanque GGI-3.000 nos tratamentos irrigados, no entanto, foi semelhante a evaporação do GGI-300 nos tratamentos não irrigados.

CASTRO (1979), em trabalho realizado com a cultura do milho, correlacionou os resultados obtidos pelo método do balanço hídrico com os obtidos pelo método de Penman e utilização do tanque "Classe A". Concluiu que os valores acumulados de evapotranspiração real e evapotranspiração estimada pelo método de Penman, e evapotranspiração estimada em função da evaporação do tanque "Classe A" (E, Epen, ETP, respectivamente) se relacionam por:

$$ETP = - 3,900 + 1,320E, r = 0,998$$

$$Epen = - 1,000 + 1,053E, r = 0,999$$

evidenciando que a ETR pode ser estimada a partir da evapotranspiração de Penman ou evaporação do tanque "Classe A".

3.4 - Coefficiente de Cultura

O coeficiente de cultura (Kc) é empregado para a obtenção das necessidades reais de água pelas culturas, em suas diferentes fases de vida, quando multiplicado pela evapotranspiração potencial (ET0), obtida por qualquer método de medida ou estimativa.

SILVA et alii (1981), afirmam que em trabalhos sobre evapotranspiração realizados no Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CPATSA/EMBRAPA), MILLAR et alii (1978) e SILVA & MILLAR (1978), concluíram que os coeficientes de cultivo obtidos por HARGREAVES (1976) e

DOORENBOS & PRUITT (1975) não podem ser utilizados diretamente no manejo da irrigação quando se usa a evaporação do tanque USWB, para definição das necessidades de água das culturas, sendo necessário corrigir estes coeficientes através de um "coeficiente de ajuste".

MAGALHÃES (1982) determinou o coeficiente de cultura para o pimentão, pelo método do balanço hídrico, nos últimos sessenta dias, do ciclo da cultura. O coeficiente de cultura obtido foi 0,83. ARAGÃO JUNIOR (1982), com procedimento semelhante, obteve para a cultura da cenoura, coeficientes de cultivos médios, com valores correspondentes a 0,77; 0,99 e 0,86 em três estádios distintos da cultura. SANTOS (1985), utilizando-se da mesma metodologia, obteve um valor médio para o coeficiente de cultura do melão de 0,82.

Segundo VILLA NOVA (1987), algumas estimativas do valor de K_c vêm sendo realizadas por pesquisadores brasileiros, visando confrontar os dados obtidos para nossas condições climáticas, com aqueles recomendados pela nota técnica 33 da FAO. Contudo, ele tem observado que os valores de K_c determinados experimentalmente, normalmente superam aqueles recomendados pela FAO, demonstrando que muita pesquisa tem que ser realizada neste campo.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - Caracterização da área do experimento

4.1.1 - Localização geográfica

O experimento foi conduzido na área irrigável da Fazenda Experimental do Vale do Curu, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Município de Pentecoste. A propriedade se encontra geograficamente localizada entre os paralelos $3^{\circ}45'$ e $4^{\circ}00'$ de latitude Sul e os meridianos $39^{\circ}15'$ e $39^{\circ}30'$ a Oeste de Greenwich, com altitude de 47m em relação ao nível do mar.

4.1.2 - Características climáticas

O clima da região, segundo PARENTE (1984) de acordo com a classificação de Koeppen é do tipo B Sx'h'i, ou seja, clima semi-árido, com evaporação maior que a precipitação, apresentando chuvas irregulares, temperatura de todos os meses superiores a 18°C e amplitude térmica anual inferior a 5°C . Dados de 1966 a 1984 (TABELA 01) fornecidos pela Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu, justificam esta classificação.

Durante o período de condução do experimento, Agosto a Novembro de 1987, as condições climáticas locais, apresentaram conforme ilustra a (TABELA 02), umidade relativa média mensal de 65,25%, velocidade do vento de 4,38m/s, temperatura do ar média mensal máxima de $35,40^{\circ}\text{C}$

TABELA 01 - Dados Climáticos da Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu (Pentecoste-CE) - anos de 1966 - 1984.

MESES	TEMPERATURA DO AR					UMIDADE RELATIVA %	VENTO		RADIÇÃO SOLAR cal/cm ²	INSOLAÇÃO (horas)	EVAPO RAÇÃO (mm)	PRECIPI TAÇÃO (mm)	NEBULO SIDADE n/10
	MÉDIA COMPEN SADA °C	MÉDIA MÁXIMA °C	MÉDIA MÍNIMA °C	MÁXIMA ABSOLUTA °C	MÍNIMA ABSOLUTA °C		DIRE ÇÃO	VELOCI DADE MÉDIA m/s					
	Janeiro	27,8	33,8	23,0	36,8		20,2	71,3					
Fevereiro	27,1	32,6	22,7	37,0	19,8	77,7	NE	4,0	11.822	166,1	93,5	115,9	5,4
Março	26,2	31,1	22,5	36,6	20,4	84,6	NNE	2,7	12.266	144,7	60,2	183,4	6,3
Abril	26,2	31,1	22,4	36,0	20,2	84,8	N	2,7	11.883	161,0	58,3	164,8	5,4
Mai	26,2	31,2	21,9	36,1	19,4	83,1	N	2,6	12.442	191,0	70,2	123,2	4,8
Junho	26,1	31,3	21,2	35,6	18,3	77,9	ESE	3,0	11.865	207,5	93,9	48,0	3,7
Julho	26,3	32,2	21,1	36,4	16,5	72,2	ESE	3,6	12.832	231,0	127,2	31,3	3,3
Agosto	27,1	33,9	21,6	37,0	17,3	65,6	ESE	4,4	14.271	265,6	163,1	5,3	2,5
Setembro	27,6	34,6	22,2	37,4	19,4	64,9	ESE	5,4	14.611	257,5	166,6	8,3	2,5
Outubro	27,8	34,8	22,5	37,6	19,0	66,2	NE	5,4	14.642	261,2	172,1	5,0	2,8
Novembro	28,0	34,7	22,3	37,5	18,3	65,8	NE	5,3	14.312	258,1	157,4	4,9	3,2
Dezembro	28,0	34,3	22,3	37,2	19,5	67,6	NE	4,9	14.168	243,8	152,6	17,9	3,5
MÉDIA	27,0	32,9	22,1	-	-	73,4	NE	4,0	-	-	-	-	4,0
TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.593,1	1.449,8	763,8	-

TABELA 02 - Dados Climáticos da Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu (Pentecoste-CE), durante o ciclo da cultura da abóbora.

MESES	TEMPERATURA DO AR					UMIDADE RELATIVA %	VENTO		INSOLA ÇÃO horas	EVAPORA ÇÃO (Piche) (mm)	EVAPORA- ÇÃO T. CLASSE A (mm)	PRECI PITA- ÇÃO (mm)	PRESSÃO DO VAPOR (mm)	NEBULO SIDA DE n/10
	MÉDIA COMPEN SADA °C	MÉDIA MÁXIMA °C	MÉDIA MÍNIMA °C	MÁXIMA ABSOLUTA °C	MÍNIMA ABSOLUTA °C		DIRE ÇÃO	VELOCI DADE MÉDIA m/s						
	Agosto	27,30	35,00	21,20	36,30		19,50	63,00						
Setembro	27,50	35,20	22,40	36,20	20,70	64,00	N	4,40	267,30	168,20	271,22	3,80	17,40	3,00
Outubro	27,80	35,60	22,60	36,60	21,00	65,00	N	4,80	304,40	179,90	296,53	0,40	18,00	3,00
Novembro	28,20	35,80	22,90	36,60	21,20	69,00	N	4,80	293,90	177,60	277,60	0,00	19,60	3,00
TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	-	1.146,20	679,20	1.110,44	4,20	-	-
MÉDIA	27,70	35,40	22,28	-	-	65,25	-	4,38	-	169,80	277,61	-	17,80	3,00

e mínima de 22,28°C. A demanda evaporativa média mensal fornecida pelo evaporímetro de Piche foi de 169,80mm e no tanque "Classe A" 277,61mm/mês. Em todo período ocorreram apenas duas precipitações pluviométricas, totalizando 4,2 mm.

4.1.3 - Classificação do Solo

O solo é um aluvião eutrófico de textura indiscriminada conforme os dados do Levantamento Exploratório "Reconhecimento de solo do Estado do Ceará" e como torrifluvents segundo os critérios de Soil Taxonomy citado por SAUNDERS et alii (1981). As características físicas e químicas desse solo são mostradas na (TABELA 03), fornecida pelo Laboratório de Solos da Universidade Federal do Ceará.

4.2 - Dados de campo

4.2.1 - Condutividade Hidráulica

4.2.1.1 - Parcela experimental

O experimento foi instalado numa área sistematizada com declividade nula, com dimensões de 8m x 8m, considerada suficientemente grande, capaz de impedir que os processos em seu centro não sejam influenciados pelos seus limites, HILLEL et alii (1972).

TABELA 03 - Características físicas e químicas do Perfil do solo onde se realizou o Balanço Hídrico na Cultura da Abóbora (1987).

AMOSTRA Nº	HORIZONTE OU CAMADA		COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA %				CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
	SÍMBOLO	PROFUNDIDADE (cm)	AREIA GROSSA 2-02	AREIA FINA 02-0,05	SILTE 0,05-0,002	ARGILA < 0,002	
87.532	AT2	0- 20	8	55	23	14	Franco Arenoso
533	AT2	20- 40	6	56	24	14	Franco Arenoso
534	AT2	40- 60	10	56	21	13	Franco Arenoso
535	AT2	60- 80	9	60	19	12	Franco Arenoso
536	AT2	80-100	4	46	33	17	Franco

UMIDADE %		ÁGUA UTIL %	pH H ₂ O	CE a 25°C EXT. SAT. mmhos/cm	CARBO NO %	MATÉRIA ORGÂNICA	P ASSIMILÁVEL mg/100g
113 Atm	15 Atm						
12,00	5,50	6,50	7,00	1,40	0,79	1,36	3,20
11,00	5,10	5,90	7,00	1,14	0,55	0,95	2,50
9,10	4,20	4,90	7,10	0,75	0,19	0,33	1,90
7,30	4,10	3,20	7,00	0,74	0,19	0,33	2,10
10,90	6,20	4,70	7,10	1,16	0,19	0,13	1,70

COMPLEXO SORTIVO ME/100 g DE SOLO								100 S/T V %
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	T	
7,50	0,80	0,38	0,34	9,00	0,00	0,00	9,00	100
7,00	0,90	0,30	0,37	8,60	0,00	0,00	8,60	100
6,30	0,70	0,15	0,18	7,30	0,00	0,00	7,30	100
6,20	0,50	0,15	0,36	7,20	0,00	0,00	7,20	100
8,40	1,20	0,17	0,34	10,10	0,00	0,00	10,10	100

Dados de análises realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Ceará.

4.2.1.2 - Condutividade hidráulica saturada

A parcela experimental foi preparada com bordos levantados o suficiente para suportar uma lâmina de água capaz de promover o equilíbrio dinâmico. A área foi saturada até se observar pela leitura constante em todos os tensiômetros, a condição de escoamento permanente em todo o perfil do solo estudado. Instalou-se na área três cilindros metálicos de 20cm de diâmetro e 40cm de altura, quando a lâmina de água era de aproximadamente 20cm. Em seguida, através de medições sucessivas da altura da lâmina de água infiltrada em determinado intervalo de tempo, obteve-se a condutividade hidráulica saturada.

4.2.1.3 - Condutividade hidráulica não saturada

Attingido o equilíbrio dinâmico, toda parcela foi coberta com lona plástica preta a fim de prevenir fluxo de água da superfície, evaporação ou infiltração. O processo de drenagem interna do perfil foi verificado por medidas periódicas do potencial matricial, através das leituras nos tensiômetros e da respectiva umidade do solo obtida em curvas características, em um tempo de medição correspondente a 30 dias.

4.2.1.4 - Tensiômetros

Instalaram-se quatro baterias de tensiômetros com manômetro de mercúrio, cada uma com cinco unidades, distanciados um do outro de 15cm na bateria, e equidistan

tes do centro da área experimental. O perfil de abrangência dos tensiômetros foi de 90cm de profundidade, distribuídos em intervalos de 20cm entre si. Os suportes de madeira com os respectivos manômetros foram instalados fora da parcela experimental.

4.2.1.5 - Metodologia

O método usado para o cálculo do fluxo de água no solo foi o descrito por HILLEL et alii (1972) e modificado por SAUNDERS (1978), cujo cálculo é feito por intermédio de um processo analítico.

Partindo do princípio que os pontos determinados pelo armazenamento da água no solo (W) versus logaritmo do tempo (lnt) em um sistema de eixos ortogonais, se distribuem obedecendo uma linearidade, pode-se desenvolver a seguinte equação:

$$W = a - b \ln t \dots\dots\dots (01)$$

onde:

W = armazenamento da água no solo $[L \cdot L^{-1}]$.

a = coeficiente linear

b = coeficiente angular

t = tempo $[T]$.

Derivando-se a equação (01) em relação ao tempo, tem-se:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{da}{dt} - \frac{d(b \cdot \ln t)}{dt}$$

$$\frac{dw}{dt} = 0 - b \cdot d(\ln t) + \ln t \cdot db$$

$$\frac{dw}{dt} = - b \cdot \frac{1}{t} + 0$$

$$\frac{dw}{dt} = - \frac{b}{t} = q \dots\dots\dots (02)$$

Desse modo, a condutividade hidráulica não saturada é obtida a partir da densidade de fluxo (q), calculada analiticamente pela expressão (02) e do gradiente de potencial total $\frac{\Delta\Psi}{\Delta Z}$, conforme a equação de Darcy:

$$q = - K(\theta) \frac{\Delta\Psi}{\Delta Z} \dots\dots\dots (03)$$

onde:

q = densidade de fluxo $|L^3 \cdot L^{-2}T^{-1}|$

K(θ) = condutividade hidráulica do solo $|LT^{-1}|$ a qual é função do seu conteúdo de água $|L^3L^{-3}|$.

Ψ = Potencial total da água do solo $|L|$ o qual representa para um fluxo vertical, a soma dos potenciais matricial (ξ) e gravitacional (Z).

Z = Coordenada vertical da posição $|L|$.

4.2.3 - Condução da Cultura da Abóbora

O experimento foi conduzido em uma área de 180m² arada e gradeada, passando por uma ré-sistematização leve para facilitar a abertura dos sulcos em nível, no mesmo solo onde se determinou a condutividade hidráulica. O espaçamento adotado foi de 2,5m entre fileiras de plantas e 2,0m entre covas na fileira, estabelecendo-se duas plantas por cova após o desbaste. As covas abertas ao lado dos sulcos receberam adubação orgânica (3,0 l de esterco de curral curtido) e adubação mineral na proporção de 10g de uréia, 18g de superfosfato triplo e 20g de cloreto de potássio, em fundação, uma semana antes do plantio, que foi efetuado manualmente no dia 20/08/87.

A cultivar escolhida foi a Caboclo, que tem grande aceitação pelos agricultores e mercado local.

Durante o ciclo da cultura foram efetuadas três adubações em cobertura, com uréia na base de 5g por cova nas seguintes datas: (a) 02/09/87 por ocasião do desbaste; (b) 17/09/87 quinze dias após a primeira aplicação; (c) 07/10/87 no início da formação dos primeiros frutos.

Os tratos fitossanitários foram efetuados semanalmente, combinando-se um fungicida com um inseticida ou acaricida, segundo as necessidades.

Capinas periódicas mantiveram a cultura livre da concorrência de ervas daninhas.

4.3 - Fundamentos do método do balanço hídrico

O balanço hídrico num elemento de volume de solo de profundidade Z , de 0 a L , durante um intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$ tem sua equação fundamentada na lei da conservação das massas que proporciona como solução para o balanço hídrico, a seguinte expressão:

$$\int_{t_1}^{t_2} (p + i \pm e \pm q_L \pm r) dt = \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dt dz \quad (04)$$

O primeiro membro da equação (04) representa o somatório das entradas e saídas da água de um elemento de solo de secção unitária e altura L , enquanto o segundo mostra a variação da água armazenada no solo para o mesmo elemento, no intervalo de tempo $t_2 - t_1$, considerado para o balanço, p , i , e , q_L e r , constituem os fluxos de precipitação, irrigação, evapotranspiração percolação ou ascensão capilar e escoamento superficial respectivamente, medidos em cm.d^{-1} .

Integrando-se individualmente os membros da equação (04) tem-se:

$$\int_{t_1}^{t_2} p \, dt = P \dots\dots\dots (05)$$

Representa a quantidade de água que chega à superfície do volume de solo ($Z = 0$) sob a forma de precipitação (P).

O segundo termo, expressa a quantidade de água oriunda da irrigação (I) que chega a superfície do solo ($Z = 0$).

$$\int_{t_1}^{t_2} i \, dt = I \dots\dots\dots (06)$$

O terceiro termo representa a quantidade de água por unidade de área que sai do volume de controle em ($Z = 0$) em consequência da transferência de água na forma de vapor, do sistema solo-planta para a atmosfera, sendo denominada evapotranspiração (ET).

$$\pm \int_{t_1}^{t_2} e \, dt = \pm ET \dots\dots\dots (07)$$

O quarto termo diz respeito a quantidade de água (Q_L) que passa através do limite inferior do volume de solo ($Z = L$), denominando-se drenagem profunda se negativo ou ascensão capilar se positivo.

$$\pm \int_{t_1}^{t_2} q_L \, dt = \pm Q_L \dots\dots\dots (08)$$

O quinto e último termo do primeiro membro,

$$\pm \int_{t_1}^{t_2} r \, dt = \pm R \dots\dots\dots (09)$$

Constitue a porção da quantidade de água que chega a superfície do solo, $Z = 0$, quer por precipitação pluvial ou irrigação, que não se infiltrando totalmente no solo, o excesso escorre por sua superfície, sendo denominada escoamento ou deflúvio superficial (R). Vários fatores afetam o processo de escoamento superficial, sendo os principais a declividade do terreno e as características de infiltração do solo solo.

O segundo membro da equação (04)

$$\pm \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dt \, dz = \pm \Delta A \dots\dots (10)$$

estabelece que o somatório das variações do conteúdo de água do solo (θ) em um intervalo de tempo ($t_2 - t_1$), integrados ao longo da profundidade 0 a L, é igual a variação da quantidade de água armazenada no solo (ΔA) no mesmo intervalo de tempo. Este componente do balanço hídrico pode ser positivo ou negativo, conforme a magnitude dos outros termos da equação (04).

Assim sendo, a integração da equação (04) permite a obtenção da equação simplificada, mais usual, para o cálculo do balanço, num determinado intervalo de tempo:

$$P + I \pm ET \pm Q_L \pm R = \pm \Delta A \dots\dots\dots (11)$$

4.4 - Determinação das componentes do balanço hídrico

No presente trabalho considerou-se um volume de solo de profundidade $L = 90\text{cm}$, onde foram efetuadas as de

terminações dos componentes do balanço hídrico.

4.4.1 - Variação do armazenamento da água do solo (ΔA , mm)

Este componente foi estimado a partir de perfis consecutivos de umidade do solo θ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) obtidos indiretamente mediante leitura de tensiômetros e da curva característica do solo.

4.4.1.1 - Tensiômetros

Foram instaladas entre plantas na fileira, em sulcos distintos, duas baterias de tensiômetros com mercúrio para cada nível de potencial matricial proposto, as profundidades de 10, 30, 50, 70 e 90 cm. O potencial matricial (Ψ_m) foi calculado mediante o uso da fórmula

$$\Psi_m = - 12,6 h_z + hc + z \dots\dots\dots (12)$$

Onde:

h_z = leitura da coluna de mercúrio (cm de Hg) ou do manômetro acoplado ao tensiômetro.

hc = altura do nível de mercúrio na cuba, em relação à superfície do solo (cm).

z = profundidade de instalação do tensiômetro (cm).

4.4.1.2 - Curva característica da água do solo

As curvas características para cada profundidade de instalação dos tensiômetros foram fornecidas pelo programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste - PDCT/CE-01, determinadas a partir de amostras

de solo obtidas em trincheira próxima à área experimental. O procedimento empregado foi o mesmo desenvolvido por COELHO & OLIVEIRA (1984) para faixa de potenciais matriciais de 0 a -0,8 atm, utilizando-se amostras indeformadas e, panela e placa de pressão para potenciais matriciais entre -0,8 e -15 atm. A umidade θ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), correspondente a cada potencial matricial foi calculada de acordo com a equação:

$$\theta = U_p \cdot d \dots\dots\dots (13)$$

onde:

θ = Conteúdo de água ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$).

U_p = Conteúdo de água na base de peso seco ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$).

d = Densidade do solo.

4.4.1.3 - Umidade do solo

Obtidos os valores de potencial matricial (Ψ_m) através das leituras dos tensiômetros e das curvas características do solo ($\Psi_m \times \theta$), para cada profundidade, foram encontrados os valores correspondentes ao conteúdo de água θ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$).

4.4.1.4 - Armazenamento (A, mm)

Para se determinar o armazenamento em uma camada de solo, foi utilizada a expressão:

$$A = \int_0^L \theta \, dz \approx \bar{\theta} \cdot L \dots\dots\dots (14)$$

onde:

$\bar{\theta}$ = é o valor médio da umidade no intervalo (0 a L) cm.

L = profundidade do perfil (cm).

A variação do armazenamento num intervalo $\Delta t = t_2 - t_1$, foi obtida pela fórmula:

$$\Delta A = (\bar{\theta}_2 - \bar{\theta}_1) \cdot L \dots\dots\dots (15)$$

sendo:

ΔA = variação de armazenamento (mm)

$\bar{\theta}_2$ = conteúdo de água médio do perfil ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), no instante t_2 .

$\bar{\theta}_1$ = conteúdo de água médio do perfil ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), no instante t_1 .

L = profundidade do perfil (mm).

4.4.2 - Drenagem profunda (Q_L , mm)

A equação mais comumente utilizada para quantificar o movimento da água no solo é a equação de Darcy:

$$Q_L = - K(\theta) \frac{\Delta \Psi}{\Delta Z}$$

A determinação do gradiente de potencial total da água do solo foi obtida seguindo aproximação de diferenças finitas:

$$\frac{d\Psi}{dZ} = \frac{\Delta \Psi}{\Delta Z} = \left(\frac{\Psi_n - \Psi_{n+L}}{L} \right)$$

sendo:

$\Delta \Psi$ = diferença de potencial total da água no solo às profundidades (n), consecutivas.

L = distância entre os tensiômetros.

Ψ_n = potencial total da água no solo à profundidade (n).

Ψ_{n+L} = potencial total da água no solo à profundidade de $(n+L)$.

4.4.3 - Precipitação pluvial (P, mm)

Como se trata de um experimento com níveis de potenciais matriciais distintos, é essencial o controle de umidade do solo. Para tanto, foi escolhida, de acordo com dados climáticos da Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu (TABELA 01), a época com menor probabilidade de ocorrência de precipitação pluviométrica. Durante o período em estudo ocorreram apenas duas precipitações de 3,8mm e 0,4mm.

4.4.4 - Irrigação (I, mm)

O método tradicional de irrigação por sulcos foi esquematizado na base de um sulco por linha de plantas, em nível, fechado no final, apresentando comprimento de 12m, profundidade e largura de 0,30m e 0,50, respectivamente. Ao lado do canal secundário, de alvenaria, que conduz água proveniente do açude General Sampaio, instalou-se um conjunto moto-bomba, a fim de conduzir a água até os sulcos. A distribuição da água nos sulcos foi controlada por um hidrômetro instalado na tubulação de recalque que permitiu o controle individual da irrigação em cada tratamento, o total de água aplicado e o tempo de irrigação.

A cultura foi submetida a dois estresse hídrico no solo. Um consistia em irrigar sempre que o teor de umidade do solo atingisse um valor correspondente ao potencial matricial de -0,3 atm (Nível 01), o que correspondia a um conteúdo de água de $0,215 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, na curva característica de 0 - 20cm e aproximadamente 65% da água disponível remanescente. No (Nível 02), a irrigação se proces-

sava ao ser atingido o potencial matricial de $-0,5 \text{ atm}$, correspondente a um conteúdo de água de $0,167 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, na curva característica de 0 - 20cm e em torno de 45% da água disponível ainda existente.

As irrigações foram controladas com o uso de tensiômetros com manômetros de mercúrio (FIGURA 01). Um tensiômetro instalado a 0,10m indicava quando irrigar e, juntamente com outro instalado a 0,30m e a curva caracteristica, possibilitavam o cálculo da lâmina de água a ser aplicada.

Para garantir o estande, as primeiras irrigações foram efetuadas indistintamente nos dois níveis, utilizando-se o medidor de umidade SPEEDY no cálculo da umidade - atual. Somente a partir do dia 11/09/87 se verificou a diferenciação dos níveis de irrigação.

4.4.5 - Deflúvio Superficial (R, mm)

Vários fatores afetam o processo de escoamento superficial, sendo os principais a declividade do terreno e as características de infiltração do solo. Como neste trabalho a declividade do terreno foi considerada nula e os sulcos fechados no final, este parâmetro foi negligenciado.

4.5 - Evapotranspiração Potencial de Referência do Tanque "Classe A"

Um tanque "Classe A" instalado próximo a área experimental, fornecia indicativos diários da ETO, através da expressão:

$$ETO = K_T \times ECA \dots\dots\dots (16)$$

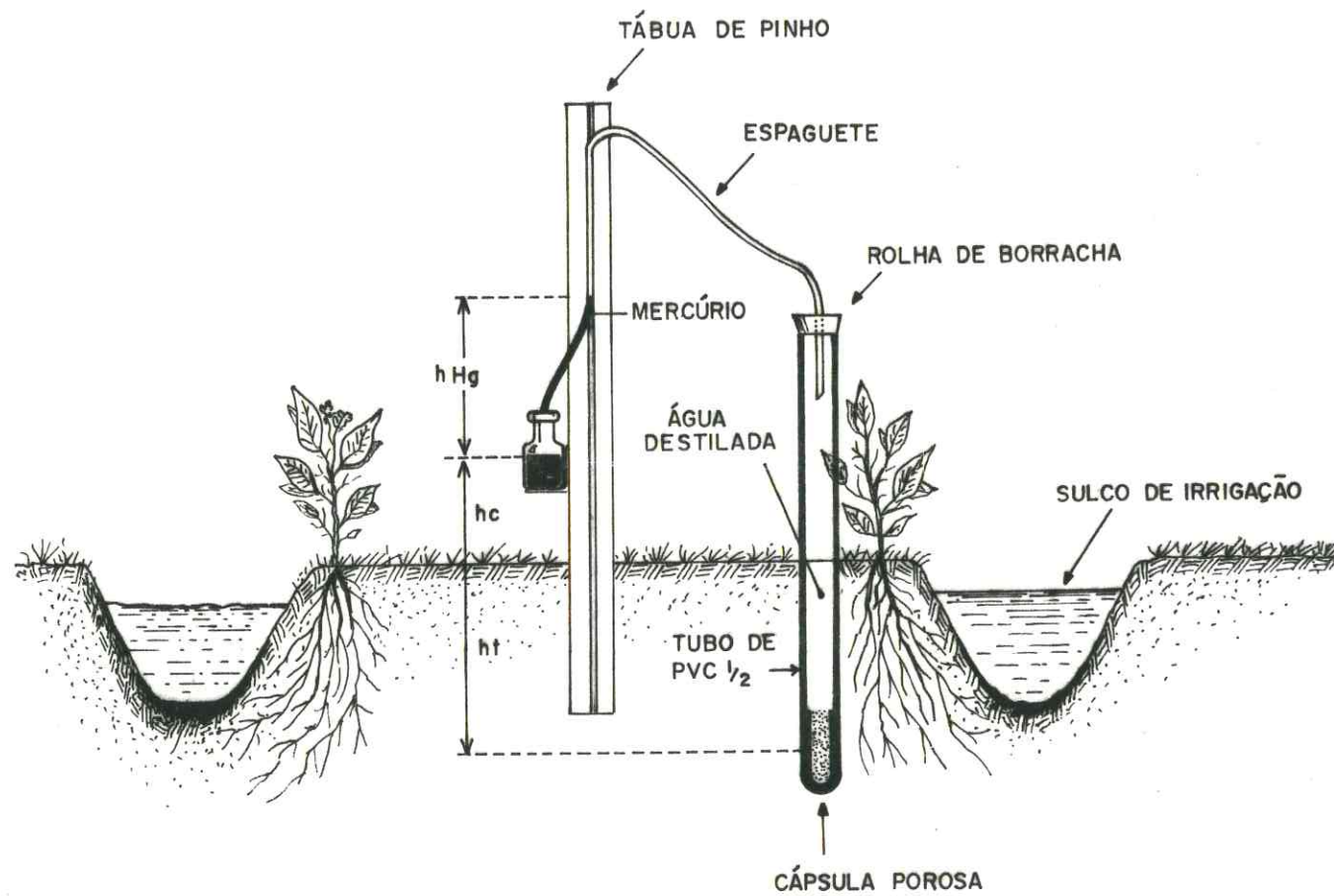


FIGURA 01 - Esquema de um tensiômetro instalado no solo.

sendo:

ETO = Evapotranspiração potencial de referência do tanque "Classe A", (mm).

K_T = Coeficiente do tanque "Classe A", obtido em tabela conforme recomendações de DOOREMBOS & PRUITT (1975).

ECA = Evaporação do tanque "Classe A" (mm).

4.6 - Estimativa da Evapotranspiração Atual (ETA)

De posse dos demais componentes do balanço hídrico, calculados conforme metodologia descrita anteriormente, estimou-se a evapotranspiração atual, fazendo uso da equação (11).

4.7 - Determinação do Coeficiente de Cultura (Kc)

O coeficiente de cultura foi obtido pela equação:

$$K_c = \frac{ETA}{ETP} = \frac{ETA}{ECA \times K_T} \dots\dots\dots (17)$$

4.8 - Determinação do Coeficiente de Irrigação (Ki)

O coeficiente de irrigação foi obtido pela equação:

$$K_i = \frac{ETA}{ECA} \dots\dots\dots (18)$$

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Parâmetros de Irrigação

As irrigações foram efetuadas num período de 100 dias. A diferenciação dos tratamentos com relação ao nível de água aplicado ao solo, deveria ocorrer no início da primeira fase da cultura entretanto, para garantia do estande, esta só aconteceu a partir do vigésimo primeiro dia do plantio.

O Nível 01 (N_1) de irrigação correspondente a um potencial matricial de aproximadamente $-0,3$ atmosfera, que servia de indicativo para o início das irrigações, proporcionou a aplicação de uma lâmina total de água de $327,6\text{mm}$, aplicada em 18 irrigações, equivalendo a uma dotação diária média de $4,6\text{mm}$. O turno de rega variou de 3 a 5 dias, TABELA 04.

Já no Nível 02 (N_2) de irrigação caracterizado pelas exigências de um potencial matricial de aproximadamente $-0,5$ atmosfera, a lâmina total de água aplicada foi de $388,8\text{mm}$, distribuída em 13 aplicações, com dotação diária média de $5,4\text{mm}$. O intervalo entre irrigações variou de 4 a 8 dias, TABELA 05.

As irrigações controladas em cada nível, tinham por objetivo atender às necessidades do sistema solo-planta-atmosfera, elevando a umidade do solo à capacidade de campo ($0,289$ e $0,275 \text{ cm}^3 \times \text{cm}^{-3}$) para as camadas de $0 - 20\text{cm}$ e $20 - 40\text{cm}$, respectivamente.

Foram instaladas duas baterias de tensiômetros com monômetro de mercúrio, para cada nível de irrigação. Os tensiômetros instalados a 10cm de profundidade indica

TABELA 04 - Elementos básicos de irrigação obtidos durante o balanço hídrico da cultura da abóbora, potencial matricial -0,3 atm. (nível 01).

DATA	Profundidade (cm)	θ Máximo cm^3/cm^3	Ψ_m Máximo cm	θ Mínimo cm^3/cm^3	Ψ_m Mínimo cm	$\Delta\theta$ cm^3/cm^3	Lâmina Bruta mm	Turno de Rega dia	Dotação Diária mm	Precipitação mm	Nº de Irrigações
11/09											
14	10	0,289	-110	0,200	-369	0,089	19,8	3	6,6		01
17	10	0,289	-110	0,215	-311	0,074	16,4	3	5,5		02
21	10	0,289	-110	0,200	-369	0,089	19,8	4	5,0		03
24	10	0,289	-110	0,210	-323	0,079	17,6	3	5,9		04
28	10	0,289	-110	0,200	-365	0,089	19,8	4	5,0	3,8	05
								4	6,2		06
02/10	10	0,289	-110	0,195	-380	0,094	20,9	4	4,6		07
06	10	0,289	-110	0,207	-343	0,082	18,2	4	4,0	0,4	08
10	10	0,289	-110	0,218	-293	0,071	15,8	5	3,7		09
15	10	0,289	-110	0,208	-330	0,081	18,0	4	4,7		10
19	10	0,289	-110	0,205	-338	0,084	18,7	4	4,6		11
23	10	0,289	-110	0,207	-337	0,082	18,2	4	5,1		12
27	10	0,289	-110	0,197	-376	0,092	20,4	4	5,0		13
31	10	0,289	-110	0,200	-369	0,089	19,8	4	4,2		14
04/11	10	0,289	-110	0,214	-313	0,075	16,7	3	5,5		15
07	10	0,289	-110	0,215	-311	0,074	16,4	5	3,2		16
12	10	0,289	-110	0,217	-280	0,072	16,0	5	3,6		17
17	10	0,289	-110	0,209	-324	0,080	17,8	5	3,5		18
22	10	0,289	-110	0,211	-318	0,078	17,3				
TOTAL							327,6			4,2	
MÉDIA									4,6		

TABELA 05 - Elementos básicos de irrigação obtidos durante o balanço hídrico da cultura da abóbora, potencial matricial -0,5 atm. (nível 02).

DATA	Profundidade (cm)	θ Máximo cm^3/cm^3	Ψ_m Máximo cm	θ Mínimo cm^3/cm^3	Ψ_m Mínimo cm	$\Delta\theta$ cm^3/cm^3	Lâmina Bruta mm	Turno de Rega dia	Dotação Diária mm	Precipitação mm	Nº de Irrigações
11/09											
15	10	0,289	-110	0,155	-525	0,134	29,8	4	7,5		01
19	10	0,289	-110	0,151	-577	0,138	30,7	4	7,7		02
23	10	0,289	-110	0,152	-554	0,137	30,4	4	7,6		03
29	10	0,289	-110	0,146	-660	0,143	31,8	6	5,3		04
05/10	10	0,289	-110	0,148	-651	0,141	31,3	6	5,9		05
13	10	0,289	-110	0,152	-554	0,137	30,4	8	3,8	3,8	06
18	10	0,289	-110	0,154	-529	0,135	30,0	5	6,0	0,4	07
23	10	0,289	-110	0,165	-497	0,124	27,6	5	5,6		08
28	10	0,289	-110	0,157	-516	0,132	29,3	5	5,9		09
02/11	10	0,289	-110	0,153	-535	0,136	30,2	5	6,0		10
08	10	0,289	-110	0,166	-499	0,123	27,3	6	4,6		11
16	10	0,289	-110	0,154	-530	0,135	30,0	8	3,8		12
23	10	0,289	-110	0,154	-532	0,135	30,0	7	4,3		13
TOTAL							388,8			4,2	
MÉDIA									5,3		

vam o momento da irrigação e aqueles colocados a 30cm, juntamente com o de 10cm, e a curva característica, possibilitavam o cálculo da lâmina de água a ser aplicada. Contudo, como mostram as TABELAS 04 e 05 em todo ciclo da cultura, apenas os tensiômetros colocados a 10cm de profundidade apresentaram valores referentes a quando e quanto irrigar, uma vez que os tensiômetros instalados a 30cm, mostravam de acordo com a curva característica, que a camada de 20 - 40cm se encontrava sempre com teor de umidade do solo nunca inferior à capacidade de campo.

5.2 - Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica saturada $K(\theta_s)$, obtida a partir de medições sucessivas da altura da lâmina de água infiltrada em determinado intervalo de tempo, apresentou um valor de $0,4 \text{ cm} \times \text{h}^{-1}$ que segundo REICHARDT (1987) é considerada baixo.

A condutividade hidráulica não saturada foi determinada pelo Método de HILLEL, modificado por SAUNDERS (1978) que se fundamenta em um processo analítico na determinação da densidade de fluxo. As TABELAS 06 e 07 apresentam os valores dos componentes do processo para as camadas de solo de 0 - 40cm e 0 - 80cm de profundidade. Na coluna 2 encontram-se os valores de armazenamento (W) da água do solo obtidos do produto da umidade média (θ) em cada camada e sua espessura. As umidades volumétricas médias do solo, em função do potencial matricial, estão apresentadas na coluna 3. Observam-se nas duas camadas estudadas variações muito pequenas, nos intervalos de tempo considerados. A coluna 4 representa a densidade de fluxo para as diversas profundidades e diversos tempos, obtidas pela expressão analítica $q = -b/t$. O valor de b representa o coeficiente angular da equação da reta $W = a - b \cdot \ln t$. Esta equação é determinada após os valores referentes ao

TABELA 06 - Condutividade hidráulica em função dos valores médios de armazenamento da água do solo, para diversos tempos.

PROFUNDIDADE 30 cm					
TEMPO (dia)	W (cm)	$\bar{\theta}$ cm/cm	- q cm/dia	$\Delta\Psi/\Delta Z$ cm/cm	K(θ) cm/dia
0	18,19	0,455	-	-	* 9,6000
1	13,76	0,344	0,3554	0,375	0,9477
2	13,68	0,342	0,1777	0,375	0,4739
3	13,56	0,339	0,1185	0,330	0,3591
5	13,48	0,337	0,0711	0,365	0,1948
7	13,36	0,334	0,0508	0,355	0,1431
10	13,16	0,329	0,0355	0,320	0,1109
15	12,92	0,323	0,0237	0,280	0,0846
20	12,76	0,319	0,0178	0,245	0,0727
25	12,68	0,317	0,0142	0,210	0,0676

A densidade de fluxo foi calculada analiticamente pela expressão $q = \frac{-b}{t}$,

Método de HILLEL modificado por SAUNDERS (1978).

Sendo $b = - 0,3554$

* Condutividade Hidráulica Saturada.

TABELA 07 - Condutividade hidráulica em função dos valores médios de armazenamento da água do solo, para diversos tempos.

PROFUNDIDADE 70 cm					
TEMPO (dia)	W (cm)	$\bar{\theta}$ cm/cm	- q cm/dia	$\Delta\Psi/\Delta Z$ cm/cm	K(θ) cm/dia
0	35,18	0,440	-	-	* 9,6000
1	30,48	0,422	0,5649	0,760	0,7433
2	30,34	0,420	0,2824	0,725	0,3895
3	30,18	0,419	0,1883	0,740	0,2545
5	30,06	0,418	0,1130	0,700	0,1614
7	29,88	0,416	0,0807	0,665	0,1214
10	29,59	0,413	0,0565	0,640	0,0883
15	29,20	0,408	0,0377	0,550	0,0685
20	28,88	0,404	0,0282	0,550	0,0513
25	28,72	0,402	0,0226	0,550	0,0411

A densidade de fluxo foi calculada analiticamente pela expressão $q = \frac{-b}{t}$,

Método de HILLEL modificado por SAUNDERS (1978).

Sendo $b = - 0,5649$.

* Condutividade Hidráulica Saturada.

logarítmo do tempo e aos de armazenamento de água no solo serem submetidos a uma análise de regressão linear. A coluna 5 mostra a variação do gradiente de potencial total da água do solo. As medidas de infiltração realizadas na parcela, evidenciam uma condutividade hidráulica saturada média de 9,6cm/dia (0,4cm/h) conforme se vê na coluna 6. Nesta coluna encontram-se também os valores da condutividade hidráulica não saturada, obtida pela divisão dos valores da coluna 4 pelos valores da coluna 5, conforme equação de Darcy.

Com os dados das TABELAS 06 e 07, colunas 3 e 6, construíram-se as figuras 02 e 03 que expressam o valor médio da condutividade hidráulica em função do conteúdo médio de água do solo. Como os pontos plotados $\ln K(\theta)$ versus (θ) distribuíram-se segundo uma reta, fez-se uma regressão linear, obtendo-se as equações:

$$(a) K(\theta)_{30} = \exp 13,40(2,62\theta - 1) \text{ com } r = 0,92. \quad (19)$$

$$(b) K(\theta)_{70} = \exp 62,05(2,34\theta - 1) \text{ com } r = 0,97. \quad (20)$$

Comparando estas equações para um mesmo teor de umidade do solo (θ) , verifica-se que a condutividade hidráulica não saturada da camada de 0 - 40cm é muito maior que a de 0 - 80cm, demonstrando haver uma compactação crescente no perfil considerado, dificultando a penetração da água e do sistema radicular da cultura e consequentemente o seu desenvolvimento naquela área.

5.3 - Balanço Hídrico

A estimativa do balanço hídrico na Cultura da Abóbora (*Cucurbita maxima*, Duch.) foi realizada num período de 73 dias a partir do vigésimo primeiro dia após o plantio, até a colheita.

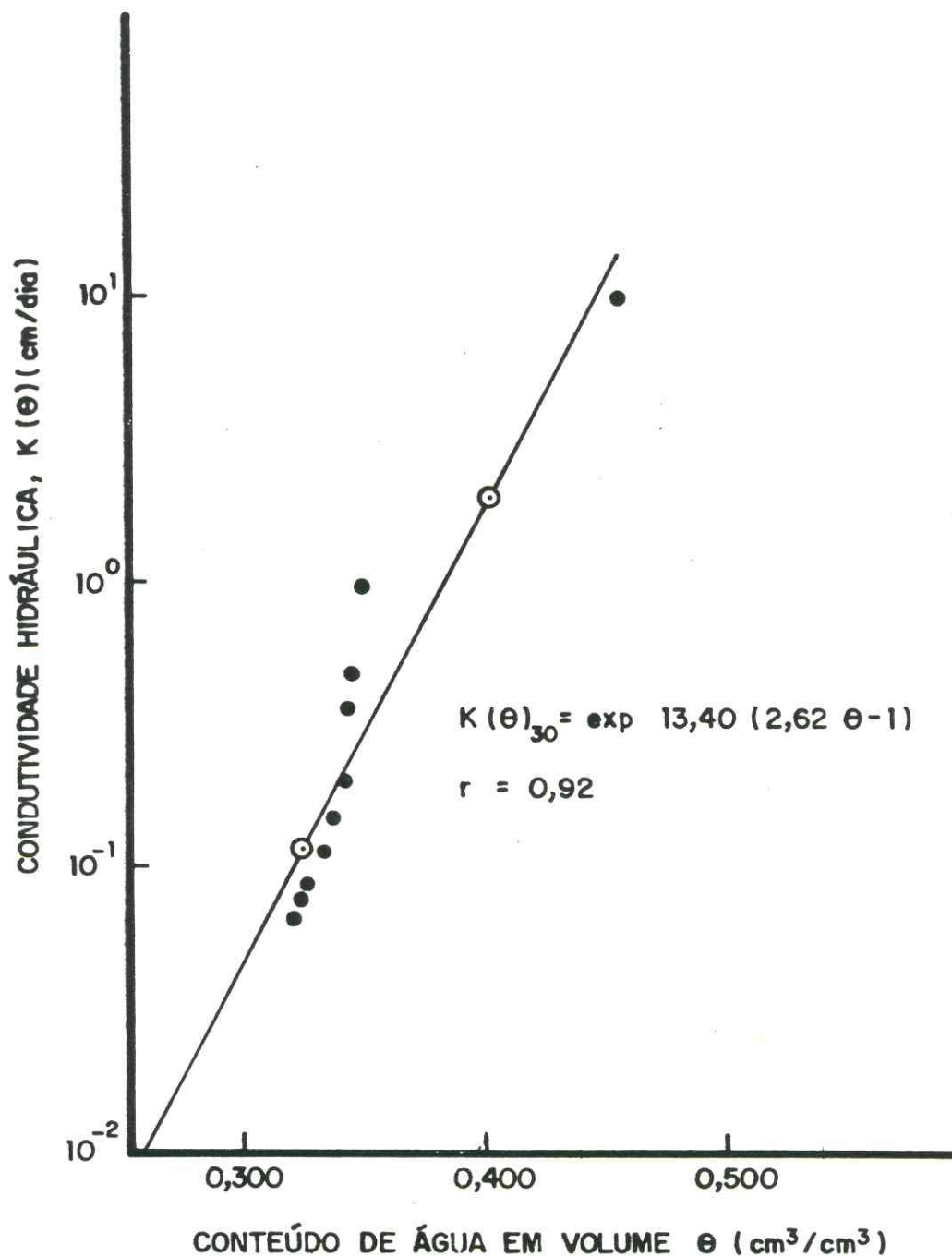


FIGURA 02 - Condutividade hidráulica (Método HILLEL, modificado por SAUNDERS, 1979) em função do conteúdo de água do solo, para profundidade de 30 cm.

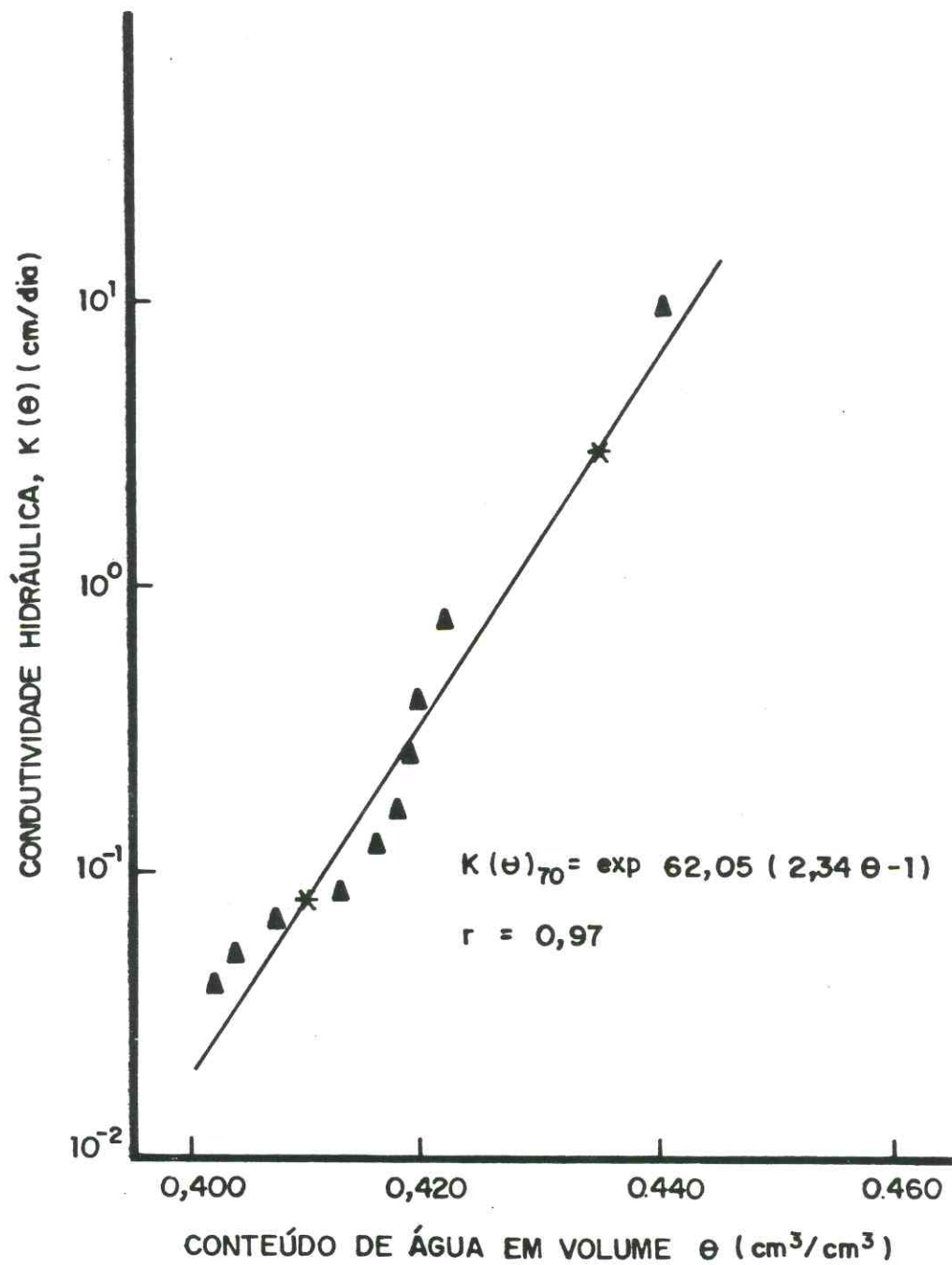


FIGURA 03 - Condutividade hidráulica (Método HILLEL, modificado por SAUNDERS, 1978) em função do conteúdo de água do solo, para profundidade de 70 cm.

Durante o balanço efetuou-se uma apreciação detalhada de todas as entradas e saídas e a variação do armazenamento de água ocorridos no volume de controle de solo, de 0 - 40cm e 0 - 80cm de profundidade, TABELAS 08, 09, 10 e 11.

Tomou-se como períodos para o estudo detalhado dos componentes do balanço hídrico o intervalo entre duas irrigações consecutivas, com exceção dos períodos 01, 02 e 12 do Nível 01 que se constituíram de dois intervalos de irrigação consecutivos. Desse modo, o nível 01 constou de 15 períodos com intervalos de 4 a 7 dias, enquanto no nível 02 participaram apenas 13 períodos com intervalos que variaram de 4 a 8 dias. Segundo recomendações de JENSEN (1967) os intervalos escolhidos para um balanço hídrico, não devem ser superiores a 5 dias, para que não se verifiquem erros na determinação do uso consutivo superiores a 15%.

As variações de armazenamento em cada período foram consideradas a partir da determinação do armazenamento da água no solo, antes de duas irrigações consecutivas. Esta variação nos intervalos definidos para os dois níveis de irrigação e as duas profundidades estudadas, apresentou resultados positivos, ou seja, a água aplicada sob a forma de irrigação superou às necessidades da planta naquele período, e negativos, induzindo que houve utilização da água do solo pela planta, através da evapotranspiração em outro período.

A componente Q_L apresentou-se com valores negativos para todo o balanço hídrico, evidenciando uma drenagem ou percolação profunda. Observando-se os percentuais de percolação profunda (Q_L) calculados com base na soma da evapotranspiração e percolação, tomados como 100%, verifica-se que no nível 01 ela variou de 0,9% a 36,7%, com uma média de 13,5% para a profundidade de (0 - 40)cm, enquanto o nível 02 apresentou valores que variaram de 1,6% a 11,6%, com percentual médio para todos os períodos de

TABELA 08 - Componentes do balanço hídrico da cultura da abóbora, profundidade (0 - 40) cm, potencial matricial -0,30 atm. (Nível 01).

PERÍODO DIA	INTERVALO DIA	ΔA (mm)	QL (mm)	ETA (mm)	ETA/DIA (mm)	QL %	I (mm)	P (mm)
11/09 a 17/09/87	6	+4,2	-1,6	30,4	5,1	5,0	36,2	
17/09 a 24/09/87	7	-3,0	-5,5	34,9	5,0	13,6	37,4	
24/09 a 28/09/87	4	-2,8	-4,0	22,4	5,6	15,2	19,8	3,8
28/09 a 02/10/87	4	-1,2	-2,8	19,3	4,8	12,7	20,9	
02/10 a 06/10/87	4	+2,4	-1,7	14,1	3,5	10,8	18,2	
06/10 a 10/10/87	4	+1,2	-5,5	9,5	2,4	36,7	15,8	0,4
10/10 a 15/10/87	5	-0,8	-2,4	16,4	3,3	12,8	18,0	
15/10 a 19/10/87	4	-1,8	-2,1	18,4	4,6	10,2	18,7	
19/10 a 23/10/87	4	+0,4	-1,4	16,4	4,1	7,9	18,2	
23/10 a 27/10/87	4	-1,2	-2,0	19,6	4,9	9,3	20,4	
27/10 a 31/10/87	4	-2,4	-0,2	22,0	5,5	0,9	19,8	
31/10 a 07/11/87	7	+6,0	-1,2	25,9	3,7	4,4	33,1	
07/11 a 12/11/87	5	-0,2	-4,6	11,6	2,3	28,4	16,0	
12/11 a 17/11/87	5	-2,6	-3,0	17,4	3,5	14,7	17,8	
17/11 a 22/11/87	5	+0,8	-3,2	13,3	2,7	19,4	17,3	
11/09 a 22/11/87	72	-1,0	-41,2	291,6	4,1		327,6	4,2

TABELA 09 - Componentes do balanço hídrico da cultura da abóbora, profundidade (0 - 80) cm, potencial matricial -0,3 atm. (Nível 01).

PERÍODO DIA	INTERVALO DIA	ΔA (mm)	QL (mm)	ETA (mm)	ETA/DIA (mm)	QL %	I (mm)	P (mm)
11/09 a 17/09/87	6	+5,2	-1,3	29,7	5,0	4,2	36,2	
17/09 a 24/09/87	7	-5,0	-1,2	41,2	5,9	2,8	37,4	
24/09 a 28/09/87	4	-3,2	-0,6	26,2	6,6	2,2	19,8	3,8
28/09 a 02/10/87	4	-3,0	-0,2	23,7	5,9	0,8	20,9	
02/10 a 06/10/87	4	+2,2	-0,1	15,9	4,0	0,6	18,2	
06/10 a 10/10/87	4	-1,2	-0,1	17,3	4,3	0,6	15,8	0,4
10/10 a 15/10/87	5	-1,4	-0,1	19,3	3,9	0,5	18,0	
15/10 a 19/10/87	4	-1,8	0,0	20,5	5,1	0,0	18,7	
19/10 a 23/10/87	4	-1,2	0,0	19,4	4,9	0,0	18,2	
23/10 a 27/10/87	4	-2,6	0,0	23,0	5,8	0,0	20,4	
27/10 a 31/10/87	4	-1,8	0,0	21,6	5,4	0,0	19,8	
31/10 a 07/11/87	7	+6,8	0,0	26,3	3,8	0,0	33,1	
07/11 a 12/11/87	5	+0,4	0,0	15,6	3,1	0,0	16,0	
12/11 a 17/11/87	5	-2,8	0,0	20,6	4,1	0,0	17,8	
17/11 a 22/11/87	5	-0,2	0,0	17,5	3,5	0,0	17,3	
11/09 a 22/11/87	72	-9,6	-3,6	337,8	4,7		327,6	4,2

TABELA 10 - Componentes do balanço hídrico da cultura da abóbora, profundidade (0 - 40) cm, potencial matricial -0,5 atm. (Nível 02).

PERÍODO DIA	INTERVALO DIA	ΔA (mm)	QL (mm)	ETA (mm)	ETA/DIA (mm)	QL %	I (mm)	P (mm)
11/09 a 15/09/87	4	+2,2	-1,5	26,1	6,5	5,4	29,8	
15/09 a 19/09/87	4	+1,0	-3,0	26,7	6,7	10,1	30,7	
19/09 a 23/09/87	4	0,0	-1,8	28,6	7,2	5,9	30,4	
23/09 a 29/09/87	6	+0,2	-2,7	32,7	5,5	7,6	31,8	3,8
29/09 a 05/10/87	6	-0,2	-0,5	31,0	5,2	1,6	31,3	
05/10 a 13/10/87	8	-2,4	-1,2	32,0	4,0	3,6	30,4	0,4
13/10 a 18/10/87	5	+2,4	-2,0	25,6	5,1	7,2	30,0	
18/10 a 23/10/87	5	-1,8	-2,6	26,8	5,4	8,8	27,6	
23/10 a 28/10/87	5	+2,2	-1,1	26,0	5,2	4,1	29,3	
28/10 a 02/11/87	5	-3,6	-1,6	32,2	6,4	4,7	30,2	
02/11 a 08/11/87	6	+4,4	-3,0	22,9	3,8	11,6	27,3	
08/11 a 16/11/87	8	0,0	-3,1	26,9	3,4	10,3	30,0	
16/11 a 23/11/87	7	-0,4	-3,4	27,0	3,9	11,2	30,0	
11/09 a 23/11/87	73	+1,0	-27,5	364,5	5,0		388,8	4,2

TABELA 11 - Componentes do balanço hídrico da cultura da abóbora, profundidade (0,- 80) cm, potencial matricial -0,5 atm. (Nível 02).

PERÍODO DIA	INTERVALO DIA	ΔA (mm)	QL (mm)	ETA (mm)	ETA/DIA (mm)	QL %	I (mm)	P (mm)
11/09 a 15/09/87	4	+3,0	-0,1	26,7	6,7	0,4	29,8	
15/09 a 19/09/87	4	+4,0	-0,1	26,6	6,7	0,4	30,7	
19/09 a 23/09/87	4	-1,2	-0,2	31,4	7,9	0,6	30,4	
23/09 a 29/09/87	6	-1,0	-0,2	36,4	6,1	0,5	31,8	3,8
29/09 a 05/10/87	6	+3,6	-0,3	27,4	4,6	1,1	31,3	
05/10 a 13/10/87	8	-7,0	-0,3	37,5	4,7	0,8	30,4	0,4
13/10 a 18/10/87	5	+3,2	-0,1	26,7	5,3	0,4	30,0	
18/10 a 23/10/87	5	-0,8	-0,1	28,3	5,7	0,4	27,6	
23/10 a 28/10/87	5	+0,6	0,0	28,7	5,7	0,0	29,3	
28/10 a 02/11/87	5	-4,0	0,0	34,2	6,8	0,0	30,2	
02/11 a 08/11/87	6	+1,4	-0,1	25,8	4,3	0,4	27,3	
08/11 a 16/11/87	8	-1,0	0,0	31,0	3,9	0,0	30,0	
16/11 a 23/11/87	7	-1,0	0,0	31,0	4,4	0,0	30,0	
11/09 a 23/11/87	73	-0,2	-1,5	391,7	5,4		388,8	4,2

7,1% na mesma profundidade. Isto em parte, pode ter sido ocasionado pelo fato da água consumida no nível 01, proveniente de irrigação, ser reposta ao solo, para elevá-lo à capacidade de campo a uma profundidade de 40cm, sempre que o potencial matricial acusava um valor de $0,215\text{cm}^3/\text{cm}^3$ equivalente a 65% da água disponível remanescente. No nível 02 a irrigação só se processava ao ser atingido o potencial matricial de $-0,5\text{atm}$, correspondente a um conteúdo de água de $0,167\text{cm}^3 \times \text{cm}^{-3}$ e em torno de 45% da água disponível residual. Como a variação de armazenamento da água do solo foi muito pequena e a evapotranspiração média para todos os períodos no nível 01 menor que no nível 02, uma disponibilidade maior de água no solo pode ter contribuído para o aumento da percolação no nível 01. Em trabalhos dessa natureza, onde a percolação profunda atinge valores acima de 30% para determinados períodos, evidencia-se o fato desse componente do balanço hídrico não ser negligenciado, uma vez que isto, provocaria uma superestimação da evapotranspiração atual, confirmando os resultados de VACHARUD et alii (1981), REICHARDT (1979) e CASTRO (1979), citados por SAUNDERS (1981). Os valores de Q_L na profundidade de 80cm foram praticamente nulos, demonstrando pequena variação dos potenciais totais entre as camadas de 70 e 90cm do solo.

Nas TABELAS 09 e 11 encontram-se detalhados os componentes do balanço hídrico final da cultura da abóbora na profundidade considerada para o estudo. Observando os totais de água aplicados com irrigação verifica-se que estes são um pouco menores que a água total consumida por evapotranspiração em ambos os níveis de irrigação. Entretanto, vale salientar que junto a esta água evapotranspirada existe uma parcela que é evaporada diretamente dos sulcos, onde ela fica exposta por bastante tempo, em solos compactados, antes de se infiltrar completamente e que, em balanço hídrico, não é computada. As necessidades hídricas diárias da abóbora durante os 73 dias do balanço apresentaram comportamento semelhante, conforme evidencia

a FIGURA 4 com um consumo médio diário de 4,7mm para o nível 01 e 5,4mm para o nível 02. SANTOS (1985), em trabalho realizado com a cultura do melão, irrigando a um potencial matricial de $-0,3\text{atm}$, obteve um consumo médio diário de 5,1mm. A razão da evapotranspiração do N1 ter sido menor que a do N₂ deve-se: 1 - maior contacto da cultura com a água de irrigação exposta no solo, principalmente no período que vai da frutificação à maturação, predispondo a planta a um maior ataque de moléstias, ocasionando uma produtividade inferior em 17% com relação ao N₂; 2 - Solo com umidade sempre bastante elevada, nunca inferior a $-0,3\text{atm}$ de potencial matricial, que condiciona uma aeração deficiente do mesmo para a cultura.

Duas precipitações pluviais ocorreram durante o período em que se efetuou o balanço hídrico mas, não chegaram a influenciar os demais componentes do balanço.

As FIGURAS 05 e 06 mostram as variações periódicas da evaporação do tanque "Classe A", evapotranspiração potencial de referência e evapotranspiração atual, contidas nas TABELAS 12 e 13 e a lâmina de água fornecida a cultura em cada período considerado. Como se pode observar, a ECA apresenta valores bastante elevados, em média 48,4mm por período ou 9,4mm/dia. Com relação a ETO, esta foi inferior a ETA apenas em um período. Seus valores corrigidos pelo coeficiente do tanque "Classe A", variaram de 5,9 a 8,1mm/dia. A lâmina de água aplicada por irrigação se mostrou ora superior, ora inferior a ETA, demonstrando variação do armazenamento de água do solo.

Nas FIGURAS 07 e 08 encontram-se as curvas de regressão linear da evapotranspiração atual da cultura da abóbora e da evapotranspiração potencial de referência, elaboradas em função do tempo acumulado t (dia). Os altos valores dos coeficientes de correlação (r) e de determinação (r^2) evidenciam o fato de se obter a evapotranspiração atual a partir da evaporação do tanque "Classe A", para as condições ambientais citadas anteriormente.

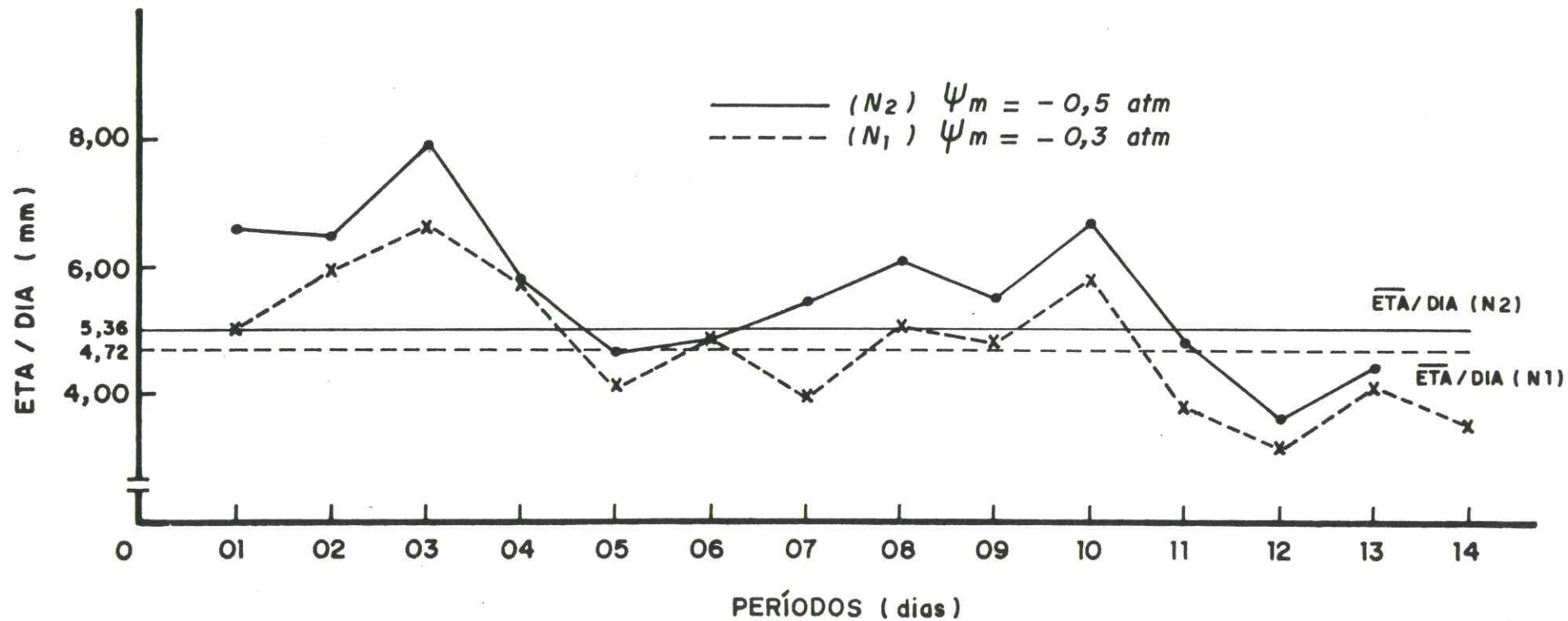


FIGURA 04 - Necessidades hídricas diárias da Cultura da Abóbora, durante o Balanço Hídrico, Nível 01 e 02.

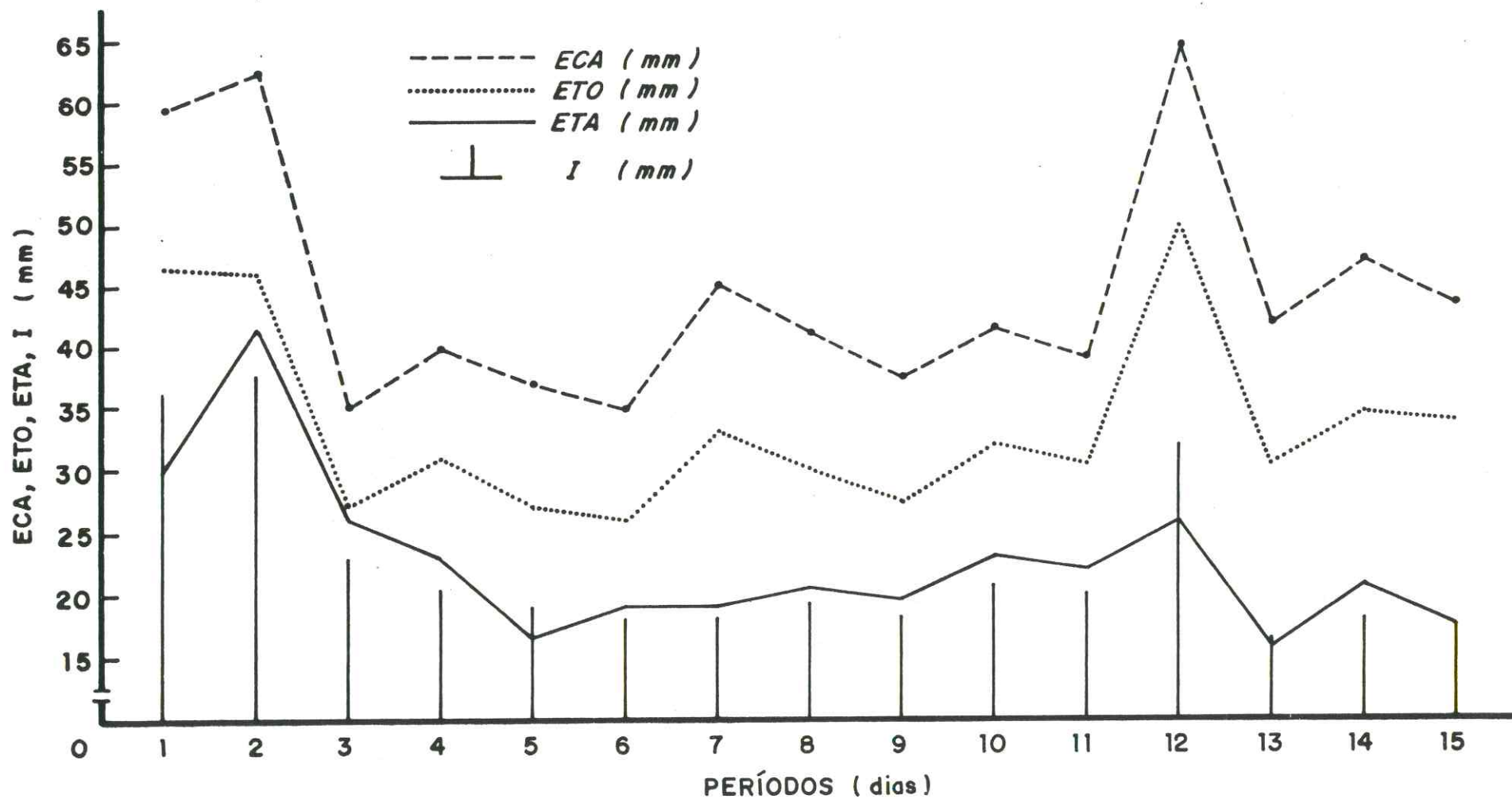


FIGURA 05 - Variação das componentes do Balanço Hídrico da Cultura da Abóbora, Nível 01.

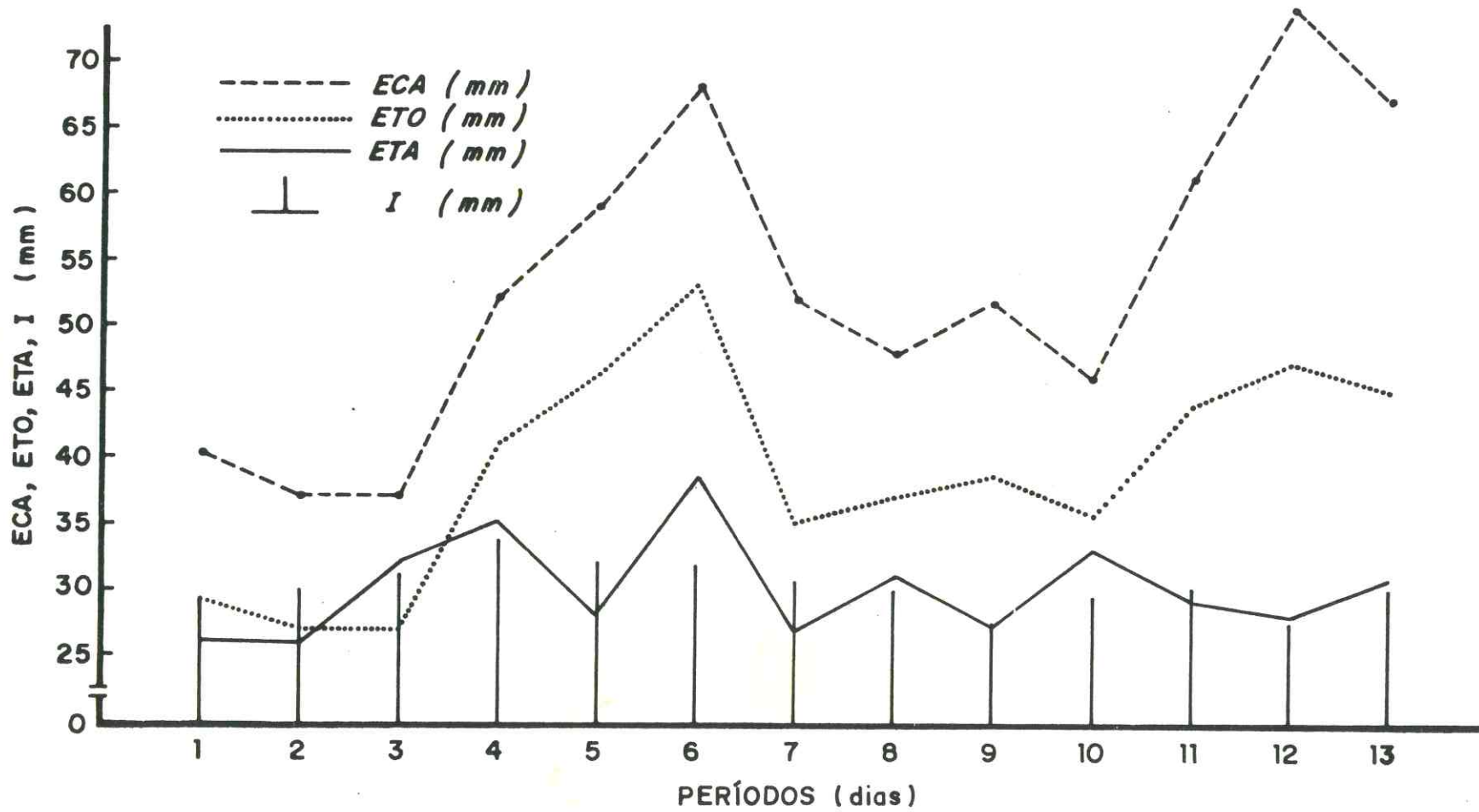


FIGURA 06 - Variação das componentes do Balanço Hídrico da Cultura da Abóbora, Nível 02.

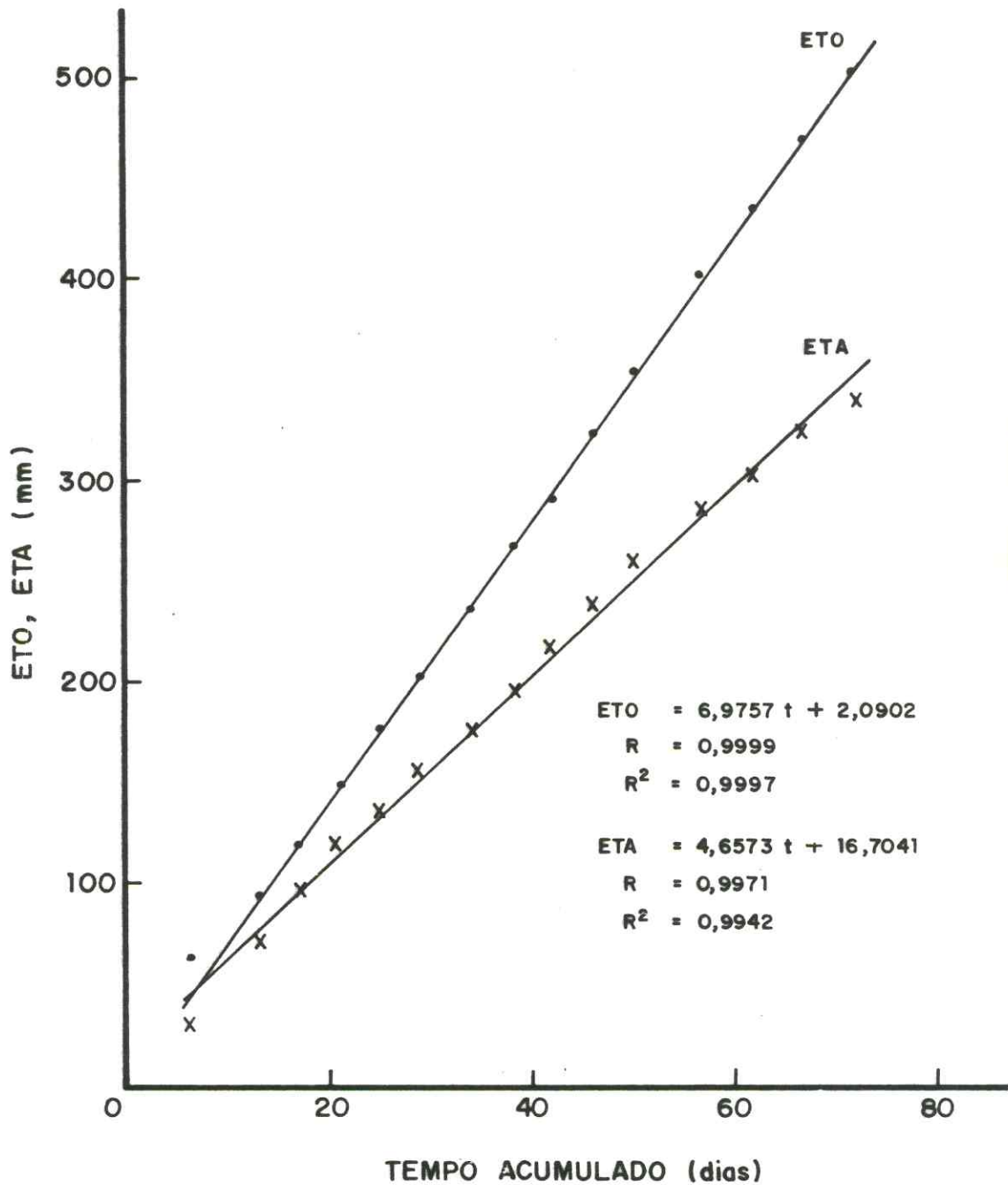


FIGURA 07 - Curvas de Regressão Linear da Evapotranspiração Atual (ETA) e Evapotranspiração Potencial (ETO) (acumuladas), elaboradas em função do tempo acumulado t (dia), durante o período do balanço hídrico, Nível 01.

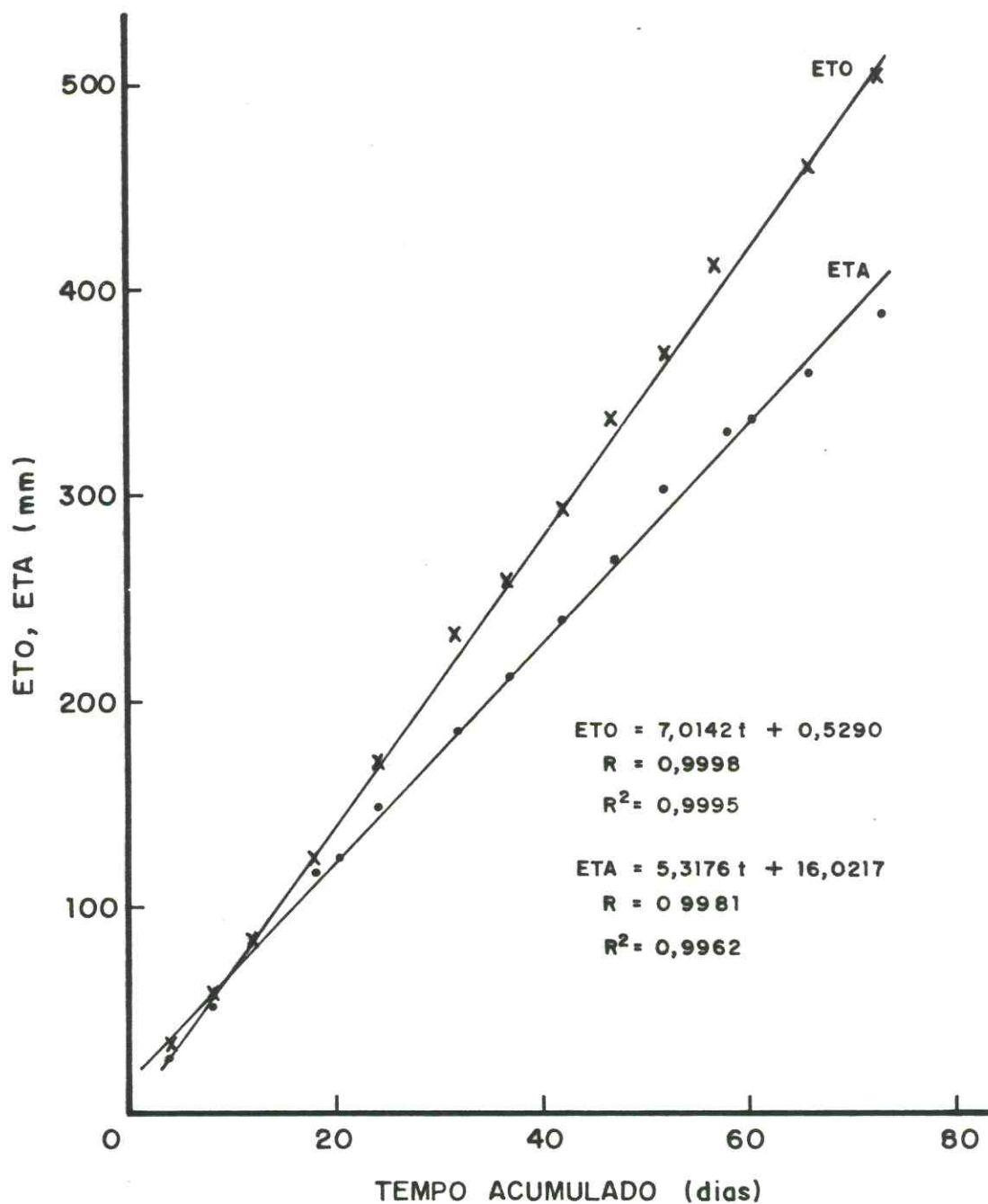


FIGURA 08 - Curvas de Regressão Linear da Evapotranspiração Atual (ETA) e Evapotranspiração Potencial (ETO) (acumuladas), elaboradas em função do tempo acumulado t (dia), durante o período do balanço hídrico, Nível 02.

Os valores do coeficiente do tanque "Classe A" constantes das TABELAS 12 e 13 foram determinados em função da velocidade do vento (Km/dia), umidade relativa (%) e condição de exposição do tanque, conforme recomendações de DOOREMBOS & PRUITT (1975). As variações bastante reduzidas do (K_T) 0,78, 0,73 e 0,68, são conseqüências das baixas oscilações climáticas locais, principalmente quanto a vento e umidade relativa. O produto deste fator pelo valor da evaporação diária estimou de forma aproximada o valor da evapotranspiração potencial de referência, EQUAÇÃO (16).

5.4 - Coeficiente de Cultura Kc

Com os valores de ETA, calculados a partir do balanço hídrico, e ECA, obtida a partir de leituras do tanque "Classe A", corrigida pelo coeficiente do tanque (K_T), determinaram-se os coeficientes de cultura (K_c) para cada intervalo do período considerado para o balanço, os quais se encontram nas TABELAS 12 e 13. A partir destes dados, construiu-se a FIGURA 9, relacionando os valores de K_c com os intervalos do período para cada nível de irrigação estudado. Como se pode observar a variação do K_c com o tempo não se comportou de maneira normal para as culturas temporárias, ou seja, valores variando de mínimo na fase inicial, passando por intermediário na fase vegetativa, com tendência a crescer até atingir o máximo na fase inicial de reprodução quando se mantêm estabilizado, decaindo ao final desta fase, voltando a atingir níveis mínimos na fase de colheita.

Devido a esta variação, procurou-se determinar um coeficiente de cultura médio para o período do balanço, relacionando as curvas dos valores acumulados de ETA e ETO, obtidos por análise de regressão linear, com o tempo acumulado, conforme equação:

TABELA 12 - Coeficiente do tanque "Classe A", da cultura e de irrigação, em função do tanque, para a cultura da abóbora nos períodos considerados no balanço hídrico (Nível 01).

PERÍODO DIA	INTERVALO DIA	ECA		KT	ETO		ETA		Kc	Ki
		mm	mm/DIA		mm	mm/DIA	mm	mm/DIA		
11/09 a 17/09/87	6	59,6	9,9	0,78	46,5	7,7	29,7	5,0	0,6	0,5
17/09 a 24/09/87	7	62,6	8,9	0,73	45,7	6,5	41,4	5,9	0,9	0,7
24/09 a 28/09/87	4	34,9	8,7	0,78	27,2	6,8	26,4	6,6	1,0	0,8
28/09 a 02/10/87	4	39,6	9,9	0,78	30,9	7,7	23,7	5,9	0,8	0,6
02/10 a 06/10/87	4	37,3	9,3	0,73	27,2	6,8	15,9	4,0	0,6	0,4
06/10 a 10/10/87	4	35,1	8,8	0,73	25,6	6,4	17,4	4,4	0,7	0,5
10/10 a 15/10/87	5	44,8	9,0	0,73	32,7	6,5	19,3	3,9	0,6	0,4
15/10 a 19/10/87	4	41,0	10,3	0,73	29,9	7,5	20,5	5,1	0,7	0,5
19/10 a 23/10/87	4	37,5	9,4	0,68	25,5	6,4	19,4	4,9	0,8	0,5
23/10 a 27/10/87	4	41,3	10,3	0,78	31,2	8,1	23,0	5,8	0,7	0,6
27/10 a 31/10/87	4	39,1	9,8	0,78	30,5	7,6	21,6	5,4	0,7	0,6
31/10 a 07/11/87	7	68,6	9,8	0,73	50,1	7,2	26,3	3,8	0,5	0,4
07/11 a 12/11/87	5	41,8	8,4	0,73	30,5	6,1	15,6	3,1	0,5	0,4
12/11 a 17/11/87	5	47,2	9,4	0,73	34,5	6,9	20,6	4,1	0,6	0,4
17/11 a 22/11/87	5	43,5	8,7	0,78	33,9	6,8	17,5	3,5	0,5	0,4

ECA = Evaporação do Tanque "Classe A".

ETO = Evapotranspiração Potencial Corrigida Pela Evaporação do Tanque "Classe A".

ETA = Evapotranspiração Atual, Determinada Pelo Balanço Hídrico em um volume do Solo.

KT = Coeficiente do Tanque.

Kc = Coeficiente da Cultura.

Ki = Coeficiente de Irrigação.

TABELA 13 - Coeficiente do tanque "Classe A", da cultura e de irrigação, em função do tanque, para a cultura da abóbora nos 13 períodos considerados no balanço hídrico. (Nível 02).

PERÍODO DIA	INTERVALO DIA	ECA		KT	ETO		ETA		Kc	Ki
		(mm)	mm/dia		(mm)	mm/dia	(mm)	mm/dia		
11/09 a 15/09/87	4	40,2	10,0	0,73	29,4	7,3	26,4	6,7	0,90	0,66
15/09 a 19/09/87	4	36,9	9,2	0,73	26,9	6,7	25,8	6,7	0,96	0,70
19/09 a 23/09/87	4	37,0	9,2	0,73	27,0	6,8	31,7	7,9	1,17	0,86
23/09 a 29/09/87	6	52,3	8,7	0,78	40,8	6,8	35,0	6,1	0,86	0,67
29/09 a 05/10/87	6	59,2	9,9	0,78	46,2	7,7	27,9	4,6	0,60	0,47
05/10 a 13/10/87	8	68,0	8,5	0,78	53,1	6,6	38,5	4,7	0,73	0,57
13/10 a 18/10/87	5	51,6	10,3	0,68	35,1	7,0	27,2	5,3	0,77	0,53
18/10 a 23/10/87	5	47,6	9,5	0,78	37,1	7,4	30,7	5,7	0,83	0,64
23/10 a 28/10/87	5	52,6	10,5	0,73	38,4	7,7	26,9	5,7	0,70	0,51
28/10 a 02/10/87	5	45,6	9,1	0,78	35,6	7,1	33,3	6,8	0,94	0,73
02/11 a 08/10/87	6	60,6	10,1	0,73	44,2	7,4	28,8	4,3	0,65	0,48
08/11 a 16/10/87	8	69,3	8,7	0,68	47,1	5,9	28,3	3,9	0,60	0,41
16/11 a 23/10/87	5	62,2	8,9	0,73	45,4	6,5	31,0	4,4	0,68	0,50

ECA = Evaporação do tanque "Classe A".
 ETO = Evapotranspiração potencial.
 ETA = Evapotranspiração atual.
 KT = Coeficiente do tanque "Classe A".
 Kc = Coeficiente da cultura.
 Ki = Coeficiente de irrigação.

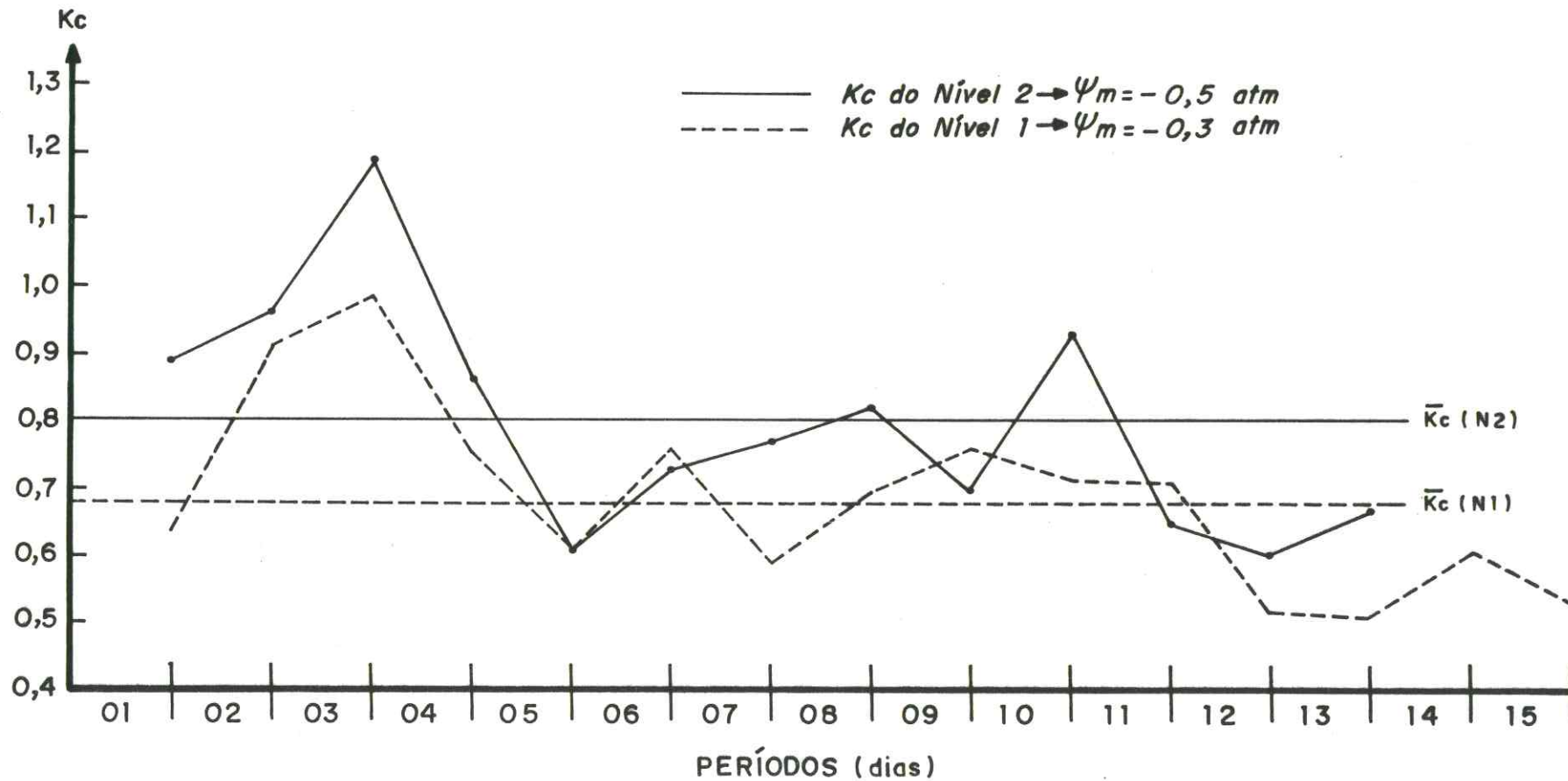


FIGURA 09 - Variação dos valores de Coeficiente de Cultura (K_c) durante os intervalos do balanço, Nível 01 e 02.

$$K_c = \frac{a_1 + b_1 t}{a_2 + b_2 t} \dots\dots\dots (21)$$

onde:

a_1 e b_1 = Coeficiente linear e angular respectivamente, da reta ETA x t (acumulados).

a_2 e b_2 = Coeficiente linear e angular respectivamente, da reta ETO x t (acumulados).

Os valores acumulados de ETA, ETO e t usados na análise de regressão linear, durante os 73 dias do balanço e suas respectivas equações, coeficiente de correlação e determinação, para os dois níveis de irrigação estudados, encontram-se na TABELA 14. A FIGURA 10 mostra graficamente os valores de K_c corrigidos pela equação (21), a partir da fase inicial de reprodução até a última colheita.

Os coeficientes de cultura médios obtidos pela equação (21) foram de 0,76 para o N_1 e 0,88 para o N_2 , respectivamente. CUNHA & MILLO (1984) apresentam para as condições semi-áridas do nordeste, valores de K_c para a melancia e abóbora na ordem de 0,65 para o primeiro mês, 1,05 do segundo ao quarto mês e 0,70 do quarto mês em diante, o que dá um K_c médio de 0,80. HARGREAVES (1974), recomenda para hortaliças de verão um K_c médio estacional de 0,85, para ser usado em programas de irrigação em solos de boa retenção hídrica.

5.5 - Coeficiente de Irrigação (K_i)

A relação entre evapotranspiração atual (ETA) e a evaporação do tanque "Classe A" (ECA), proporcionou a obtenção de um coeficiente de irrigação (K_i), que pode ser usado na determinação de lâminas d'água a serem aplicadas ao solo para irrigação da cultura da abóbora na região onde foi conduzido este trabalho (Vale do Curu) ou

TABELA 14 = Valores de ETA(mm) e ETO(mm) acumulados, com o tempo (t) acumulado, utilizados na análise de regressão linear e os valores de Kc obtidos pela equação (21).

NÍVEL 01			
t dia	ETA (mm)	ETO (mm)	Kc
13	71,1	92,2	0,88
17	97,5	119,4	0,83
21	121,2	150,3	0,79
25	137,1	177,5	0,77
29	154,5	203,1	0,75
34	173,8	235,8	0,74
38	194,3	265,7	0,73
42	213,7	291,2	0,72
46	236,7	322,4	0,71
50	258,3	352,9	0,71
57	284,6	403,0	0,70
62	300,2	433,6	0,70
67	320,8	468,0	0,69
72	338,3	501,9	0,69
ETA = 22,6925 + 4,5103t			
r = 0,9978 r ² = 0,9956			
ETO = 1,6925 + 6,9691t			
r = 0,9999 r ² = 0,9998			

NÍVEL 02			
t dia	ETA (mm)	ETO (mm)	Kc
8	52,2	56,3	1,09
12	83,9	83,3	0,98
18	118,9	124,1	0,90
24	146,8	170,3	0,86
32	185,3	223,4	0,84
37	212,5	258,5	0,82
42	243,2	295,6	0,81
47	270,1	334,0	0,81
52	303,3	369,6	0,80
58	332,2	413,8	0,80
66	360,5	460,9	0,79
73	391,5	506,3	0,79
ETA = 20,1151 + 5,2423t			
r = 0,9982 r ² = 0,9964			
ETO = 0,3302 + 7,0195t			
r = 0,9997 r ² = 0,9994			

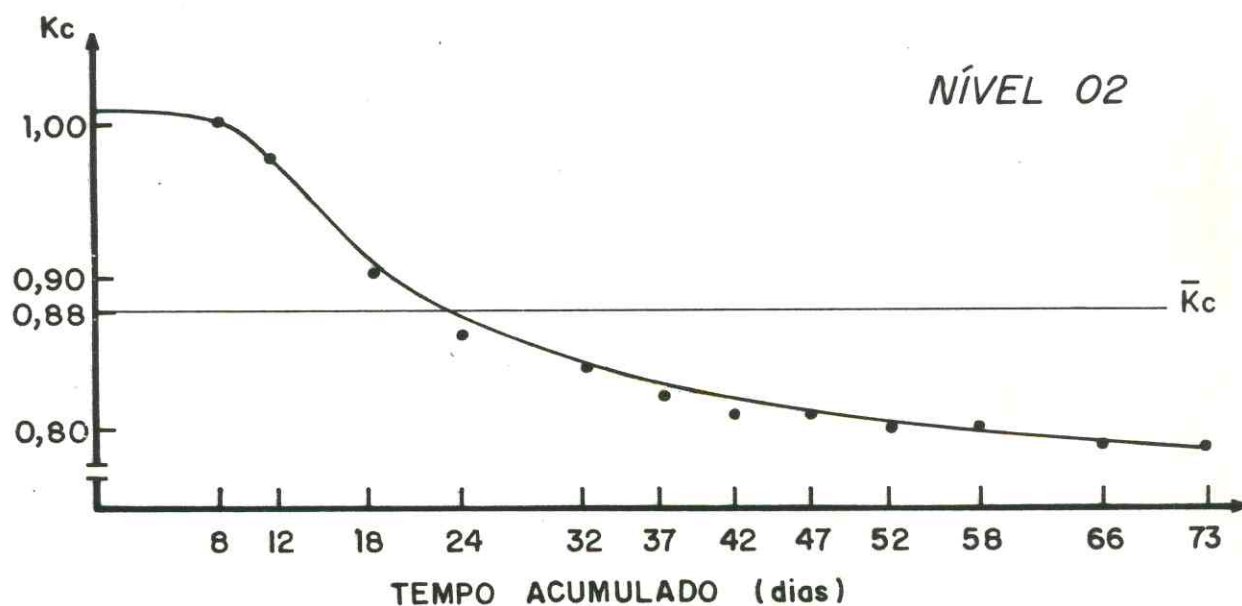
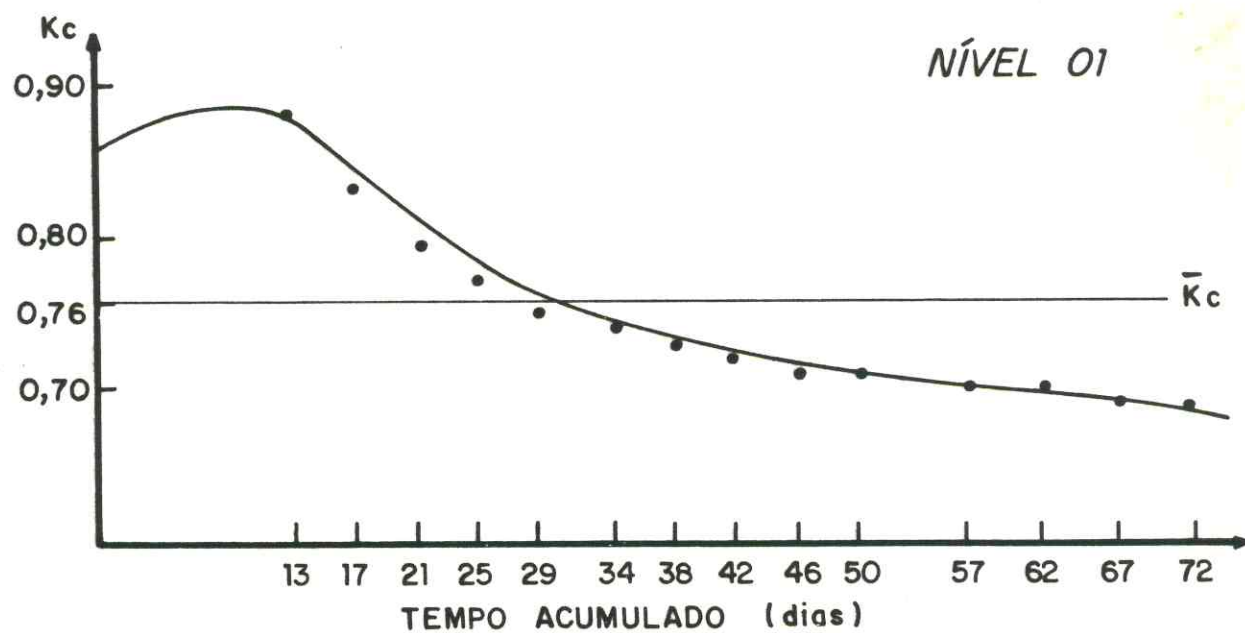


FIGURA 10 - Variação dos valores corrigidos do Coeficiente de Cultura (K_c), durante o Balanço Hídrico da Cultura da Abóbora.

similar e para o mesmo período de desenvolvimento da cultura (setembro/novembro).

Os valores de K_i para os níveis de irrigação 01 e 02, para a cultura da abóbora nos diversos períodos do balanço hídrico, encontram-se nas TABELAS 12 e 13 respectivamente.

Os coeficientes de irrigação também foram corrigidos relacionando-se as curvas dos valores acumulados de ETA/ECA, obtidos por análise de regressão linear com o tempo acumulado. Os valores de K_i médios conseguidos foram de 0,57 para o nível 01 e 0,66 para o nível 02.

6 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, permitem as seguintes con-
clusões:

(a) O Nível 01 de Irrigação, correspondente a um poten-
cial matricial de água do solo de $-0,3\text{atm}$, proporcio-
nou a aplicação de uma lâmina total de água de $327,6\text{mm}$,
distribuídos em 18 aplicações, equivalendo a uma dota-
ção diária média de $4,6\text{mm}$, com turno de rega variando
de 3 a 5 dias.

Para o Nível 02 de Irrigação, caracterizado pelas exi-
gências de um potencial matricial de $-0,5\text{atm}$, a lâmi-
na total de água aplicada foi de $388,8\text{mm}$, distribuí-
dos em 13 irrigações, perfazendo uma dotação diária
média de $5,3\text{mm}$, sendo que o intervalo entre irriga-
ções variou de 4 a 8 dias.

(b) O fluxo de evapotranspiração real médio da cultura da
abóbora para os períodos estudados foi de $4,7\text{mm}$ para
o Nível 01 e $5,4\text{mm}$ para o Nível 02.

(c) A percolação profunda (Q_L) apresentou valores bastan-
te elevados, principalmente no Nível 01, para a pro-
fundidade de 0 - 40cm. Entretanto, com relação ao per-
fil total estudado 0 - 80cm, os valores de Q_L em âm-
bos os níveis, se mostraram praticamente insignifican-
tes.

(d) Obteve-se um coeficiente de cultura (K_c) médio de
 $0,75$ e $0,88$ e um coeficiente de irrigação (K_i) de $0,57$
e $0,66$, respectivamente para os níveis 01 e 02.

7 - RECOMENDAÇÕES

- (a) De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, recomenda-se para o Vale do Curu-CE e regiões similares, irrigar a cultura da abóbora (**Cucurbita maxima**, Duch.), quando a umidade do solo corresponder a um potencial matricial de $-0,5\text{atm}$.
- (b) Em trabalhos onde a umidade do solo é controlada por tensiometria é aconselhável instalar e aferir os tensiômetros antes do plantio da cultura.
- (c) Visando a continuidade deste trabalho, recomenda-se testar outros cultivares submetidos a diferentes estresses hídricos.

8 - ABSTRACT

The present work was done in the Experimental Farm of Vale do Curu, Federal University of Ceará, Brazil. While studying the water dynamics in pumpkin (*Cucurbita maxima*, Duch.) in an alluvial soil, the actual evapotranspiration of the culture was determined, through water balance, obeying the methodology suggested by ROSE & STERN (1967).

During the balance a detailed appreciation of all entries and exits, storage variation of water that occurred in the soil control volume, from 0 - 40 cm and 0 - 80 cm deep was done, in a time interval of 73 days.

The soil moisture variation through the profile was controlled by tensiometers installed at 10, 30, 50, 70 and 90 cm of depth and the irrigations obeyed two levels of matric potential, -0,3 and -0,5 atmospheres.

The mean actual evapotranspirations (ETA) of the culture, during the water balance were 4,7 mm/day and 5,4 mm/day for -0,3 and -0,5 atm of matric potential, respectively.

Through the method of instantaneous profile, it was determined the non saturated hydraulic conductivity, according to HILLEL et alii (1972) modified by SAUNDERS (1978).

The culture (Kc) and irrigation (Ki) coefficients were also determined in the considered period. The mean Kc obtained for the level 01 (-0,3 atm) was 0,75 and for the level 02 (-0,5 atm) was 0,88, while the mean Ki was 0,57 and 0,66 for the levels 01 and 02, respectively.

9 - LITERATURA CITADA

- AGUIAR, M.J.N.; REICHARDT, K. & SANTOS, J.M. - Evapotranspiração em Phaseolus vulgaris, L. Estimada por Evapotranspirômetros e Fórmulas Empíricas. In: III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem, Fortaleza. Anais, V. 3, p. 75-84. 1975.
- ARAGÃO JUNIOR, T.C. - Determinação do Coeficiente da Cultura (Kc) para a Cenoura (Dacus carota, L.), pelo Método do Balanço Hídrico. Fortaleza, UFC. 1982. 45 p. (Dissertação de Mestrado).
- ARRUDA, F.B. - Uso da Água na Produção Agrícola. In: Seminário sobre Manejo de Água na Agricultura. Campinas-S.P., 1987. Fundação Kargil. 226p.
- BERLATO, M.A. & MOLLION, L.C.B. - Evaporação e Evapotranspiração. Instituto de Pesquisas Agronômicas. Boletim Técnico, Porto Alegre, 7:3 - 95, 1981.
- BERNARDO, S. - Manual de Irrigação. Viçosa, UFV, Impr. Univ. 1984, 463p.
- BLACK, T.A.; GARDNER, N.R. & TANNER, C.B. - Water Storage and Drainage Under a Row Crop on a Sandy Soil. Agron. J. 62:48 - 51. 1970.
- BRUNINI, O.; GROHMANN, F. & SANTOS, J.M. - Balanço Hídrico em Condições de Campo para Dois Cultivares de Arroz sob Duas Densidades de Plantio. Campinas-S.P., Rev. Bras. de Ciên. do Solo. 5:1 - 6. 1981.
- BRUNINI, O. - Consumo Hídrico e Parâmetros Ecológicos da Cultura do Milho. In: Simpósio sobre o Manejo de Água na Agricultura. Campinas-S.P. Fundação Kargil. 226p. 1987.

- CADIMA, A.Z.; REICHARDT, K. & LIBARDI, P.L. - Condutividade Hidráulica de um Latossolo Vermelho-Amarelo (haplustox) em Condições de Campo. Rev. Teobroma 11(2) : 145-155. CPC. Ilheus-BA, 1981.
- CASTRO, P.T. - Evapotranspiração Atual e Potencial de uma Cultura de Milho (Zea mays, L). Piracicaba. ESALQ/USP. 1979. 61p. (Dissertação de Mestrado).
- CHOUDHURY, N.E. & MILLAR, A.A. - Retenção e Movimento da Água em Latossolo Vermelho-Amarelo Irrigado de Petrolina-PE. Rev. Bras. de Ciên. do Solo. 7:21-26. 1983.
- COELHO, M.A. & OLIVEIRA, F.N.S. - Procedimento para Determinação de Curva Característica da Água do Solo com o Emprego de Tensiômetro. Convênio FINEP/FCPC - Estudo do Solo do Ceará. Fortaleza, 1984. 28p.
- CUNHA, J.B. & MILLO, J.L. - Dados Climatológicos do Nordeste, MINTER-SUDENE. Recife. 1984. 56p.
- DENMED, O.T. & SHAW, R.H. - Availability of Soil Water to Meteorological Conditions. Agron. J. 54:385-390, 1962
- DOOREMBOS, J. & PRUITT, W.O. - Crop Water Requirements. Revisid, Roma. FAO. 1975. p.144 (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- EL-HUSNY, E.C. - Estudo Comparativo de Dois Métodos de Determinação da Condutividade Hidráulica sob Condições de Campo. Fortaleza, UFC. 1979. 75p. (Dissertação de Mestrado).
- FERRAZ, E.S.B. - Estudo da Evapotranspiração Real Através da Medida de Umidade do Solo por Moderação de Neutrons. Piracicaba, CENA, 1972. Boletim Cient. Nº 5, 40p.
- FILGUEIRA, F.A.R. - Manual de Olericultura. São Paulo-SP. 2ª Edição. 338p. 1981.
- HARGREAVES, G.H. - "The Evaluation of Water Deficiencies", Age of Changing Priorities for Land and Water,, Irrigation and Drainage Speciality Conference Spokane, Was

- hington, 1972. American Society of Civil Engineers, p. 227-290.
- HARGREAVES, G.H. - Potential Evapotranspiration and Irrigation Requirements for Northeast, Brazil, Salt Lake City, Utah State University/USAID, 1974, 55p.
- HILLEL, D. - Solo e Água Fenômenos e Princípios Físicos - Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Porto Alegre, p.231. 1970.
- HILLEL, D.; KRENTOS, V.D. & STYLIANOV, Y. - Procedure and Test of an Internal Drainage Method for Measuring Soil Hydraulic Conductivity in Situ. Sci. 114:395-400, 1972.
- JENSEN, M.E. - Evaluating Irrigation and Drainage. 1967. 95 : 83-98.
- MAGALHÃES, C.A. - Determinação do Coeficiente de Cultura (Kc) para o Pimentão (Capsicum anuum, L) pelo Método do Balanço Hídrico. Fortaleza, UFC. 1982. 40p. (Dissertação de Mestrado).
- MARCA, O.R. - Determinação da Evapotranspiração do Consórcio Feijão-Milho-Algodão pelo Método do Balanço Hídrico e através de Fórmulas Empíricas sob regime de Irrigação por Sulcos. Fortaleza, UFC. 1985. 83p. (Dissertação de Mestrado).
- PARENTE, A.J.C. - Classificação Climatológica de Koeppen. Ap. de Agrometeorologia - FFALM, Bandeirantes-PR. 1984. 24p.
- PRUITT, W.O.; LAURENCE, F.J. & OETTINGEN, S. von. - Water Use by Crops as Affected by Climate and plant factors. California Agriculture, 26(10) : 10-14, 1972.
- REICHARDT, K. - Evaporação da Água do Solo. Piracicaba, CENA. 1972. 30p. (Boletim Científico Nº 4).
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SAUNDERS, L.C.U. & CADIMA, A.Z. - Dinâmica da Água em um Solo Cultivado com Milho. Rev. Bras. Ciên. do Solo. 3:1-15, 1979.

- REICHARDT, K. - Processos de Transferência do Sistema Solo-Planta-Atmosfera. 4ª Ed. Campinas, Fundação Kargil, 1985. 466p.
- REICHARDT, K. - A água em sistemas agrícolas. 1ª Ed. 188p. Editora Manole Ltda. São Paulo-SP. 1987.
- ROSE, C.W. & STERN, W.R. - Determination of Witk-dramal of from Soil by Crop Roots as Function of Dept and Time. Aus. J. Soil. Rev. 5:11-19. 1967.
- SAUNDERS, L.C.U. - Métodos de Determinação e Variabilidade Espacial da Condutividade Hidráulica sob Condições de Campo. Piracicaba-SP, ESALQ, 1978, 71p. Tese (Ph.D.).
- SAUNDERS, L.C.U.; CASTRO, P.T.; BARBOSA, C.E. & MATIAS, J.F. - Dinâmica da Água no Solo com a Cultura do Feijão-de-Corda em Aluvião Eutrófico. Ciên. Agron. 12 (1/2):141-148. Fortaleza. 1981.
- SAUNDERS, L.C.U.; CASTRO, P.T.; BEZERRA, F.M.L. & PEREIRA, A.L.C. - Evapotranspiração Atual da Cultura do Feijão-de-Corda na Micro-Região Homogênea de Quixeramobim. Ciên. Agron. 16(1) : p. 9-12, Fortaleza. 1985.
- SANTOS, G.A.S. - Uso Consutivo da Cultura do Melão. Fortaleza, UFC. 71p. 1985. (Dissertação de Mestrado).
- SANTOS, M.F. - Efeito da Época de Plantio e do Potencial Matricial na Produtividade de Híbridos de Milho, Cultivados sob Regime de Irrigação. Fortaleza, 1966. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA, M.A. - Efeito da Lâmina de água e de Adubação Nitrogenada sobre a Produção de Feijão-de-Corda, Utilizando o Sistema de Irrigação por "Aspersão em Linha". Viçosa-MG. 1978. (Tese de Mestrado).
- SILVA, M.A.; CHOUDHURY, F.N.; GUROVICH, L.A. & MILLAR, A.A. - Metodologia para determinar as necessidades de água das culturas irrigadas. Pesquisa em Irrigação no Trópico Semi-Árido: solo, água, planta. Petrolina-PE. 1981. 85p. (EMBRAPA-CPATSA). Bol. de Pesq. Nº 4.

VILLA NOVA, N.A. - Estimativa da Demanda Hídrica das Culturas: Simpósio sobre Manejo de Água na Agricultura. Fundação Kargil. Campinas, 226p. 1987.