

**BALANÇO HÍDRICO NO SOLO E CONSUMO DE ÁGUA PELA  
CULTURA DE FEIJÃO ( *Phaseolus vulgaris* L. ) IRRIGADO.**

**MANUEL ENRIQUE GAMERO GUANDIQUE**

Engenheiro Agrônomo

Orientador: **Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de Concentração: Agrometeorologia.

**PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Dezembro - 1993**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da  
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

---

Gamero Guandique, Manuel Enrique  
G912b Balanço hídrico no solo e consumo de água pela cul-  
tura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado.  
Piracicaba, 1993.  
94p. ilus.

Diss.(Mestre) - ESALQ  
Bibliografia.

1. Água de irrigação - Consumo 2. Feijão irrigado -  
Evapotranspiração 3. Solo - Balanço hídrico I. Escola  
Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 635.652

## **HOMENAJE**

*A mi querida madre Sofia,  
por todo el amor, coraje y abnegación  
durante toda la vida,  
y que apesar de la distancia  
he aqui uno de sus frutos cosechados.  
Gracias*

## **OFREZCO**

*A mi viejita mama Maria,  
por ser esa mujer maravillosa y fuerte  
por todo el amor que siempre me diste  
y por el orgullo de ser tu nieto*

## **DEDICO**

*A mi querida esposa Alejandra,  
que siempre me insentivo con su amor,  
humildad y trabajo,  
en todas las horas de nuestras vidas,  
y por haberme dado esos dos tesoros  
frutos de nuestro amor*

*A mis hijos Federico y .....Lorenzo*

## AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Paulo Leonel Libardi, pela orientação, apoio e amizade.
- Ao Prof. Nilson Augusto Villa Nova, pelo incentivo, apoio na elaboração deste trabalho e amizade.
- Aos Professores do Departamento de Física e Meteorologia, pelos ensinamentos e amizade.
- Aos Professores Luiz Roberto Angelocci, Sergio Moraes, Durval Dourado Neto e José Antonio Frizzone pelas sugestões na elaboração e revisão deste trabalho, assim como pela amizade.
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de estudos.
- A toda minha família pelo apoio e carinho que sempre me ofereceram.
- A Roberto Anselmo (bebe) (*in memoriam*) pelo apoio que sempre me ofereceu em todos os momentos que eu precisei, por seu carinho e amizade.
- Aos Srs. Antonio e Laura Menucci (*in memoriam*), João e Anacleta Fernandes, por seu carinho e amizade.
- Aos amigos Marisa Camargo Duarte e José Alfredo Duarte, por sua amizade.
- Aos amigos da Pós-Graduação, Inês, Lazinski, Adriróseo, Renato, Cláudio, Roberto e Wagner pela sua amizade.
- Ao Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> Andrés Enrique Lai Reyes, pela sua ajuda na terminação deste trabalho e amizade.
- A todos os funcionários do Departamento de Física e Meteorologia, pela amizade e colaboração durante o curso de Pós-Graduação.
- Às funcionárias da Seção de Pós-Graduação, pela atenção e amizade.
- Aos funcionários do Departamento de Física e Meteorologia, Edivaldo e Francisco, pela ajuda na coleta dos dados meteorológicos, e aos Srs. Luiz e José pelo ajuda no trabalho de campo.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	x
<b>RESUMO</b> .....	xi
<b>SUMÁRIO</b> .....	xiii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
2.1. A cultura do feijão .....	3
2.2. Balanço hídrico .....	6
2.2.1. Balanço hídrico no solo .....	7
2.2.2. Balanço hídrico climatológico .....	9
2.3. Evapotranspiração .....	10
2.4. Drenagem Profunda .....	15
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	17
3.1. Localização .....	17
3.2. Clima .....	17
3.3. Solo .....	19
3.4. Parcela experimental .....	21
3.5. Plantio da cultura e práticas culturais .....	22
3.6. Equipamentos utilizados no campo .....	23
3.6.1. Tensiômetros .....	23
3.6.2. Tanque Classe "A" .....	25
3.6.3. Sistema de irrigação .....	26

3.7. Critério de irrigação .....	26
3.8. Procedimentos experimentais .....	26
3.9. Balanço hídrico no solo .....	28
3.9.1. Precipitação e irrigação .....	28
3.9.2. Escoamento Superficial .....	29
3.9.3. Drenagem Profunda .....	29
3.9.4. Evapotranspiração .....	31
3.9.5. Variação de armazenagem .....	31
3.10. Balanço hídrico climatológico .....	33
3.10.1. Método de Penman .....	34
3.10.2. Método de Penman Modificado .....	35
3.10.3. Método de Thornthwaite .....	35
3.10.4. Método do Tanque Classe "A" .....	36
3.11. Parâmetros da cultura .....	36
3.11.1. Produção .....	36
3.11.2. Índice de área foliar .....	37
3.11.3. Eficiência de uso de água .....	37
3.12. Determinação do coeficiente de cultura .....	38
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
4.1. Cultura do feijão .....	39
4.2. Evapotranspiração medida .....	41
4.2.1. Balanço hídrico no solo .....	41
4.3. Evapotranspiração estimada .....	44
4.3.1. Método de Penman .....	45
4.3.2. Método de Penman Modificado .....	46
4.3.3. Método de Thornthwaite .....	47
4.3.4. Método do Tanque Classe "A" .....	48

4.4. Evapotranspiração real x Evapotranspiração máxima .....	49
4.5. Produção .....	52
4.6. Índice de área foliar .....	53
4.7. Eficiência de uso de água .....	56
4.8. Coeficiente de cultura calculado e estimado .....	56
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	59
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	60
<b>ANEXO 1</b> .....	67
<b>ANEXO 2</b> .....	79

## LISTA DE QUADROS

Quadro	<u>Página</u>
1. Classificação do ciclo vegetativo do feijoeiro e coeficiente de cultura segundo DOORENBOS & KASSAN (1979) e GEPTS & FERNANDEZ (1982). .....	4
2. Elementos do clima. Valores médios para o período experimental em decêndios .....	19
3. Características físicas do solo na área experimental obtidos por COSTA (1986).....	20
4. Características Químicas do solo na área experimental obtidos por COSTA (1986).....	20
5. Valores dos parâmetros utilizados para o cálculo da condutividade hidráulica segundo LIBARDI et al. (1980).....	31
6. Estágios fenológicos da cultura do feijão medidos e valores médios obtidos por DOORENBOS & KASSAN (1979) entre parenteses ...	40
7. Valores médios de evapotranspiração real calculados pelo método do balanço hídrico no solo em decêndios .....	42
8. Valores médios de evapotranspiração potencial calculados pelo método de Penman em decêndios .....	45
9. Valores médios de evapotranspiração potencial calculados pelo método de Penman Modificado em decêndios.....	46
10. Valores médios de evapotranspiração potencial calculados pelo método de Thornthwaite em decêndios.....	47
11. Valores médios de evapotranspiração potencial calculados pelo método do Tanque Classe "A".....	48



12. Valores médios de ETR e ETM determinados para todo o período analisado em decêndios.....	49
13. Valores médios de ETR e ETM nas 4 fases da cultura .....	50
14. Valores médios de produção e eficiência de uso de água pela cultura do feijão .....	52
15. Produtividade média de feijão da seca.....	52
16. Valores médios de IAF nas 4 fases .....	53
17. Valores de evapotranspiração potencial estimados para todos os métodos nas 4 fases de desenvolvimento .....	56
18. Valores médios dos coeficientes de cultura calculados e estimados nas 4 fases de desenvolvimento .....	57

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura</b>	<b><u>Página</u></b>
1. Área experimental.....	18
2. Esquema do tensiômetro no campo .....	24
3. Esquema do Tanque Classe "A" .....	25
4. Curva de retenção para a camada de 0 a 30 cm ajustada para a equação de VAN GENUCHTEN (1980) .....	32
5. Distribuição dos estágios fenológicos da cultura de feijão.....	41
6. Valores diários de drenagem profunda e gradiente de potencial para a profundidade de 30 cm.....	43
7. Variação temporal de ETR e ETM nas 4 fases da cultura.....	51
8. Comportamento do IAF ao longo do ciclo da cultura.....	55
9. Comportamento da ET e do IAF para o ciclo da cultura.....	55

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela</b>	<b><u>Página</u></b>
1. Valores diários dos parâmetros climáticos utilizados para o cálculo do balanço hídrico climatológico .....	68
2. Valores de coeficiente de conversão do Tanque Classe "A" (Kp) segundo DOORENBOS & KASSAN (1979).....	71
3. Duração máxima da insolação diária (N).....	72
4. Pressão de saturação do vapor d'água (es) em mmHg.....	73
5. Radiação extra-terrestre no topo da atmosfera (Qo) em cal/cm <sup>2</sup> .dia.....	74
6. Evapotranspiração tabular não corrigida em (mm) segundo Thornthwaite.....	75
7. Distribuição das chuvas e irrigações no período estudado.....	76
8. Valores de gradiente de potencial, umidade, condutividade hidráulica e drenagem profunda na profundidade de 30 cm.....	77
9. Valores médios de índice de área foliar para as quatro fases de desenvolvimento do feijão .....	78

# BALANÇO HÍDRICO NO SOLO E CONSUMO DE ÁGUA PELA CULTURA DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) IRRIGADO.

**Autor: MANUEL ENRIQUE GAMERO GUANDIQUE**

**Orientador: Prof. Dr. PAULO LEONEL LIBARDI**

## **RESUMO**

Em um experimento, desenvolvido no município de Piracicaba - SP, na área experimental do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" ESALQ/USP, determinou-se a evapotranspiração real (ETR) e máxima (ETM) para a cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado, através do balanço hídrico no solo e climatológico respectivamente, comparando-as com as evapotranspirações potenciais (ETo) estimados pelos métodos de Penman, Penman Modificado, Thornthwaite e Tanque Classe "A", para a determinação dos coeficientes de cultura (Kc) nas distintas fases de desenvolvimento ao longo do ciclo.

Os resultados mostraram: a) os valores médios de evapotranspiração real foram superiores aos valores de evapotranspiração máxima calculados pelos métodos de Penman, Thornthwaite e Tanque Classe "A", sendo que para o método de Penman Modificado os valores obtidos não apresentaram diferenças; b) Os valores de coeficiente de cultura (Kc) médios calculados obtidos nas condições do experimento mostraram que: para os métodos de Penman e Thornthwaite os resultados não apresentaram bons resultados quando comparados aos valores recomendados pela FAO; já para os métodos de Penman

Modificado e Tanque Classe "A" os valores encontrados apresentaram um comportamento semelhante aos recomendados pela FAO; c) os valores de drenagem profunda para o período estudado foram considerados desprezíveis e d) o cultivo do feijão durante o período de inverno mostrou ser viável em nossa região.

**SOIL WATER BALANCE AND WATER CONSUMPTION BY AN  
IRRIGATED BEAN ( *Phaseolus vulgaris* L. ) CROP.**

**Author: MANUEL ENRIQUE GAMERO GUANDIQUE**

**Adviser: PAULO LEONEL LIBARDI**

**SUMMARY**

The experiment, was carried out, in the experimental fields of the Physics and Meteorology Department of the Escola Superior de Agricultura " Luiz de Queiroz " ESALQ/USP, Piracicaba (SP) Brasil. Actual (ETR) and maximum evapotranspiration (ETM) values were determined for irrigated beans ( *Phaseolus vulgaris* L. ) by means of soil and climatologic water balance respectively. Results were compared with the reference evapotranspiration values (ET<sub>o</sub>) estimated by the Penman method, Modified Penman method, Thornthwaite method and Class "A" pan method, in order to determine crop coefficients (K<sub>c</sub>) in the development stages of the crop cycle.

The following could be concluded: a) mean values of actual evapotranspiration were higher than mean values of the maximum evapotranspiration calculated by Penman, Thornthwaite and Class "A" pan methods. Modified Penman method values, however did not present difference; b)

mean values of crop coefficient ( $K_c$ ) calculated from Penman and Thornthwaite methods were not good when compared with the FAO recommended values but, from the Modified Penman and Class "A" pan methods results presented similar behaviour as the recommended by FAO; c) deep drainage values for the studied period were negligible and; d) the bean crop showed to be viable during the winter period in this region.

## **1. INTRODUÇÃO**

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), ocupa uma posição de grande importância na alimentação brasileira, e mesmo com novas pesquisas e técnicas recomendadas, ainda a sua produtividade média tem-se mantido em níveis muito baixos, 488 kg/ha para o feijão das secas (MAZZEI et al., 1992).

Como sabemos a produção agrícola é fortemente influenciada pelas condições edafoclimáticas e físico-químicas do local. Assim, a água e os nutrientes são fundamentais para a obtenção de uma ótima produção, sendo a disponibilidade deles na hora certa e na quantidade adequada, responsável pelo aumento nos lucros. Logo, a falta de água por períodos muito longos, devido principalmente à distribuição irregular das chuvas, tem sido um dos principais fatores limitantes da produção, tornando, nesses casos, a técnica de irrigação uma ferramenta adequada para suprir a deficiência hídrica da cultura.

O conhecimento da demanda hídrica pela cultura, nos seus distintos estágios, é, portanto, um ponto chave que auxiliará na estimativa da necessidade de irrigação.

Para que a irrigação se torne uma prática eficiente, além de conhecermos as condições da demanda hídrica, a movimentação da água no perfil do solo tem de ser estabelecida. Normalmente, isto é feito através das propriedades de condução e retenção da água no solo.

Por outro lado, no caso de uma agricultura irrigada viável, a armazenagem da água no solo torna-se tão importante quanto a irrigação ou a



própria evapotranspiração, já que numa agricultura racional, interessa-nos um certo volume de solo que será explorado pelas raízes e dentro do qual o nível de água disponível para as plantas deve ser mantido no tempo, procurando ainda, evitar perdas abaixo da profundidade das raízes.

Vários são os métodos que visam determinar a demanda hídrica para os diferentes estágios de desenvolvimento das culturas. Cada um deles possui suas características próprias, quanto aos parâmetros necessários para sua estimativa. Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo determinar e comparar os valores de evapotranspiração medidos através do balanço hídrico no solo e os estimados pelas equações do Tanque Classe "A", Penman, Penman Modificado e Thornthwaite, nos diferentes estágios de desenvolvimento de uma cultura de feijão e determinar os respectivos valores de coeficientes de cultura nas diferentes fases de desenvolvimento, para todos os métodos estudados.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. A CULTURA DO FEIJÃO**

Originário da América Central, o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), é uma planta anual, herbácea, com ciclo vegetativo variável entre 75 a 120 dias e que apresenta hábitos de crescimento do tipo determinado e indeterminado.

Segundo DOORENBOS & KASSAN (1979) a cultura do feijão pode-se desenvolver com temperaturas médias diurnas entre 10° C e 27° C, sendo que a temperatura ótima para a produção situa-se na faixa dos 15° C aos 20° C. Os mesmos autores indicam que as necessidades hídricas exigidas para a produção máxima do feijoeiro, estariam entre 300 a 500 mm, onde a variação deste valor é dependente das condições climáticas locais. FANCELLI (1987) indica que a cultura do feijão exige um mínimo de 250 mm de água, sendo muito mais importante a sua distribuição do que a disponibilidade total, refletindo-se principalmente nos períodos considerados críticos quanto à exigência de água: emergência, o início do florescimento e a formação de vagens.

O ciclo completo do feijoeiro tem sido classificado em várias etapas como feito por DOORENBOS & KASSAN (1979) que a dividiram em 5, Quadro 1. Já outros autores GEPTS & FERNANDEZ (1982) citado por FANCELLI (1992), fazem uma mais específica e diferenciada classificação das fases vegetativa e reprodutiva, Quadro 1.

QUADRO 1. Classificação do ciclo vegetativo do feijoeiro e coeficiente de cultura segundo DOORENBOS & KASSAN(1979) e GEPTS & FERNANDEZ (1982) para a cultura do feijão.

DOORENBOS & KASSAN (1979):	
Estágio de Desenvolvimento da Cultura:	Coeficiente de Cultura por Estágio:
Estágio I - Emergência até 10% do desenv. vegetativo (DV)	I 0.30 - 0.40
Estágio II - 10% do DV até 80% do DV	II 0.70 - 0.80
Estágio III - 80% do DV até 100% do DV (inclusive frutos formados)	III 1.05 - 1.20
Estágio IV - Maturação	IV 0.65 - 0.75
Estágio V - Colheita	V 0.25 - 0.30
GEPTS & FERNANDEZ (1982):	
FASE VEGETATIVA	FASE REPRODUTIVA
Vo= germinação	R5= primeiros botões em 50% das plantas.
V1= 50% dos cotilédones aparecem ao nível do solo.	R6= abriu a primeira flor em 50% das plantas.
V2= folhas primárias em 50% das plantas estão desdobradas.	R7= primeira vagem em 50% das plantas.
V3= primeira folha trifoliada em 50% das plantas estão desdobradas.	R8= primeira vagem com semente em 50% das plantas.
V4= terceira folha trifoliada em 50% das plantas estão desdobradas.	R9= maturação fisiológica, mudança da cor em 50% das plantas.

O sistema radicular do feijoeiro, embora possa atingir profundidades no perfil do solo entre 1 a 1,5 metros, como indicado por DOORENBOS & KASSAN (1979), possui uma distribuição lateral de raízes abundante e superficial, concentrando-se principalmente nos primeiros 20 a 30 cm do solo ( INFORZATO & MIYASAKA 1963; REICHARDT et al. 1974; STONE et al. 1988 e FANCELLI & DOURADO NETO 1992). Trabalhos desenvolvidos com feijão irrigado tem mostrado também valores de profundidade efetiva do sistema radicular ao redor de 30 cm ( CAIXETA et al. 1983; OLIVEIRA & SILVA 1990 e PIRES et al. 1991 ).

A produtividade da cultura do feijão tem-se mantido estabilizada nestes últimos anos em torno de 500 Kg/ha, apesar do potencial produtivo da espécie situar-se próximo dos 3000 Kg/ha, FANCELLI (1987).

O índice de área foliar da cultura mostra-se como um parâmetro eficaz para indicar a capacidade fotossintética das culturas, sendo sua determinação importante em estudos que relacionam nutrição de plantas, competição e relações solo-planta-atmosfera ( LUCHIARI JUNIOR 1978; BERGAMASCHI et al. 1988 e OLIVEIRA & SILVA 1990 ).

A eficiência da utilização da água pela cultura em relação ao rendimento obtido é um parâmetro de grande importância, sobre tudo em locais onde a atividade de produção de feijão é diretamente determinada pela prática da irrigação, refletindo na rentabilidade e eficiência da produção. Para a cultura do feijão, o valor da eficiência de uso da água (E.U.A.) no caso da produção de grãos com teor de umidade de 10 %, é da ordem de 0.3 a 0.6 Kg/m<sup>3</sup>, segundo DOORENBOS & KASSAN (1979).

## 2.2. BALANÇO HÍDRICO

O estudo das necessidades hídricas das culturas é de grande importância, sendo que a metodologia do balanço hídrico, é uma das mais utilizadas para tal determinação. O resultado final obtido com esta técnica é o processo de evapotranspiração, responsável pelo valor das exigências hídricas de uma cultura ao longo do seu ciclo, para as condições do local estudado.

O balanço hídrico pode ser estimado através de uma série de dados climatológicos disponíveis em um local, como também por meio de dados obtidos num volume de controle no solo. Assim, estamos nos referindo aos balanços hídricos climatológicos e no solo respectivamente. Para os dois casos podem ser estabelecidos intervalos de tempo variáveis que dependerão do estudo a ser realizado. São muitos os trabalhos desenvolvidos com o uso destas metodologias, que mostram limitações para a utilização destes métodos sendo algumas delas a determinação de certos componentes do balanço, e que provocarão alterações às vezes significativas, alterando a eficiência do método escolhido quanto à confiabilidade dos resultados obtidos, entre eles a evapotranspiração e a drenagem profunda.

Segundo TANNER (1968) o componente evapotranspiração pode ser determinado através de três métodos classificados em: os de balanço hídrico, os micrometeorológicos e os empíricos. Posteriormente, BURMAN et al. (1980) consideraram a determinação da evapotranspiração em dois grandes grupos: o grupo de medidas diretas: que vem a ser constituído basicamente pelos lisímetros e aquele que utiliza um volume de solo controlado (balanço hídrico no solo), e o grupo de medidas indiretas: ou seja aquele que utiliza para a estimativa da evapotranspiração fórmulas empíricas, semi-empíricas e evaporímetros (balanço hídrico climatológico).

### 2.2.3. BALANÇO HÍDRICO NO SOLO

O balanço hídrico realizado diretamente em condições de campo permite um acompanhamento das relações hídricas de uma cultura durante suas distintas fases de crescimento e desenvolvimento, tornando-o desta maneira importante para o manejo racional dos recursos hídricos e edáficos, e para a maximização da produtividade. Porém, alguns dos seus componentes, evapotranspiração e drenagem profunda, são de difícil determinação fazendo com que ocorra, às vezes, sub ou superestimação dos seus valores, prejudicando o valor final obtido no balanço hídrico.

O balanço hídrico no solo, determinado através de um volume de controle, utiliza a equação geral de conservação de massa na forma integral ou diferencial, para a determinação dos seus componentes (precipitação, irrigação, escoamento superficial, drenagem profunda, variação de armazenagem e evapotranspiração), sendo esta equação utilizada em trabalhos como os de LUCHIARI JUNIOR (1978), REICHARDT et al. (1979), SAKAI (1989), SAAD (1991), e que tem sido recomendado por ROSE & STERN (1967), BARRADA (1971), e REICHARDT (1985).

Para a determinação dos componentes do balanço hídrico em condições de campo, são utilizadas várias técnicas. Para as variáveis precipitação e irrigação, a maneira mais usual de medida é através de pluviômetros e/ou pluviógrafos (ROSE, 1966; SLATYER, 1967; REICHARDT, 1974). Estudos realizados por DOWNEY (1972), mostraram haver erros envolvidos na determinação destes componentes da ordem de 1 % a 5 %.

O escoamento superficial, devido às suas proporções de grandeza, quanto ao volume de água envolvido, declive do local e tipo de solo, torna-se de

difícil determinação como foi verificado por ROSE, 1966; CRUCIANI, 1972; REICHARDT, 1985 e MENDES et al. 1992.

A determinação do armazenamento da água do solo é feita através da integração de perfis consecutivos de umidade do solo. As técnicas utilizadas para medir a umidade no perfil considerado são varias, como a gravimétrica, a de sonda de neutrons e a de tensiômetros. Onde também existem erros envolvidos na sua determinação como os encontrados por DOWNEY (1972), estimados em torno de 10 %.

Na elaboração do balanço hídrico nas condições de campo, uma grande dificuldade encontra-se na medição da drenagem profunda, obtida mediante a utilização da equação de BUCKINGHAN-DARCY, que é dada pelo produto da condutividade hidráulica, a umidade volumetrica considerada no perfil de solo, o gradiente de potencial total do perfil de solo e o período de tempo considerado. Assim, a drenagem profunda e ascensão capilar são muitas vezes negligenciadas ou incluídas como parte do armazenamento de água ou evapotranspiração da cultura (ROSE, 1966), sendo em certas condições responsável em valores elevados de até 30 % a 50 % do balanço hídrico total, influenciando a estimativa da evapotranspiração (VACHAUD et al. 1973; REICHARDT et al. 1974; PEREIRA et al. 1974 e LOPES, 1989).

Uma causa de erro que também deve ser considerada na determinação do balanço hídrico é o intervalo de tempo utilizado. JENSEN (1967) constatou que diferentes períodos que variavam de 3 a 5 dias afetavam o valor do balanço hídrico, em erros de 15 % a 30 % na evapotranspiração. COSTA (1986) observou que em períodos chuvosos podem ocorrer limitações na medição diária da evapotranspiração devido à dificuldade na determinação da variação na lâmina de água armazenada no solo com precisão maior de 2 mm de água.

#### 2.2.4. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

A elaboração do balanço hídrico climatológico envolve o uso de séries de dados climatológicos disponíveis, sendo de preferência dados medidos no local ou aqueles fornecidos por uma estação meteorológica próxima para o cálculo do balanço hídrico climatológico utilizado no controle da irrigação ou estimativa da demanda hídrica pelas culturas.

Assim, o balanço hídrico determinado de forma indireta ou seja determinado através da estimativa da evapotranspiração com a ajuda de fórmulas empíricas, semi-empíricas ou evaporímetros, terá um grau de confiabilidade que dependerá dos dados climatológicos disponíveis no local, e que serão responsáveis pelo tipo de método de estimativa escolhido, sendo importante lembrar que para essa escolha os fatores período de estudo e custo também devem ser considerados TANNER (1968). Ainda, o tipo de método escolhido para a estimativa da evapotranspiração não necessariamente deverá ser um método consagrado universalmente, podendo ser um dos tantos métodos existentes e modificado para as condições do local PEREIRA (1990).

São muitos os métodos indiretos encontrados na literatura para a estimativa da evapotranspiração e são classificados de acordo com a variável independente em que a equação se baseia. Alguns autores como DOORENBOS & PRUITT (1984) apresentaram 31 métodos para a estimativa da evapotranspiração. Outros como SEDIYAMA (1972) e VILLA NOVA & REICHARDT (1989) citam a existência de aproximadamente 50 métodos. sendo todos eles unânimes no que diz respeito aos parâmetros que relacionam todos esses métodos, destacando-se os baseados apenas na temperatura do ar ou empíricos resultantes de correlações entre a evapotranspiração medida em condições padronizadas e elementos meteorológicos também medidos em pontos



igualmente padrões, como os métodos do Tanque Classe "A" DOORENBOS & PRUITT (1984), THORNTHWAITE (1948); no modelo aerodinâmico ou micrometeorológico que se baseia no princípio de transporte turbulento e dinâmica de fluídos, THORNTHWAITE & HOLZMAN (1939); no balanço de energia, BOWEN (1926), PRIESTLEY & TAYLOR (1972) e os métodos combinados que relacionam o poder evaporante do ar com o balanço de energia PENMAN (1956).

### 2.3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A água é o elemento mais importante no que se refere à distribuição das espécies vegetais no globo, do seu metabolismo principalmente por fazer parte de quase 98 % da sua constituição em massa e ser um elemento imprescindível no processo fotossintético. Ela se encontra armazenada em diferentes formas e locais, excluindo-se a atmosfera se observam três reservatórios naturais de água: a água armazenada no solo, os tecidos vegetais e os reservatórios de água livre na superfície terrestre. A evapotranspiração constitui-se das somas das perdas de água por evaporação do solo, através da mudança da fase líquida para a fase gasosa e da transpiração da planta que é a perda da água que foi utilizada nos diferentes processos metabólicos necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas (BURMAN et al. 1980).

THORNTHWAITE (1948) introduziu o termo evapotranspiração potencial ETo para designar a quantidade de água perdida por evaporação e por transpiração quando o solo se encontra com um conteúdo ótimo de água e cobertura vegetal completa e suficientemente grande para minimizar os efeitos provocados pela advecção do local. No caso de existir deficiência hídrica no solo, a condição potencial não mais será atingida, sendo seu valor restringido,

passando a nova condição a ser chamada de evapotranspiração real  $E_{Tr}$  com valor inferior à potencial.

Da mesma forma a evapotranspiração potencial assim definida (THORNTHWAITE, 1946; citado por CAMARGO & PEREIRA, 1990), é um elemento meteorológico fundamental, que corresponde ao processo oposto da chuva, sendo expressa na mesma unidade de medida (mm), tornando possível a estimativa da demanda hídrica da cultura e as condições ou disponibilidade de água no solo através do balanço hídrico climatológico.

Várias outras definições foram propostas, PENMAN (1956) definiu a evapotranspiração como sendo a perda de água para a atmosfera na unidade de tempo, de uma superfície totalmente coberta por vegetação verde e de porte baixo e altura uniforme, em pleno desenvolvimento vegetativo e sem restrições de água no solo. Entre os pesquisadores tal definição causou muita discussão, devido a imprecisão quanto ao tipo e altura da vegetação.

Em relação a polêmica gerada pela nova definição, JENSEN et al. (1971) definiram como evapotranspiração de referência uma superfície coberta com alfafa (*Medicago sativa* L.), com altura entre 30 e 50 cm, numa dada condição climática, sem restrição de água e com aproximadamente 100 m de área tampão (JENSEN, 1973).

DOORENBOS & PRUITT (1984) acrescentaram à definição de PENMAN (1956), que a superfície do solo deve estar completamente coberta com grama, com altura variando de 8 a 15 cm, sem restrição de água, em crescimento ativo, e denominaram de evapotranspiração potencial ou de referência  $E_{To}$ .

A determinação da evapotranspiração real  $E_{Tr}$ , que na prática é chamada como evapotranspiração da cultura  $E_{Tc}$ , é difícil, onerosa e sujeita a muitos erros. Então recomenda-se a utilização de métodos indiretos para a determinação da  $E_{To}$  e posteriormente considerar os fatores limitantes das

condições potenciais. Desta maneira o conhecimento de  $ET_c$  torna-se fundamental em projetos de irrigação, já que nos permite determinar a quantidade de água que devemos repor ao solo para manter o crescimento e a produção em condições ideais (MANTOVANI et al. 1988).

A evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas (PEREIRA, 1990). Já a intensidade da evapotranspiração depende principalmente dos seguintes fatores: elementos meteorológicos (radiação solar, vento, temperatura e umidade do ar), características físico-químicas do solo e do tipo de cobertura vegetal (De FINA & RAVELO, 1979). VILLA NOVA (1987) conclui em relação aos fatores que influenciam a evapotranspiração, que eles atuam em forma simultânea, não podendo considera-los separadamente, dizendo então que para uma dada região, quanto maior for a disponibilidade de energia solar, vento, temperatura do ar e quanto menor a umidade relativa do ar, maior deverá ser a taxa de evapotranspiração.

Um dos primeiros trabalhos envolvendo a determinação da evapotranspiração foi feito por LUCHIARI JUNIOR (1978), através do balanço hídrico no solo com profundidade de 120 cm, utilizando a cultura do feijão, em Piracicaba-SP, encontrando um valor médio de  $ET_r$  para o ciclo todo de 3,06 mm/dia. SILVEIRA & STONE (1979), determinaram em um solo Vermelho-Amarelo em Goiânia-GO, também para feijão e com a ajuda do balanço hídrico no solo, valores de  $ET_r$  num volume de controle de 60 cm de profundidade, sendo o valor médio encontrado de 2,73 mm/dia, ainda determinaram uma relação de 0,62 nas fases de germinação ao início da floração, de 0,77 na floração e 0,38 do desenvolvimento de vagens à maturação, entre a  $ET_r$  e a evaporação do Tanque Classe "A".

Outro trabalho também desenvolvido na região de Piracicaba-SP, para a determinação da ETr foi feito por (ENCARNAÇÃO, 1980), utilizando um evapotranspirômetro de nível constante, com Terra Roxa Estruturada, obtendo um valor médio para a cultura do feijão na fase que ia da emergência ao início da frutificação de 4,24 mm/dia, de 5,13 mm/dia do início da frutificação ao fim da frutificação e de 4,2 mm/dia do início da maturação até o fim do ciclo.

GUIMARÃES et al. (1982) trabalhando com o feijão das secas, com e sem irrigação em Goiânia-GO, para as varias fases de desenvolvimento da cultura encontraram medidas de evapotranspiração de 1,96 - 2,14 mm/dia; 5,27 - 7,26 mm/dia e 0,79 - 1,45 mm/dia, para as fases de 10 dias após a germinação, floração e início da maturação, respectivamente. FRIZZONE et al. (1982), encontraram um valor médio de ETr para os últimos 60 dias do ciclo do feijão irrigado, utilizando o método do balanço hídrico no solo, de 5,2 mm/dia em Ilha Solteira-SP.

Ainda, com o objetivo de caracterizar a demanda ideal de água ETm para o feijão de inverno em Goiânia-GO, STEINMETZ (1983) trabalhou num solo Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico, encontrando um valor médio para todo o ciclo da cultura de 4,55 mm/dia. Todavia, ele relacionou a ETm com a evaporação do Tanque Classe "A", obtendo um valor para as fases de emergência ao início da floração de 0,69, do início ao final da floração de 1,28 e do final da floração até à maturação de 1,04.

BERGAMASCHI (1984), também determinou o consumo de água para a cultura do feijoeiro, em Piracicaba-SP, através do balanço hídrico no solo com uma profundidade de 75 cm, encontrando um valor total para o ciclo de 360 mm, sendo o valor médio de 3,8 mm/dia, da sementeira à maturação fisiológica, ainda, ele observou que a ETm variou de 2,4 mm/dia da sementeira à emergência e de 5,0 mm/dia na fase de floração.

COSTA (1986), trabalhando com a cultura de feijão determinou a evapotranspiração total numa profundidade de 60 cm, sendo que o valor total ao longo do ciclo foi de 305 mm, que foi determinada com o método do balanço hídrico no solo. MANTOVANI (1986), determinou a evapotranspiração máxima ET<sub>m</sub> em feijão irrigado em Viçosa-MG, através do lisímetro modelo Thornthwaite modificado, o valor total de ET<sub>m</sub> determinado para a cultura foi de 256 mm, obtendo para o início do ciclo até 10% da cobertura do solo 1,73 mm/dia, de 10% da cobertura até o início da floração 2,34 mm/dia, do início do florescimento até o início do amadurecimento 3,76 mm/dia e do início do amadurecimento até a colheita 0,93 mm/dia.

SAKAI (1989), estudando a demanda hídrica de feijão irrigado com diferentes teores de água disponível num solo Latossolo Roxo, que variaram de 25% a 100% de AD, até uma profundidade de 40 cm, em Campinas-SP, encontrou um valor médio de ET<sub>m</sub> igual a 2,09 mm/dia.

LOPES (1989), determinou a evapotranspiração do feijoeiro na região de Viçosa-MG, encontrando um valor de evapotranspiração total para o ciclo do feijão de 268 mm, sendo o valor médio ao longo do ciclo de 2,7 mm/dia.

LOUREIRO et al. (1990), trabalhando com feijão irrigado num solo do tipo Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico, irrigando com 100% da evapotranspiração do Tanque Classe "A", em Viçosa-MG, obtiveram o valor de 2,3 mm/dia, para a fase de início de floração até o amadurecimento. Já o trabalho realizado por OLIVEIRA & SILVA (1990), mostra que a evapotranspiração para o feijão irrigado em São Desidério-BA, variou para todo o ciclo de 1,7 a 5,3 mm/dia, onde o maior valor corresponde ao período final de formação de vagens, sendo portanto, representativos do período entre os 25 até os 75 dias do ciclo da cultura, tendo sido o valor médio do período de 3,9 mm/dia.

SAAD (1991), determinou a evapotranspiração da cultura do feijão irrigado no município de Guaíra-SP, num solo do tipo Latossolo Roxo utilizando uma profundidade de 30 cm, através do uso do balanço hídrico no solo e pelo Tanque Classe "A", valores totais de evapotranspiração para um período de 80 dias de 350 mm para o balanço hídrico no solo e de 302 mm para o método do Tanque Classe "A".

#### **2.4. DRENAGEM PROFUNDA**

O componente drenagem profunda tem um valor muito significativo na determinação da evapotranspiração total das culturas agrícolas, sendo que a quantidade de drenagem que ocorre pode as vezes atingir proporções que alterarão sobremaneira o valor determinado no período de estudo REICHARDT et al. (1974), podendo assim, dependendo das condições climáticas ou do manejo da água de irrigação, atingir valores tão altos como os observados por LUCHIARI JUNIOR (1978); PAULA SOUZA et al. (1979) e SAKAI (1989), trabalhando com a cultura do feijão, utilizando a metodologia do balanço hídrico no solo. Estes valores excessivos de drenagem quando ocorrem tornam a produção ineficiente e ainda com baixo retorno econômico devido aos altos custos que ela determina. O movimento da água no solo é descrita através do uso da equação de BUCKINGHAN-DARCY, que relaciona o valor da condutividade hidráulica para um valor de umidade do perfil do solo com o valor de gradiente de potencial total no perfil do solo, num período de tempo escolhido. A sua determinação portanto, depende do teor de água do perfil que vai nos fornecer o valor da condutividade hidráulica, sendo que a obtenção desta é quem influencia diretamente a drenagem calculada no balanço hídrico.

REICHARDT et al. (1974), estudando a cultura do feijão em Piracicaba-SP, encontraram valores de drenagem profunda da ordem de 30%, concluindo que esse valor afetou o valor total de evapotranspiração total da cultura ao longo do seu ciclo, e relacionando o grau de drenagem medido com os valores de água que entraram no sistema. Da mesma forma, LUCHIARI JUNIOR (1978), verificou valores elevados durante o trabalho desenvolvido com feijão através do balanço hídrico no solo, para uma profundidade de 120 cm, que variaram de 10% a 50% da água adicionada à cultura, corroborando a importância da sua determinação em estudos desta natureza.

PAULA SOUZA et al. (1979), observaram valores de drenagem profunda num solo do tipo Terra Roxa Estruturada cultivada com feijão, com uma profundidade de 120 cm, de 58,7% e 6,6% do total de água utilizada pela cultura para os períodos úmido e seco respectivamente.

COSTA (1986), trabalhando com feijão num solo Terra Roxa Estruturada com profundidade de 45 cm, encontrou valores de drenagem da ordem de 14,89% da precipitação ocorrida. Mais recentemente SAKAI (1989), determinou também valores de drenagem elevados, trabalhando com feijão irrigado com vários níveis de tratamento que iam desde 25% até 100% de água disponível, com profundidade de 40 cm, encontrando valores que variaram de 40% a 60% do total da água adicionada à cultura. LOPES (1989), trabalhando em Viçosa-MG, com feijoeiro determinou um valor de drenagem de 30% da água que entrou no sistema. SAAD(1991), observou perdas por drenagem profunda em Guaíra-SP, trabalhando com feijão irrigado com profundidade de 30 cm, de 9,6% do total de água que foi utilizada pela cultura ao longo do ciclo.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. LOCALIZAÇÃO**

O experimento foi conduzido durante o período de maio a setembro de 1992, junto à Estação Meteorológica pertencente ao Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP) em Piracicaba-SP, com coordenadas geográficas 22° 42' 30" de latitude sul e 47° 38' 00" de longitude oeste com altitude de 580 m. Área experimental do ensaio está apresentada na Figura 1.

#### **3.2. CLIMA**

Segundo a classificação de KÖEPPEN o clima na região de Piracicaba é do tipo CWA, isto é, clima subtropical úmido, com verão chuvoso, inverno seco e temperatura do mês mais quente superior a 22° C. Os parâmetros climáticos médios da região coletados na Estação Meteorológica do Departamento de FÍSICA e Meteorologia apresentam as seguintes médias anuais: precipitação 1247 mm; temperatura do ar 21,1° C; umidade relativa do ar 74% e velocidade do vento 2,2 m/s.

Os dados climáticos do local durante o período em que foi conduzido o ensaio foram obtidos diariamente na referida estação meteorológica, e são apresentados no Quadro 2.



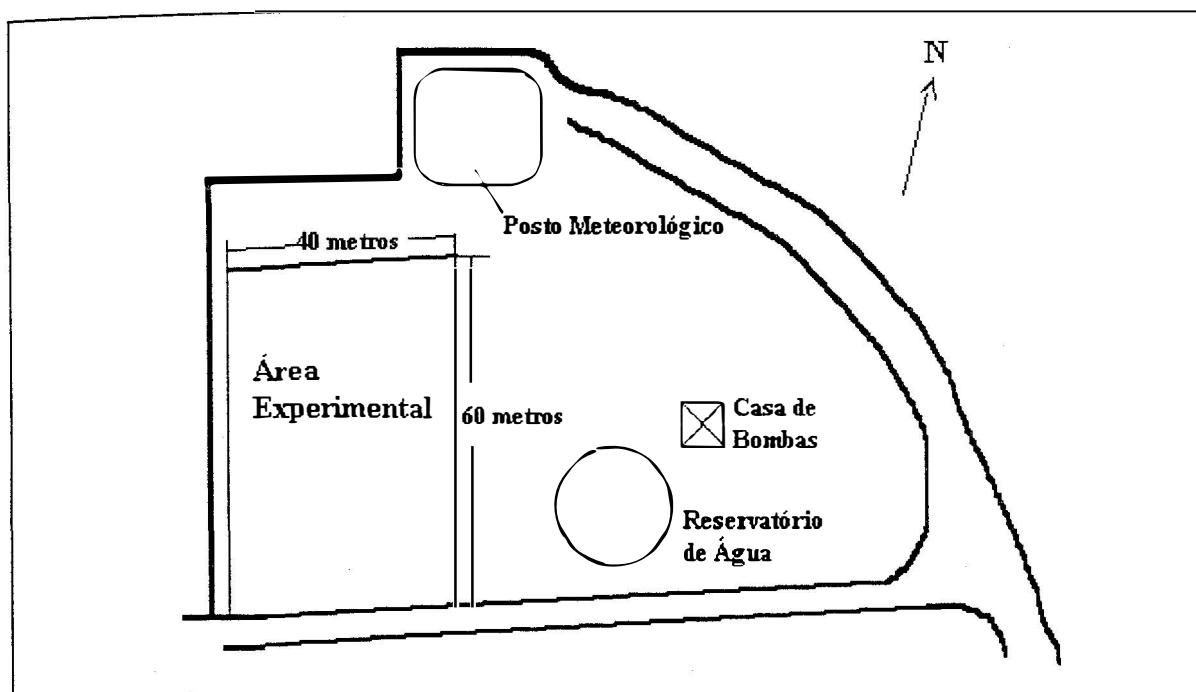


Figura 1. Área experimental.

Estes dados referem-se a média de períodos de dez dias (decêndios) sendo o último (VIII) de vinte dias.

Quadro 2. Elementos do clima local. (valores médios para o período experimental em decêndios).

DECÊNDIO	RG cal/cm <sup>2</sup> .d	INS. h/d	TEMP. °C	PREC. mm	VENTO m/s	UR %	ECA mm
I	299.70	8.22	18.80	0.00	0.56	72.10	3.20
II	248.90	5.83	20.61	6.30	0.80	73.70	3.32
III	265.30	6.80	17.62	30.9	0.85	77.80	3.24
IV	275.60	5.63	16.82	0.00	1.28	73.30	3.46
V	304.90	6.38	18.45	0.00	1.09	68.30	3.93
VI	329.90	6.50	18.86	0.00	1.10	68.20	3.98
VII	303.80	5.99	19.30	9.20	1.03	69.80	3.73
VIII	276.50	4.68	18.81	35.50	1.09	80.00	3.16

RG=Radiação Global; INS=Insolação; TEMP=Temperatura do ar; PREC=Precipitação; UR=Umidade Relativa e ECA=Evaporação do Tanque Classe "A"

### 3.3. SOLO

O solo da área, segundo RANZANI et al. (1966), é do grupo Terra Roxa Estruturada (TRE), série "Luiz de Queiroz", e de acordo com a classificação americana (EUA, 1975), é um Paleudalf Óxico. Apresenta um perfil homogêneo, formado a partir da meteorização de basaltos pertencentes ao grupo São Bento, bastante profundo, com nível de água a vários metros de profundidade (15 m). As principais características físicas e químicas deste solo estão apresentadas nos Quadros 3 e 4, e correspondem a valores obtidos a partir de ensaios em amostras coletadas em uma trincheira ao lado da parcela experimental. As coletas e ensaios foram executadas seguindo-se roteiros metodológicos consagrados no meio técnico-científico.

Quadro 3. Características físicas do solo na área experimental obtidos por COSTA (1986).

PROF. cm	GRANULOMETRIA			DENSIDADE		P. TOTAL. %
	AREIA %	SILTE %	ARGILA %	SOLO g/cm <sup>3</sup>	PARTÍCULA g/cm <sup>3</sup>	
15	31.90	19.50	48.60	1.54	2.83	45.50
30	23.80	15.20	61.60	1.43	2.79	49.00
45	21.30	15.00	63.70	1.40	2.81	50.30
60	21.70	15.40	62.90	1.38	2.80	50.70
75	22.30	15.60	62.10	1.25	2.74	54.20

Quadro 4. Características químicas do solo na área experimental obtidos por COSTA (1986).

prof. cm	pH	CO %	MO %	Ions trocáveis em meq/ 100 g do solo					Al	H	CTC	V %
				PO <sub>4</sub>	Ca	Mg	K	Na				
0-15	5.40	0.78	1.35	0.15	2.00	1.36	0.56	0.10	0.12	4.32	8.61	48.40
15-30	4.70	0.66	1.14	0.09	1.20	0.65	0.76	0.07	0.60	5.44	8.81	31.40
30-45	5.10	0.42	0.73	0.08	2.36	0.99	0.48	0.05	0.09	3.20	7.25	54.60
45-60	5.40	0.27	0.47	0.06	2.40	0.99	0.40	0.05	0.09	2.72	6.73	58.30
60-75	5.60	0.33	0.57	0.04	2.65	1.02	0.28	0.04	0.08	2.40	6.53	62.00

### 3.4. PARCELA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido numa área aproximada de 2400 m<sup>2</sup> (40mx60m), sendo que a área foi posteriormente subdividida em 6 parcelas, onde em cada uma delas foi instalada 1 (uma) bateria de tensiômetros com manômetros de mercúrio às profundidades de 10, 20, 30, 40, 60 e 75 cm e 1 (um) coletor de precipitação e/ou irrigação com altura de 30 cm acima da superfície do solo. A área foi totalmente cultivada e para poder-se desprezar o deflúvio superficial considerada plana Figura 2.



Figura 2. Vista parcial do experimento.

### 3.5. PLANTIO DA CULTURA E PRÁTICAS CULTURAIS

A cultura utilizada foi feijão comum, planta da família leguminosae, sub-família papilionoideae, gênero e espécie (*Phaseolus vulgaris* L.). Utilizou-se o cultivar "carioca" de hábito de crescimento indeterminado, com ciclo médio de 110 dias, e com sistema radicular pivotante, apresentando distribuição superficial, podendo este atingir profundidades correspondentes a 1 m.

Após o preparo convencional do terreno e instalação dos equipamentos, prepararam-se as parcelas para o cultivo do feijão. A cultura foi semeada manualmente no dia 28 de maio de 1992, com espaçamento de 50 cm x 20 cm, a fim de se obter um padrão de 200.000 plantas por hectare. A adubação durante o plantio foi de 30 kg de N/ha na forma de uréia, 30 kg de K/ha na forma de KCl e 80 kg de P/ha na forma de superfosfato simples. Foi também realizada uma adubação complementar nitrogenada 44 dias após a germinação, ou seja no dia 16 de julho, com a aplicação de 70 kg de N/ha. Foram realizadas também aplicações de herbicidas para controle fitossanitário através de pulverizações para garantir um bom desenvolvimento da cultura. A colheita do feijão foi realizada em duas etapas devido a problemas de umidade e desuniformidade da maturação em algumas parcelas, sendo a primeira colheita realizada manualmente no dia 14 de setembro de 1992 e a segunda colheita no dia 20 de setembro de 1992.

### 3.6. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO CAMPO

#### 3.6.1. TENSIÔMETROS

O tensiômetro é um equipamento utilizado para medir diretamente o potencial mátrico da solução do solo sob condições de campo e indiretamente a umidade do solo através da utilização da curva de retenção. Em tensiômetro com manômetro de mercúrio o potencial mátrico pode ser calculado através da equação:

$$\emptyset_m = -12,6 h + H + z \quad (1)$$

onde:

$\emptyset_m$  - potencial mátrico (cm H<sub>2</sub>O).

h - altura de mercúrio (cm). Leitura do tensiômetro.

H - distância entre a superfície do solo e o nível de mercúrio na cuba (cm).

z - profundidade de instalação da cápsula porosa no solo (cm).

A esquematização do tensiômetro utilizado neste experimento encontra-se na Figura 3.

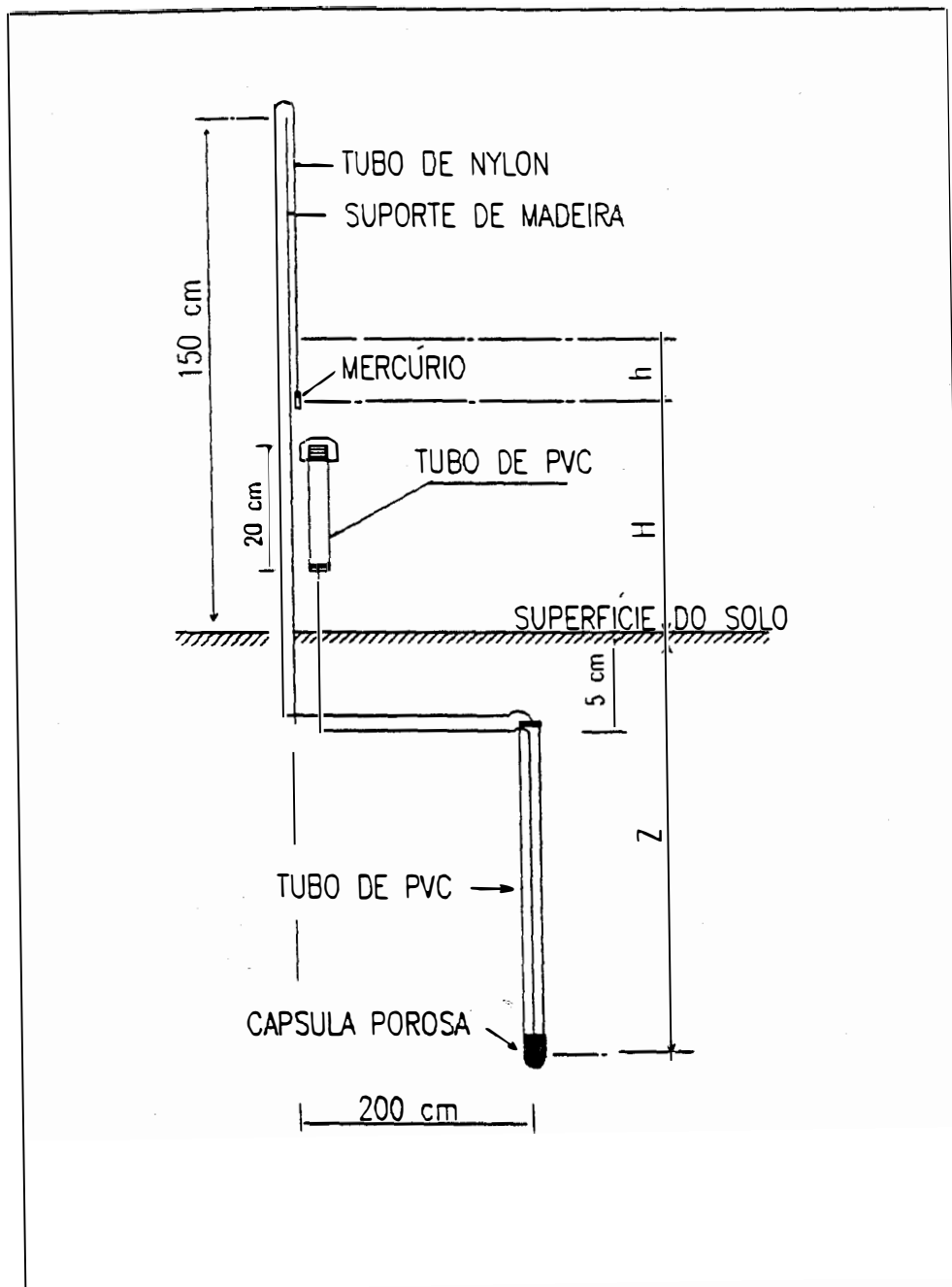


Figura 3. Esquema do tensiômetro no campo.

### 3.6.2. TANQUE CLASSE "A"

O Tanque Classe "A" é um equipamento largamente utilizado devido ao seu custo relativamente baixo e ao seu manejo simples.

Ele é um evaporímetro, com o qual pode-se calcular a evapotranspiração potencial e, ainda, serve como um excelente instrumento de monitoramento de irrigação ou, ainda, para a determinação do consumo de água por uma cultura. É um tanque cilíndrico construído com chapa de ferro galvanizado Nº 14, com 120 cm de diâmetro e 30 cm de profundidade, sendo instalado sobre um estrado de madeira a 15 cm da superfície do solo, geralmente numa área gramada, quando se deseja calcular a evapotranspiração.

A quantidade de evaporação é medida diariamente num poço tranquilizador com o parafuso micrométrico. Para evitar-se que não ocorram derramamentos pela ação do vento, o nível da água deve ser mantido sempre entre 5 cm a 7,5 cm abaixo da borda do tanque. O esquema do Tanque Classe "A" encontra-se na Figura 4.

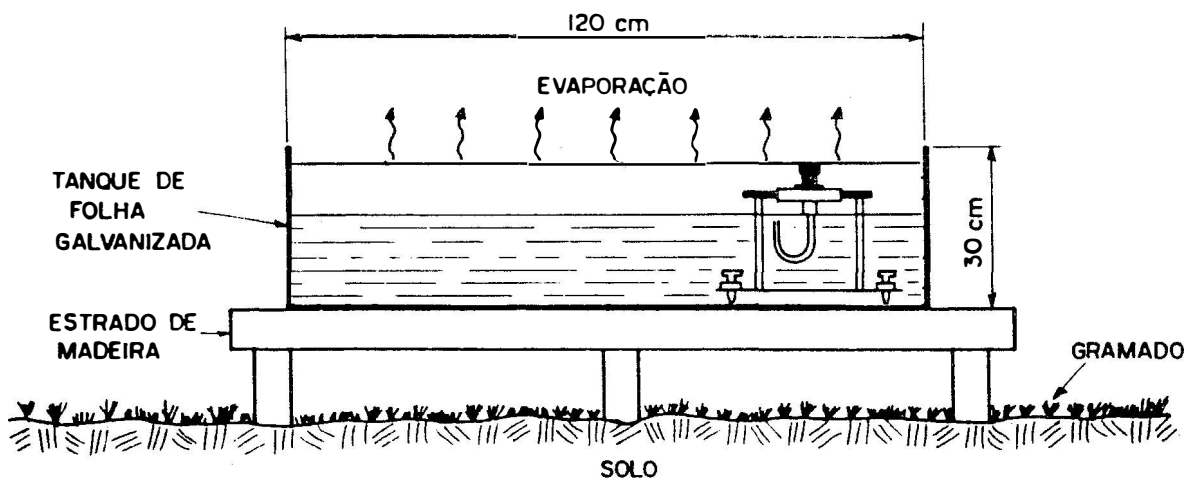


Figura 4. Esquema do Tanque Classe "A"



### **3.6.3. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO**

O sistema de irrigação utilizado no experimento foi do tipo aspersão convencional fixo, com espaçamento entre aspersores de 12m x 12m, tubos de engate rápido de 10 cm de diâmetro, e um conjunto motobomba para irrigação de 7,5 cv de potência.

### **3.7. CRITÉRIO DE IRRIGAÇÃO**

A reposição de água evapotranspirada, foi feita através do uso do Tanque Classe "A", sendo que para isso foram considerados alguns parâmetros necessários à utilização deste método, dentre os quais encontram-se: umidade relativa, bordadura, cobertura do solo e velocidade do vento, além dos parâmetros intrínsecos ao solo e à própria cultura. Os estágios de desenvolvimento e o coeficiente de cultura foram estimados a partir das tabelas elaboradas por DOORENBOS & KASSAN (1979) e GEPTS & FERNANDEZ (1982), tais tabelas foram resumidas no Quadro 1, do item 2.

### **3.8. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS**

A fase experimental deste trabalho foi desenvolvido em condições de campo, sendo que a quantidade de irrigação exigida foi monitorada diariamente através da estimativa da evapotranspiração pelo Tanque Classe "A".

Ainda, algumas considerações foram estabelecidas para o cálculo do balanço hídrico, sendo:

1) A área foi considerada plana (declividade  $\pm 2\%$ ) com isso o valor de escoamento superficial (d) foi considerado nulo.

2) O balanço hídrico foi calculado para o período entre 17/06/92 e 14/09/92 totalizando 90 dias divididos em 7 períodos de 10 (dez) dias e um de 20 (vinte) dias.

3) A quantidade de água exigida pela cultura foi então monitorada para efeito do balanço hídrico desde o vigésimo dia até o centésimo décimo dia após a semeadura onde a irrigação foi suspensa no dia 28/08/92 devido ao estágio de maturação da cultura.

4) A profundidade efetiva do sistema circular foi considerada fixa para todo o ciclo da cultura (30 cm).

5) O valor do potencial mátrico no solo para a profundidade de 30 cm, foi determinada pela média dos tensiômetros de 5 (cinco) parcelas, devido a problemas de leitura na parcela número 6 (seis). Portanto, para o cálculo da umidade do solo, isto também foi considerado. A leitura dos tensiômetros foi feita diariamente às 7 h da manhã. Os valores de potencial mátrico, potencial total, umidade do solo e leitura diária dos tensiômetros encontram-se no ANEXO 2.

6) A condutividade hidráulica para a profundidade de 30 cm foi calculada segundo LIBARDI et al. (1980).

7) A eficiência da irrigação foi acompanhada através da medida da água coletada após as irrigações e chuvas.

8) As medidas de índice de área foliar em 4 períodos, e de colheita em 2 (duas) vezes devido à desuniformidade na maturação das parcelas.

### 3.9. BALANÇO HÍDRICO NO SOLO

O método do balanço hídrico no solo baseia-se na utilização da equação da conservação de massa. Esta equação mostra que a soma algébrica dos fluxos de água em um determinado volume de solo é igual à variação da quantidade de água nele armazenada em um dado intervalo de tempo:

$$P + I - D - ET \pm QZ = \pm \Delta A \quad (2)$$

onde: P, I, D, ET, QZ e  $\Delta A$  são respectivamente; a precipitação, a irrigação, o escoamento superficial, a evapotranspiração, a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+) e a variação de armazenagem, expressos em mm.

#### 3.9.1. PRECIPITAÇÃO E IRRIGAÇÃO

Os dados de precipitação utilizados neste trabalho, foram obtidos diariamente no posto meteorológico que se encontra junto à área experimental.

Os dados de irrigação foram medidos através de coletores quando houve as irrigações. Foram feitas irrigações após o plantio para garantir uma boa germinação e, após a germinação, para manter o solo com boa umidade e a partir daí a reposição de água obedecia à exigência diária da evapotranspiração calculada através do método do Tanque Classe "A".

### 3.9.2. ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Neste trabalho o componente escoamento superficial não foi considerado devido a que a área foi considerada plana por apresentar uma baixa declividade (  $\pm 2\%$  ), e também porque não foi observado nenhum tipo de perda por escoamento, provavelmente pelos valores de precipitação e irrigação serem de baixa intensidade.

### 3.9.3. DRENAGEM PROFUNDA

Os componentes drenagem profunda e ascensão capilar nas profundidades e tempos considerados, foram estimados pela equação de BUCKINGHAM-DARCY:

$$q = -k(\theta) \cdot \nabla \phi_t \quad (3)$$

onde:

$q$  - densidade de fluxo ou drenagem (mm/dia).

$K(\theta)$  - condutividade hidráulica (mm/dia).

$\nabla \phi_t$  - gradiente de potencial total (cm/cm).

$\theta$  - umidade volumétrica (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>).

Como neste trabalho foram considerados os fluxos na direção vertical à profundidade de 30 cm, a equação (3) se simplifica para:

$$q_z = - [ K ( \theta ) . \delta H / \delta Z ] . \kappa \quad (4)$$

onde:

$q_z$  - drenagem ou ascensão na profundidade considerada  
(mm/dia).

$K (\theta)$  - condutividade hidráulica para a profundidade considerada  
(mm/dia).

$\delta H / \delta Z$  - gradiente de potencial total na profundidade considerada.

$\kappa$  - vetor unitário na direção vertical.

Para este trabalho os dados de condutividade hidráulica foram calculados através do método de LIBARDI et al. (1980) de acordo com a fórmula:

$$K = K_o e^{\gamma (\theta - \theta_o)} \quad (4a)$$

onde:

$K$  - condutividade hidráulica (mm/dia).

$K_o$  - condutividade hidráulica em condições de saturação.  
(mm/dia).

$\gamma$  - parâmetro adimensional.

$\theta$  - umidade atual ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ).

$\theta_o$  - umidade de saturação ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ).

Para o solo em estudo, os parâmetros desta fórmula (  $K_o$ ,  $\theta_o$  e  $\gamma$  ) encontram-se no Quadro 5.

Quadro 5. Parâmetros utilizados para o cálculo da condutividade hidráulica obtidos segundo LIBARDI et al. (1980).

prof. cm	Ko cm/h	$\theta_0$ cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	$\gamma$ adim.	$r^2$ adim.
30	0.0592	0.4999	102.0408	0.9978
45	0.0824	0.5058	94.3396	0.9977
60	0.2534	0.4823	94.3396	0.9999
75	1.4713	0.4922	93.4579	0.9992

### 3.9.4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração foi determinada por diferença, através da equação simplificada para o balanço hídrico (2), já que os outros componentes da equação foram determinados mediante a metodologia descrita anteriormente.

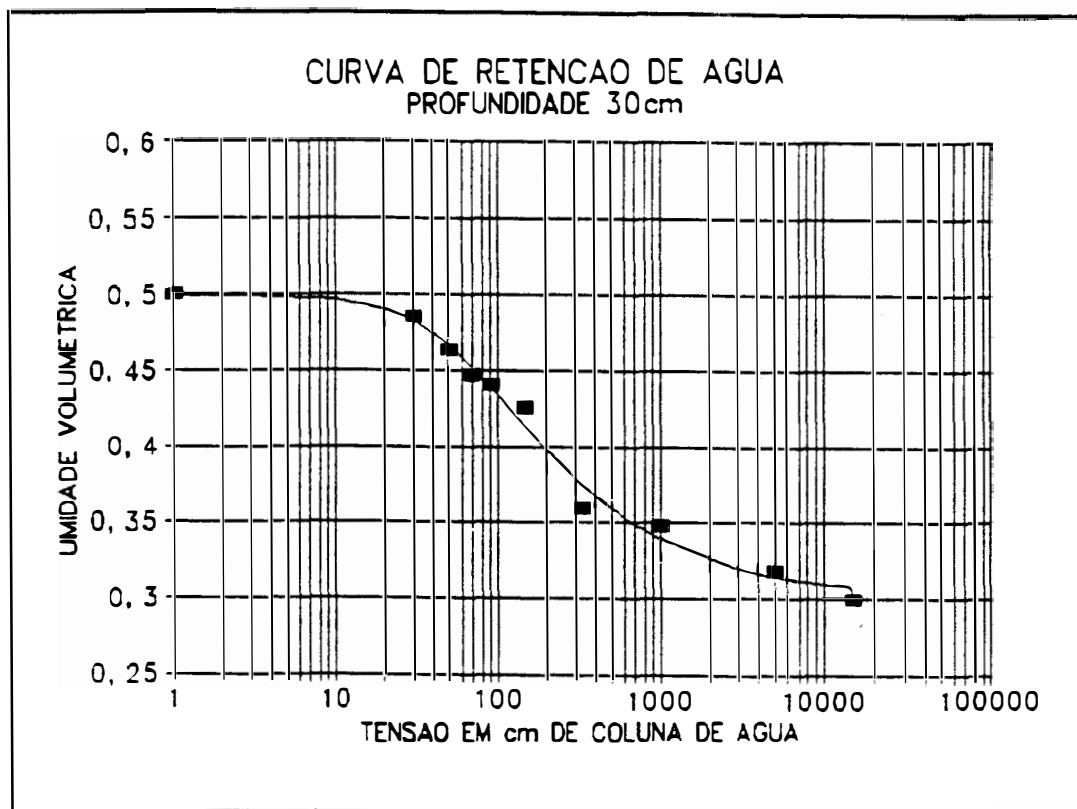
### 3.9.5. VARIAÇÃO DE ARMAZENAGEM

Este componente ( $\Delta A$ ) foi determinado através de dados de umidade obtidos a partir de leituras diárias dos tensiômetros utilizando a curva de retenção. Os dados desta curva foram ajustados à equação proposta por VAN GENUCHTEN (1980).

$$\theta = \theta_r + \{ \theta_s - \theta_r / [ 1 + (\alpha | \theta_m | )^n ] \} m \quad (5)$$

onde,  $\theta_r$  - umidade residual equivalente a tensão da água no solo de 15 atm;  $\theta_s$  - umidade de saturação e  $\alpha$ ,  $m$ , e  $n$  são parâmetros da equação de VAN GENUCHTEN (1980), obtidos através de regressão e otimização de funções não

lineares. Estes valores, para o solo em estudo na profundidade de 30 cm encontram-se na Figura 5.



$$\theta_s=0.4999; \theta_r=0.2990; \alpha=0.01489; m=0.37357; n=1.5963; r^2=0.9862$$

Figura 5. Curva de retenção para a camada de 0 a 30 cm ajustada para a equação proposta por VAN GENUCHTEN (1980).

A equação utilizada para o cálculo de variação de armazenagem foi

$$\Delta A = (\theta_f - \theta_i) \cdot z \quad (6)$$

onde:

$\Delta A$  - variação de armazenagem no intervalo de tempo considerado (mm).

$\theta_f$  - umidade média no tempo final ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ).

$\theta_i$  - umidade média no tempo inicial ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ).

$z$  - profundidade do perfil considerado (mm).

### 3.10. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

Foi estimado através de métodos indiretos, com a utilização de fórmulas e as tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6, que se encontram no ANEXO 1, sendo também o método do Tanque Classe "A", incluído para a estimativa do balanço hídrico climatológico.

Os métodos escolhidos para o experimento foram: Penman, Penman Modificado, Thornthwaite e Tanque Classe "A", para os quais os dados necessários, para o cálculo das suas estimativas foram coletados diariamente na estação meteorológica instalada ao lado do experimento e que pertence ao Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP. A tabela 1 contém os parâmetros climáticos utilizados para o cálculo do balanço hídrico climatológico e encontra-se no ANEXO 1.



### 3.10.1. MÉTODO DE PENMAN

O método de Penman é um método complexo, pois abrange tanto as variáveis energéticas como as aerodinâmicas do meio, para estimar a evapotranspiração potencial (ET<sub>o</sub>). A equação utilizada para a estimativa da ET<sub>o</sub> foi a seguinte:

$$ET_{oPe} = ( \Delta/\gamma \cdot RL + E_a ) / ( \Delta/\gamma + 1 ) \quad (7)$$

onde:

ET<sub>oPe</sub> - Evapotranspiração potencial (mm/dia).

$\Delta/\gamma$  - fator determinado em função da temperatura do ar, sendo:

$\Delta$  - tangente à curva de pressão parcial de saturação do vapor d'água, em função da temperatura do ar, calculado através da equação proposta por VILLA NOVA (1967) sendo:

$$\Delta = e_s \cdot ( 6886 / T_a^2 - 5.31 / T_a )$$

$e_s$  - pressão de saturação do ar (mmHg).

$T_a$  - temperatura do ar (°K).

$\gamma$  - constante psicrométrica (0.6 mmHg / °C).

RL - radiação líquida, em mm de evaporação equivalente.

$E_a$  - poder evaporante do ar (mm/dia), dado pela equação:

$$E_a = ( 0.35 + 0.184 \times U ) \cdot ( e_s - e_a )$$

U - velocidade do vento (m/s) a 2m de altura da superfície do solo.

$(e_s - e_a)$  - déficit de saturação do ar (mmHg).

### 3.10.2. MÉTODO DE PENMAN MODIFICADO

Este método foi modificado por OMETTO (1974), fazendo uma simplificação no termo aerodinâmico, resultando na seguinte equação para o cálculo da ETo:

$$EToPm = ( \Delta/\Delta + \gamma ) \cdot Rl + ( 0.28 \times Pi ) \quad (8)$$

onde:

EToPm - evapotranspiração potencial (mm/dia).

$(\Delta/\Delta + \gamma)$  - coeficiente energético, dependente da temperatura do ar.

RL - radiação líquida, em mm de evaporação equivalente.

Pi - evaporação de piche (mm/dia).

### 3.10.3. MÉTODO DE THORNTHWAITE

Este método baseia-se na medida da temperatura do ar, tendo sido desenvolvido por THORNTHWAITE (1948), para o cálculo da ETo; é muito utilizado pela sua simplicidade através da seguinte equação:

$$EToTo = Te \cdot N/12 \quad (9)$$

onde:

EToTo - evapotranspiração potencial (mm/dia).

Te - evapotranspiração tabular não corrigida (mm/dia).

N/12 - fator de ajuste do comprimento do dia.

### 3.10.4. MÉTODO DO TANQUE CLASSE "A"

Este método é um dos mais utilizados e recomendados pela FAO (DOORENBOS & KASSAN, 1979). Para o cálculo da ETo através deste método foi empregada a seguinte equação:

$$ET_{oCA} = ECA \cdot K_p \quad (10)$$

onde:

$ET_{oCA}$  - evapotranspiração potencial (mm/dia).

$ECA$  - evaporação medida no tanque Classe "A" (mm/dia).

$K_p$  - coeficiente de correção do tanque.

### 3.11. PARÂMETROS DA CULTURA

No presente trabalho foram determinados, ao longo do ciclo, os seguintes parâmetros: Produção, Índice de área foliar ( IAF), eficiência do uso de água (EUA).

#### 3.11.1. PRODUÇÃO

Para análise de produção foram retiradas 20 plantas em média por parcela, com 3 repetições numa área de 4 m<sup>2</sup>, onde foram determinados o número de vagens e o peso total de grãos. Os grãos foram colocados em sacos de papel para posterior pesagem em balança eletrônica.

### 3.11.2. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

Foi estudado através da análise de crescimento, sendo que em cada parcela (6 parcelas), foram retiradas 10 (dez) plantas ao acaso, separando-se posteriormente 1 (uma) planta para determinação da relação Área/Peso, para depois somá-la às outras 9 (nove) plantas da amostra. Posteriormente, as folhas foram colocadas em estufa para secagem até peso constante com temperatura de 70°C. A área foliar da planta escolhida foi determinada através de uma mesa digitalizadora com computador, sendo que o valor padrão utilizado pelo método da mesa era de 25 cm<sup>2</sup>. A determinação do IAF foi feita com a utilização da seguinte equação:

$$\text{IAF} = (\text{AT1} + \text{AT9}) / \text{DP} \quad (11)$$

onde:

IAF - índice de área foliar para 10 (dez) plantas (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>).

AT1 - área total de 1 (uma) planta (m<sup>2</sup>).

AT9 - área total de 9 (nove) plantas (m<sup>2</sup>).

DP - densidade de plantio (0.5 m<sup>2</sup>).

### 3.11.3. EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA

Foi determinada através da relação entre a produtividade da cultura e a quantidade de água consumida pela cultura ao longo do ciclo. A relação entre a produção e o consumo de água é igual a:

$$E.U.A. = P \text{ ( kg/ha) } / C \text{ (m}^3\text{/ha)} \quad (12)$$

onde:

E.U.A. - eficiência de uso da água (kg/m<sup>3</sup>).

P - produção em (kg/ha).

C - consumo de água em (m<sup>3</sup>/ha).

### 3.12. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA

O coeficiente de cultura  $K_c$ , é dado pela relação entre a evapotranspiração de uma cultura (ETR), sem restrições hídricas e a evapotranspiração potencial (ET<sub>o</sub>), observada num período determinado sendo:

$$K_c = ETR / ET_o \quad (13)$$

onde:

$K_c$  - coeficiente de cultura

ETR - evapotranspiração real (mm/dia).

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração potencial (mm/dia).

O valor da evapotranspiração real é representada pela evapotranspiração medida pelo balanço hídrico no solo. Logo, o valor de evapotranspiração potencial foi estabelecida através dos métodos de Penman, Penman Modificado, Thornthwaite e Tanque Classe "A", sendo os valores de  $K_c$  calculados posteriormente para as 4 (quatro) fases de desenvolvimento.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. CULTURA DO FEIJÃO**

O experimento foi realizado no período de inverno, com objetivo de tentar obter um melhor manejo da entrada de água no sistema, e conseguir diminuir efeitos de períodos chuvosos que dificultariam estimar melhor os componentes do balanço hídrico, além de avaliar a possibilidade de instalação desta cultura durante este período na região. As condições climatológicas que predominaram durante o trabalho foram consideradas boas para o desenvolvimento da cultura.

O comportamento da cultura através das suas distintas fases de desenvolvimento foi considerado normal, tendo em vista que, a duração do período de cada fase mostrou boa relação com as condições ambientais ocorridas ao longo da execução do trabalho, isto pode ser verificado ao analisar os resultados que representam a duração dos distintos estágios fenológicos para a cultura do feijão e que se encontram no Quadro 8 e na Figura 5, resultados que apresentam valores semelhantes aos obtidos por DOORENBOS & KASSAN (1979), somado ao manejo eficiente da água e manejo dos tratos culturais ao longo do ciclo da cultura.

A quantidade total de água que a cultura recebeu durante o ciclo total foi de 275,2 mm, sendo (117,1 mm) ou 43 % via chuva e (158,1 mm) ou 57 % via irrigação, distribuída ao longo do ciclo da cultura como observado na Tabela 7 no

ANEXO 1, mostrando que a quantidade de água que atingiu a cultura foi suficiente para proporcionar um bom desenvolvimento durante todo o ciclo. As irrigações efetuadas após o plantio entre o dia 03/06/92 e 16/06/92 (36,8 mm) foram o bastante para que o perfil do solo pudesse atingir a capacidade de campo, sendo posteriormente iniciado o balanço hídrico; tais quantidades de água portanto não foram consideradas.

Quadro 6. Estágios fenológicos da cultura do feijão medidos e valores médios obtidos por DOORENBOS & KASSAN (1979) entre parenteses.

DATAS	FASE DA CULTURA	DURAÇÃO (DIAS)	DIAS APÓS SEMEADURA
28/5/92 a 07/06/92	PLANTIO a EMERGÊNCIA	10	10 (10 a 15)
07/06/92 a 06/07/92	EMERGÊNCIA a INÍC. FLOREC.	30	40 (30 a 40)
07/07/92 a 03/08/92	INÍC. FLOREC. a INÍC. ENC.GRÃOS	28	68 (45 a 65)
04/08/92 a 22/08/92	INÍC. ENC.GRÃOS a INÍC. MATURAÇÃO	19	87 (70 a 95)
23/08/92 a  14/09/92 20/09/92	INÍC. MATURAÇÃO   FIM DA MATURAÇÃO	23 29	110 116 (90 a 120)

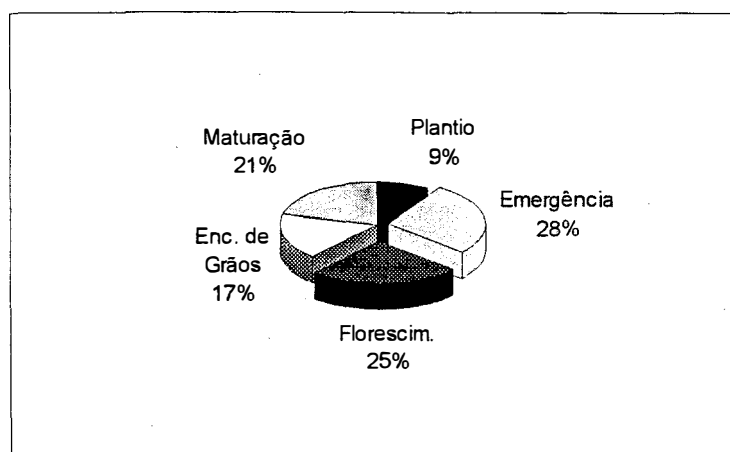


Figura 5. Distribuição dos estágios fenológicos da cultura do feijão.

## 4.2. EVAPOTRANSPIRAÇÃO MEDIDA

Os valores de evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) medida através do balanço hídrico no solo, foram obtidos a partir das leituras diárias dos tensiômetros e do uso das equações (1), (2), (4), (5) e (6). Os valores medidos foram determinados para 7 (sete) subperíodos de 10 (dez) dias (decêndios) e um outro de 20 (vinte) dias, totalizando 90 (noventa) dias de estudo. Assim, os valores medidos foram calculados entre o vigésimo e o centésimo décimo dias após a semeadura. Os valores diários de gradiente de potencial, umidade volumétrica, condutividade hidráulica e fluxo de água no solo, encontram-se na Tabela 8 ANEXO 1.

### 4.2.1. BALANÇO HÍDRICO NO SOLO

No quadro 7, encontram-se os resultados obtidos no balanço hídrico, através da metodologia anteriormente citada, para os subperíodos considerados.



Quadro 7. Valores médios de evapotranspiração real calculados pelo método do balanço hídrico no solo em decêndios.

DECÊNDIO	$\Delta$ ARM (mm)	DREN (mm)	P + I (mm)	ETR (mm)	ETR AC.(mm)
I	-14.1	-0.00131	7.1	21.2	21.2
II	-8.1	-0.00028	12.3	20.4	41.6
III	8.1	-0.01158	44.5	36.3	77.9
IV	-3.0	-0.00016	10.6	13.6	91.5
V	24.3	-0.08477	34.5	10.1	101.6
VI	-17.1	-0.01964	31.1	48.1	149.7
VII	10.2	-0.04003	17.0	6.7	156.4
VIII	12.6	-0.00075	46.1	33.5	189.9

Analisando os valores obtidos, apresentados no Quadro 7, observa-se que houve uma grande variação no componente armazenagem, sendo que os resultados mostram uma oscilação entre  $-17,1$  e  $+24,3$  mm, significando que em alguns subperíodos ocorreu perda de água no solo, ou seja, a saída de água do volume de solo foi principalmente por transpiração, já que não houve perdas por drenagem, assim, considerando-se o balanço de água na cultura, a saída foi superior à sua entrada, isto é, à quantidade de água aplicada.

Os valores de perda de água por drenagem profunda (qz), como observado no Quadro 7, foram desprezíveis, considerando-os para efeito de balanço hídrico nulos, o que vem mostrar a eficiência na aplicação de água exigida pela cultura, que foi determinada pela reposição estimada pelo Tanque Classe "A", mantendo o solo sempre em boas condições de umidade.

Foi observado ainda que durante alguns dias o fluxo de água apresentou valores positivos, que coincidiam com os dias de maior umidade no solo, indicando ascensão capilar, lembrando que para o cálculo do balanço hídrico considerou-se o somatório das componentes ascensão capilar e drenagem profunda ocorridas durante o período estudado, sendo o fluxo

resultante sempre de drenagem profunda. Os valores de drenagem profunda e de gradiente de potencial diários estão apresentados na Figura 6. Isto mostra que em estudos de balanço hídrico, quando utilizamos a equação de BUCKINGHAM-DARCY para determinação do fluxo de água no solo, exige o conhecimento de parâmetros que sofrem variações espaciais e temporais no solo, além da adoção muitas vezes de valores médios que levariam à obtenção de erros na estimativa da drenagem profunda, sendo a medição de valores diários uma solução para diminuir o erro envolvido nesta determinação. Pode-se ainda dizer que os valores de água adicionada à cultura via chuva (117,1 mm) e irrigação (158,1 mm), apresentaram valores baixos tanto em quantidade como em intensidade mas foram suficientes para manter as condições hídricas no perfil do solo sem provocar perdas por drenagem profunda durante o período estudado (Figura 6).

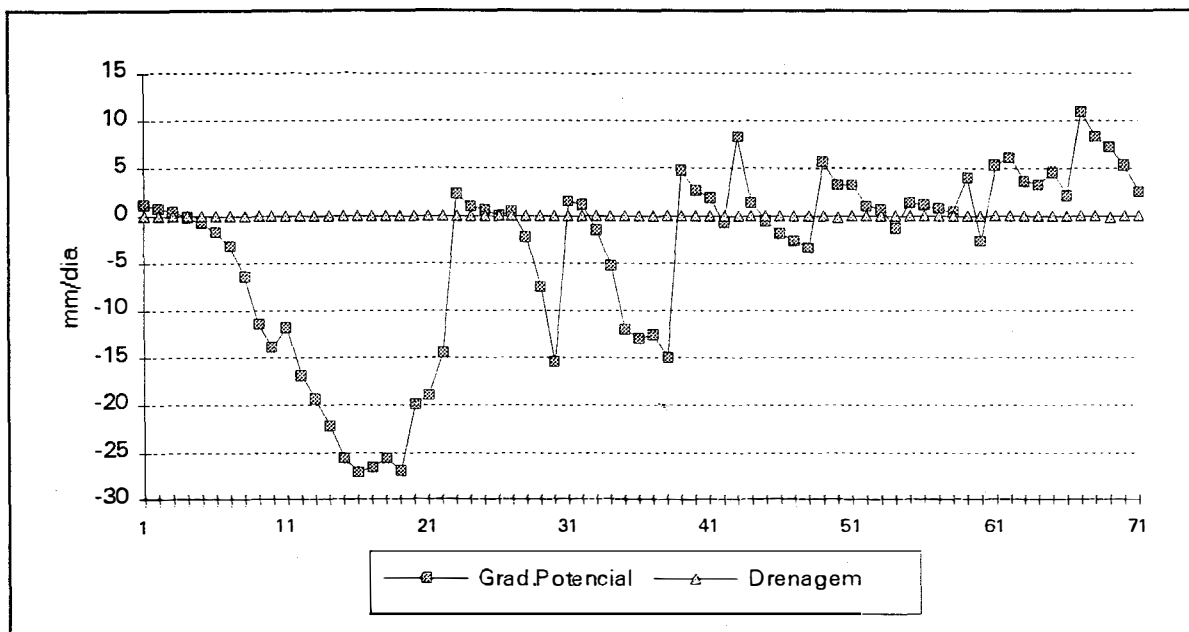


Figura 6. Valores diários de drenagem profunda e gradiente de potencial para a profundidade de 30 cm.

Os componentes precipitação pluvial e irrigação, podem ser consideradas como sendo os valores que provocaram os menores erros dentro do balanço hídrico, devido a que as medidas de precipitação pluvial foram obtidas no posto meteorológico adjacente à área experimental, além de ter sido medida por um pluviômetro instalado no meio da área do ensaio, obtendo-se valores semelhantes aos medidos no posto. Ainda, no caso das irrigações, foi feito o controle da distribuição da água de irrigação através dos coletores colocados na área e do tempo de irrigação, dando maior confiabilidade a estes parâmetros.

O valor médio de evapotranspiração real ETr no período estudado foi de 2,11 mm/dia, sendo que o valor mínimo obtido até o início do florescimento foi de 2,08 mm/dia, e o valor máximo de 2,88 mm/dia na fase de enchimento de grãos.

A evapotranspiração total da cultura para o período estudado resultou num valor de 189,9 mm, que forneceu um valor médio de 2,11 mm/dia. Comparando o valor obtido com os de SILVEIRA & STONE (1979) que encontraram um valor médio de 2,94 mm/dia; GUIMARÃES et al. (1982) com valores entre 1,96 e 2,14 mm/dia e SAKAI (1989) que obteve um valor de 2,09 mm/dia, verificamos estar dentro dos valores esperados.

### **4.3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO ESTIMADA**

A determinação da evapotranspiração potencial estimada pelos diferentes métodos utilizados: Penman, Penman Modificado, Thornthwaite e Tanque Classe "A", segue as mesmas condições de obtenção de valores médios para todos os métodos, agrupando esses valores nos subperíodos definidos anteriormente. Os valores diários de todas as variáveis necessárias para a utilização dos distintos métodos estão na Tabela 1 ANEXO 1.

### 4.3.1. MÉTODO DE PENMAN

No Quadro 8, são apresentados os dados necessários para a determinação dos valores da evapotranspiração potencial  $E_{To}$ , pelo método de Penman.

Quadro 8. Valores médios da evapotranspiração potencial calculados pelo método de Penman em decêndios.

DECÊNIO	C.ENERG	Rad. L	es	ea	es-ea	Ea	$E_{ToPe}$
		cal./cm <sup>2</sup> .d	mmHg	mmHg	mmHg	mm	mm
I	1.71	1.03	16.35	11.78	4.57	2.08	1.41
II	1.88	1.21	18.22	13.39	4.83	2.41	1.62
III	1.60	1.07	15.24	11.29	3.55	1.24	1.31
IV	1.53	1.45	14.48	10.67	3.81	2.15	1.75
V	1.68	1.58	16.04	10.82	5.22	2.79	2.02
VI	1.71	1.93	16.38	11.16	5.22	2.87	2.28
VII	1.75	1.74	16.86	11.83	5.03	2.70	2.08
VIII	1.70	1.91	16.35	12.95	3.41	1.24	3.86

Analisando o Quadro 8, observamos que para todos estes subperíodos o método de Penman apresentou os menores valores de evapotranspiração, ocorrendo um valor total ao longo do ciclo de 163,30 mm, sendo este valor inferior ao determinado pelo método do Tanque Classe "A". Isto foi também observado em outros trabalhos que relacionavam estes dois métodos de estimativa (ASSIS, 1978; MATZENAUER et al. 1983 e PEREIRA 1991) que consideraram esta diferença entre os métodos, devida ao fator advecção que influenciaria a estimativa do Tanque Classe "A", e que no método de Penman não é computado. Outros trabalhos também relacionando estes métodos encontraram valores semelhantes (ENCARNAÇÃO, 1980 e BERGAMASCHI et al. 1988).

### 4.3.2. MÉTODO DE PENMAN MODIFICADO

O Quadro 9, refere-se aos parâmetros necessários para a estimativa da evapotranspiração potencial  $E_{To}$ , pelo método de Penman Modificado.

Quadro 9. Valores médios de evapotranspiração potencial calculados pelo método de Penman Modificado em decêndios.

DECÊNDIO	Ta	C. ENERG	Qo/59	n	Rad. L	EPic	EToPm
	°C		m.eq.ev	h/d	cal./cm <sup>2</sup> .d	mm	mm
I	18.80	0.66	9.60	8.22	2.33	1.34	2.88
II	20.61	0.68	9.84	5.83	2.11	1.31	2.76
III	17.62	0.65	10.00	6.80	2.25	1.08	2.55
IV	16.82	0.65	10.00	5.63	2.12	1.35	2.72
V	18.45	0.66	10.80	6.38	2.36	1.65	3.22
VI	18.86	0.67	11.60	6.50	2.55	1.37	3.07
VII	19.30	0.67	11.60	5.99	2.48	1.04	2.70
VIII	18.81	0.67	13.07	4.68	2.57	1.13	2.85

Observando os resultados obtidos ao longo do ciclo e comparados aos valores do Tanque Classe "A", nota-se que houve um comportamento muito parecido entre os valores obtidos pelos dois métodos, ocorrendo somente no período de maior evapotranspiração, subperíodos (V e VI), uma pequena diferença entre os valores, sendo os resultados do método de Penman Modificado superiores aos do Tanque Classe "A", proporcionando um valor de evapotranspiração de 256,0 mm. Ainda, podemos verificar que para este método, o parâmetro advecção foi um fator importante no cálculo da evapotranspiração.

### 4.3.3. MÉTODO DE THORNTHWAITTE

Os valores necessários para a determinação da evapotranspiração potencial  $ET_o$ , através do método de Thornthwaite, encontram-se no Quadro 10.

Quadro 10. Valores médios de evapotranspiração potencial calculados pelo método de Thornthwaite em decêndios.

DECÊNDIO	Rad. Global	n	T.Méd.Anual	Ta	N	ET <sub>o</sub> tab	ET <sub>o</sub> To
	cal./cm <sup>2</sup> .d	h/d	°C	°C	h/d	mm	mm
I	299.7	8.22	21.1	18.80	10.69	2.06	1.84
II	248.9	5.83	21.1	20.61	10.80	2.51	2.26
III	265.3	6.80	21.1	17.62	10.87	1.81	1.64
IV	275.6	5.63	21.1	16.82	10.87	1.63	1.48
V	304.9	6.38	21.1	18.45	11.04	2.02	1.86
VI	329.9	6.50	21.1	18.86	11.20	2.09	1.95
VII	303.8	5.99	21.1	19.30	11.20	2.18	2.03
VIII	285.0	4.68	21.1	18.81	11.60	2.08	4.02

Verificando os resultados do Quadro 10, comprovamos que os valores de evapotranspiração calculados através do método de Thornthwaite são inferiores a aqueles determinados pelo método do Tanque Classe "A", isto porque a evapotranspiração potencial de Thornthwaite é uma função indireta do balanço de energia, que influencia a temperatura do ar, que é o parâmetro em que o método se baseia. Sendo também o efeito das entradas de massas polares em nossa região uma causa evidente do comportamento deste método, já que este fenômeno vem alterar o comportamento da temperatura do ar. Lembrando ainda que, o termo convectivo, que é função do vento e do déficit de saturação do ar, não é computado. O valor de evapotranspiração calculado foi de 171,26 mm ao longo de todo o período. Resultados semelhantes foram encontrados por (MATZENAUER et al. 1983).

#### 4.3.4. MÉTODO DO TANQUE CLASSE "A"

No Quadro 11, pode-se observar os dados necessários para determinar a evapotranspiração potencial  $E_{To}$ , através do método do Tanque Classe "A".

Quadro 11. Valores médios de evapotranspiração potencial calculados pelo método do Tanque Classe "A" em decêndios.

DECÊNDIO	Rad.Global	n	Ta	VENTO	UR	ECA	EToCA
	cal./cm <sup>2</sup> .d	h/d	°C	m/s	%	mm	mm
I	299.7	8.22	18.80	0.56	72.1	3.20	2.73
II	248.9	5.83	20.61	0.80	73.7	3.32	2.80
III	265.3	6.80	17.62	0.85	77.8	3.24	2.75
IV	275.6	5.63	16.82	1.28	73.8	3.46	2.85
V	304.9	6.38	18.45	1.09	68.3	3.93	2.95
VI	329.9	6.50	18.86	1.10	68.2	3.98	2.98
VII	303.8	5.99	19.30	1.03	75.7	3.73	2.78
VIII	285.0	4.68	18.81	0.60	79.0	3.12	3.80

Analisando o Quadro 11, verificamos que a evapotranspiração potencial pelo método do Tanque Classe "A", teve um valor total de 236,0 mm, sendo que no cálculo da evapotranspiração por este método, todos os parâmetros que influenciam a evapotranspiração são considerados. Valores de evapotranspiração semelhantes foram encontrados para a cultura de feijão por (ENCARNAÇÃO 1980 e BERGAMASCHI et al. 1989).

#### 4.4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL X EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA

Os valores de evapotranspiração obtidos a partir do balanço hídrico no solo e climatológico, determinados para todo o período analisado, encontram-se no Quadro 12.

Quadro 12. Valores médios de ETR e ETM determinados para todo o período analisado em decêndios.

DECENDIO	ETR	EToPe	EToPm	EToTo	EToCA
I	21.2	5.47	11.0	7.0	10.4
II	20.4	10.55	17.8	14.6	18.2
III	36.3	10.32	20.0	12.8	21.3
IV	13.6	14.93	23.1	12.3	24.2
V	10.1	21.51	34.7	20.0	31.9
VI	48.1	20.39	27.5	17.6	26.7
VII	6.7	10.66	21.6	16.2	22.2
VIII	33.5	23.12	34.2	24.4	22.8
TOTAL	189.9	116.95	189.9	124.9	177.7

Ao compararmos os resultados totais de ETR e ETM (EToPe, EToPm, EToTo e EToCA) dos períodos analisados, verificamos que os valores de ETR, foram superiores aos demais métodos, representados pelos valores de ETM. Sendo que, os valores de ETR e de EToPm, mostraram valores semelhantes e superiores aos de EToCA, que foi o método de referência para análise entre os diferentes métodos, por outro lado os métodos EToPe e EToTo apresentaram os menores valores tanto em relação a ETR como também a EToCA, demonstrando que a utilização do método de ETR foi satisfatório nas condições do período analisado, e verificando também isso, na utilização dos métodos de ETM (EToPm e EToCA), não ocorrendo isso, quando consideramos os valores dos métodos (EToPe e EToTo) que se mostraram muito abaixo do método de referência.



A comparação dos valores de evapotranspiração para o balanço hídrico no solo e climatológico, nas 4 (quatro) fases de desenvolvimento de cultura do feijão encontram-se no Quadro 13.

Quadro 13. Valores médios de ETR e ETM nas 4 fases da cultura.

MÉTODO	FASE I	FASE II	FASE III	FASE IV
PENMAN	0.80	1.49	1.93	1.25
PENMAN MODIFICADO	1.45	2.49	2.62	1.81
THORNTHWAITE	1.09	1.43	1.79	1.27
TANQUE CLASSE "A"	1.44	2.50	2.51	1.37
BH NO SOLO	2.08	2.14	2.88	1.47

Analisando os valores de evapotranspiração real e máxima contidos no Quadro 13, verificamos que o comportamento da evapotranspiração ao longo das fases foi o mesmo, para todo o ciclo. Mostrando um aumento até a fase de enchimento de grãos (fase III), e posteriormente tendendo a diminuir quando foi evidenciada a fase de maturação da cultura (fase IV). Os métodos Penman e Thornthwaite subestimaram a evapotranspiração, e o método de Penman Modificado a superestimou, todos em relação ao método do Tanque Classe "A".

Comparando o resultado da evapotranspiração real (balanço hídrico no solo) e da evapotranspiração máxima (balanço hídrico climatológico), notamos que o valor de evapotranspiração real foi superior aos valores de evapotranspiração máxima, sendo apenas superado no valor das fases de florescimento (fase II) pelos métodos de Penman Modificado e Tanque Classe "A", e na fase de maturação (fase IV) pelo método de Penman Modificado.

A Figura 7, apresenta a variação temporal da evapotranspiração medida e estimada nas 4 (quatro) fases da cultura: desenvolvimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação.

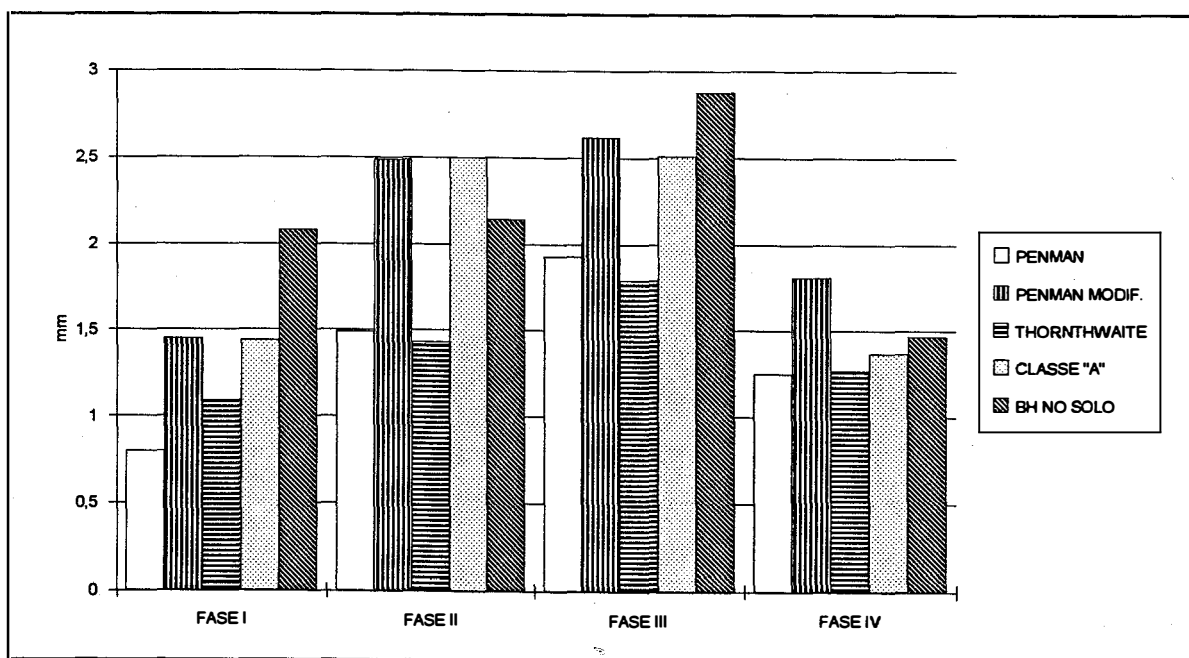


Figura 7. Variação temporal de ETR e ETM nas 4 fases da cultura.

#### 4.5. PRODUÇÃO

A produção da cultura de feijão (kg/ha), encontram-se no Quadro 14.

Quadro 14. Valores médios de produção e eficiência do uso de água da cultura do feijão.

PARCELA	NÚMERO DE PLANTAS	NÚMERO DE VAGENS	PESO DE SEMENTES g	PRODUÇÃO Kg/ha	LÂMINA ÁGUA APLICADA mm	(E.U.A.) Kg/m <sup>3</sup>
1	20.00	1000.00	1027.60	2569.00	275.20	0.93
2	20.00	1115.00	1071.50	2678.75	275.20	0.97
3	25.00	1119.00	1199.50	2998.75	275.20	1.09
4	21.00	1134.00	1029.40	2573.50	275.20	0.94
5	20.00	1125.00	1021.30	2553.25	275.20	0.93
6	16.00	746.00	928.30	2320.75	275.20	0.84
TOTAL	122.00	6239.00	6277.60	15694.00	275.20	5.70
MÉDIA	20.33	1039.83	1046.27	2615.67	275.20	0.95

Os valores determinados na análise da produção média de 2615 kg/ha, foram considerados altos se os relacionarmos com as produções médias obtidas a nível nacional e estadual no caso do estado de São Paulo. Estes dados encontram-se no Quadro 15, (MAZZEI et al. 1992).

Quadro 15. Produtividade média de feijão da seca.

BRASIL	kg/ha	ESTADO DE SÃO PAULO	kg/ha
SP	817	Ribeirão Preto	1669
ES	805	Campinas	1024
MG	547	Sorocaba	851
MS	547	São José dos Campos	824
PA	529	São José do Rio Preto	641
RO	520	Baurú	600
SC	515	Araçatuba	591
GO	451	Presidente Prudente	582
PB	327	Marília	565
Média	488	Registro	470

Isso indica que todos os parâmetros agronômicos necessários ao manejo da cultura foram maximizados, lembrando que uma adubação pesada de nitrogênio de 70 kg/ha, foi efetuada no dia 16/07/92 contribuindo para o ótimo desenvolvimento da cultura.

Trabalhos realizados com a cultura do feijão irrigado mostraram resultados elevados, como o de COSTA (1986) que encontrou valores de produção de grãos de 1488 kg/ha. Outro autor, SAKAI (1989) utilizando níveis de irrigação para feijão em Campinas-SP, obteve uma produção de 2145 kg/ha para o tratamento de 75 % de água disponível. SAAD (1991) trabalhando com controle de irrigação para a cultura do feijão em Guaira-SP, encontrou um valor médio de produção de grãos de 3044 kg/ha.

#### 4.6. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

Os valores de índice de área foliar (I.A.F) foram determinados nas 4 (quatro) fases de desenvolvimentos da cultura: desenvolvimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação. Estes resultados representam o valor médio de 6 (seis) parcelas, e estão apresentados no Quadro 16 e na Tabela 9 no ANEXO 1.

Quadro 16. Valores médios de IAF nas 4 fases.

FASE	P1 g	P9 g	AT cm <sup>2</sup>	AT1 cm <sup>2</sup>	AT9 cm <sup>2</sup>	AT10 cm <sup>2</sup>	IAF m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
1	1.36	10.34	97.59	403.58	3058.53	3462.11	0.69
2	6.74	41.45	351.74	1454.70	9312.81	10767.52	2.15
3	10.97	58.00	534.54	2210.71	12058.79	14269.50	2.85
4	1.94	16.14	95.97	396.88	3320.50	3717.38	0.74
TOTAL	21.00	125.92	1079.83	4465.88	27750.63	32216.51	6.44
MEDIA	5.25	31.48	269.96	1116.47	6937.66	8054.13	1.61

Verificamos que os valores determinados apresentam um comportamento bem definido e coerente com aqueles encontrados na literatura para todas as fases de desenvolvimento, sendo os valores médios encontrados neste trabalho iguais a: 0.69; 2.15; 2.85 e 0.74  $m^2/m^2$ , valores que correspondem a cada uma das fases respectivamente. BERGAMASCHI et al. (1989) encontrou valores de IAF para as mesmas fases de: 0.60; 1.95; 2.50 e 0.80  $m^2/m^2$ . Outro trabalho que também foi realizado com feijão irrigado, para determinação do IAF, foi feito por OLIVEIRA & SILVA (1990) onde foram encontrados valores médios para as 4 (quatro) fases de desenvolvimento da cultura de: 0.61; 1.73; 3.73 e 2.02  $m^2/m^2$ .

Ainda, pode ser observado através da Figura 8, o comportamento ao longo do ciclo do índice de área foliar para a cultura do feijão. É importante lembrar ainda, que este parâmetro pode ser utilizado como indicador do comportamento de vários fatores de interesse para agricultura, como estudos de assimilação fotossintética, nutrição mineral e evapotranspiração. Assim, comparando os resultados obtidos neste trabalho de índice de área foliar e evapotranspiração média da cultura do feijão Figura 9, pode-se notar que, efetivamente, o maior valor de índice de área foliar encontram-se no período de maior exigência evapotranspirativa, que aconteceu na fase de enchimento de grãos.

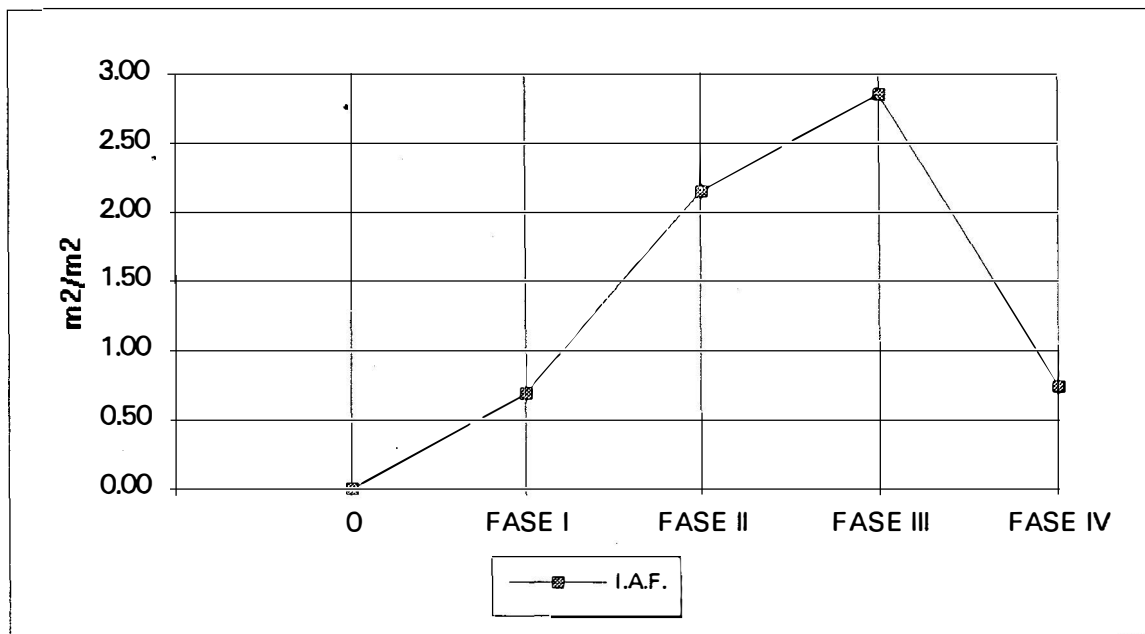


Figura 8. Comportamento do IAF ao longo do ciclo da cultura.

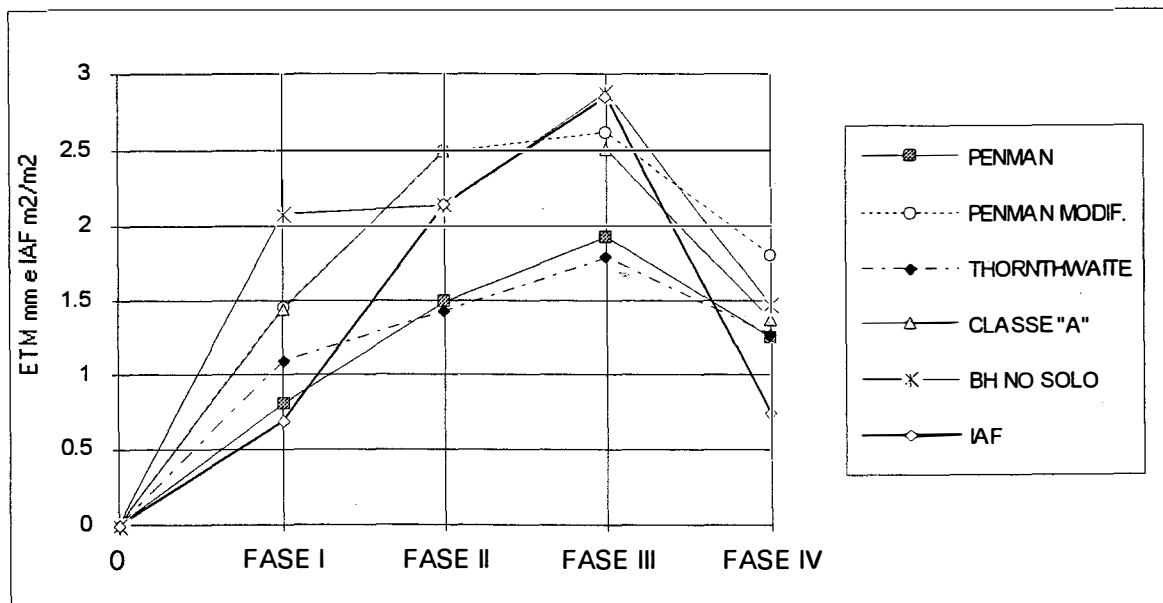


Figura 9: Comportamento da ET e do IAF para o ciclo da cultura.

#### 4.7. EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA

A eficiência de uso de água (E.U.A) refere-se a um parâmetro de produção por unidade de lâmina de água utilizada. Os resultados obtidos durante o experimento encontram-se no Quadro 14.

Analisando-se os valores determinados de E.U.A nota-se que o valor médio encontrado é elevado 0.95 (kg/m<sup>3</sup>), se comparado com o citado por DOORENBOS & KASSAN (1979) que apresentam valores de eficiência de uso de água para o feijão de 0.30 a 0.60 (kg/m<sup>3</sup>) para grãos com conteúdo de umidade em torno de 10 %. SAAD (1991), trabalhando com feijão irrigado, obtave também um valor elevado de eficiência de uso de água, da ordem de 0.80 (kg/m<sup>3</sup>) correspondente à média de 20 (vinte) parcelas.

#### 4.8. COEFICIENTE DE CULTURA CALCULADO E ESTIMADO

Os resultados obtidos para todos os métodos de evapotranspiração potencial e coeficientes de cultura divididos por fase de desenvolvimento da cultura encontram-se no Quadro 17, e Quadro 18.

Quadro 17. Valores médios de evapotranspiração potencial estimados para todos os métodos nas 4 fases de desenvolvimento.

MÉTODO	FASE I	FASE II	FASE III	FASE IV
PENMAN	30.35	46.06	41.30	45.45
PENMAN MODIFICADO	56.36	77.56	55.85	66.26
THORNTHWAITE	40.94	45.18	38.39	46.75
TANQUE CLASSE "A"	55.42	78.86	53.48	49.01
BH NO SOLO	41.60	59.92	54.72	33.81

Observamos no Quadro 17, que o comportamento da evapotranspiração potencial foi semelhante para todos os métodos, com pequenas variações devido aos valores estimados que são função das variáveis utilizadas para cada método. Isto se reflete diretamente nos valores obtidos de coeficiente de cultura para cada método, sendo que estes valores mostraram também um comportamento semelhante, porém com proporções diferentes que dependerão do método utilizado.

Quadro 18. Valores médios dos coeficientes de cultura calculados e estimados nas 4 fases de desenvolvimentos.

MÉTODO	FASE I	FASE II	FASE III	FASE IV
PENMAN	1.39	1.30	1.33	0.74
PENMAN MODIFICADO	0.74	0.77	0.98	0.51
THORNTHWAITE	1.01	1.33	1.42	0.72
TANQUE CLASSE "A"	0.75	0.76	1.02	0.69
Kc FAO	0.52	0.88	0.88	0.63

Analisando-se o Quadro 18. Observamos que os valores de coeficiente de cultura calculados e estimados apresentaram grande variação entre os métodos utilizados. Verifica-se portanto, que para os métodos de Penman e Thornthwaite os valores médios por fase, encontrados nas condições deste trabalho, mostram uma variação muito grande, sendo superestimados em relação aos valores médios propostos por DOORENBOS & KASSAN (1979), valores estes esperados devido a que os valores de evapotranspiração potencial estimados por estes dois métodos apresentaram em média resultados inferiores para todas as fases. Os outros dois métodos utilizados (Penman Modificado e Tanque Classe "A"), mostraram valores médios por fase também superiores aos recomendados anteriormente, podendo dizer que os resultados obtidos mostraram uma boa



aproximação aos citados por DOORENBOS & KASSAN (1979), o que indica que estes métodos estimaram melhor os valores médios de coeficiente de cultura. Isto mostra-se mais claramente ao observar que os valores de evapotranspiração potencial estimados por estes dois métodos foram os que mais se aproximaram dos obtidos pelo balanço hídrico no solo.

## **5. CONCLUSÕES**

- O balanço hídrico no solo mostrou-se satisfatório na determinação da evapotranspiração real.

- A drenagem profunda nas condições do experimento foi desprezível, evidenciando a eficiência de aplicação de água, evitando perdas para baixo do sistema radicular.

- O valor da ETR durante o ciclo foi de 189,9 mm/d, com um consumo médio de 2,11 mm/dia, resultado considerado confiável devido as condições do nível de umidade do solo ao longo do ciclo.

- Os valores de ETM encontrados para os métodos de Penman e Thornthwaite, subestimaram em 31 % e 30 % respectivamente os valores encontrados pelo Tanque Classe "A" ; já os resultados obtidos para Penman Modificado foram superiores em 6 % em relação ao Tanque Classe "A".

- Os valores de coeficiente de cultura ( $K_c$ ) médios calculados, obtidos pelos métodos de Penman e Thornthwaite não apresentaram resultados satisfatórios quando comparados aos valores recomendados pela FAO; para os métodos de Penman Modificado e Tanque Classe "A" os valores calculados apresentaram uma boa aproximação aos recomendados pela FAO.

- A produção observada de 2615 kg/ha demonstra a viabilidade do cultivo do feijão de inverno irrigado em nossa região.

- Comprovou-se que o comportamento da evapotranspiração está intimamente relacionado ao índice de área foliar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRADA, Y. Water balance studies. In: FAO/UNDP REGIONAL SEMINAR ON EFFECTIVE USE OF IRRIGATION WATER AT THE FARM LEVEL, Damascus, 1971. **Water use seminar Damascus**. Rome, FAO, 1972. p 90-6. ( FAO: Irrigation and Drainage Paper, 13).
- BERGAMASCHI, H. Perda de água e desenvolvimento de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob diferentes condições da disponibilidade hídrica no solo e da atmosfera. Piracicaba, 1984. 204 p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura " Luiz de Queiroz " / USP).
- BOWEN, I. S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surfaces. **Physical Review.**, Ithaca, 27: 779-87, 1926.
- BURMAN, R. D.; NIXON, P. R.; WRIGTH, J. L.; PRUITT, W. O. Water requeriment. In: JENSEN, M.E. **Desing and operation of farm irrigation system**. St. Joseph, ASAE, 1980. cap. 6, p. 189-232.
- CAIXETA, T. J.; PURCINO, J. R.; SILVA, L. Irrigação de algumas culturas. **Informe Agropecuário.**, Belo Horizonte, 9 (110): 65-76, 1983.
- CAMARGO, A. P. & PEREIRA, A. R. **Prescrição de rega por modelo climatológico**. Campinas, Fundação Cargill, 1990. 27 p.
- COSTA, A. C. S. Balanço hídrico das culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e de milho (*Zea mays* L.) sob condições de campo. Piracicaba, 1986. 166 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura " Luiz de Queiroz " / USP).

- CRUCCIANI, D. E. Balanço hídrico em solo cultivado com cana de açúcar. Utilização do método de moderação de neutrons. Piracicaba, CENA, 1972. 35 p. ( CENA, Boletim Científico, 6).
- DE FINA, A. L. & RAVELO, A. C. **Climatología y fenología agrícola**. 3 ed. Buenos aires, EUDEBA, 1979. 351 p.
- DOORENBOS, J. & KASSAN, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma, FAO, 1979. 212 p. (Estudio FAO: Riego y Drenaje, 33).
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome, FAO, 1984. 144 p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 24).
- DOWNEY, L. A. Water yield relation for nonforage crops. **Journal of the Irrigation and drainage division**, New York , **98**: 107-15., 1972.
- ENCARNAÇÃO, C. R. F. Estudo da demanda de água do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. goiano precoce. Piracicaba, 1980. 62 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura " Luiz de Queiroz " / USP).
- FANCELLI, A. L. **Cultura do feijão**. Piracicaba, FEALQ, 1987. 138 p.
- FANCELLI, A. L. & DOURADO NETO, D. **Feijão irrigado**. 3 ed. Piracicaba, ESALQ, 1992. 177 p.
- FRIZZONE, J. A.; CASSIANO SOBRINHO, F.; SA, M. E. de; BUZETTI, S. Efeito da irrigação e da adubação fosfatada sobre a produção de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., Goiânia, 1982. **Anais**. Goiânia, EMBRAPA/CNPAF, 1982. p. 162-72. (EMBRAPA/CNPAF. Documentos, 1).
- GEPTS, P. & FERNANDEZ, F. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común ( Phaseolus vulgaris L. )**. Cali, CIAT, 1982. 10 p.

- GUIMARÃES, C. M.; STEIMENTZ, S.; PORTES CASTRO, A. T. Uso de microlisímetro na determinação da evapotranspiração do feijoeiro da seca. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., Goiânia, 1982. **Anais**. Goiânia, EMBRAPA/CNPAF, 1982. p. 133-7. (EMBRAPA/CNPAF. Documentos, 1).
- INFORZATO, R. & MIYASAKA, S. Sistema radicular do feijoeiro em dois solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, 22 (2): 477-82, 1963.
- JENSEN, M. E. Evaluating irrigation efficiency. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, **93**: 83-98. 1967.
- JENSEN, M. E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York, 1973. 215 p.
- JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L. & PRUITT, B. J. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, **14**: 954-9, 1971.
- LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D. R.; BRIGGAR, J. W. Simple field methods for estimating soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **44**: 3-7, 1980.
- LOPES, C. A. Coeficiente de cultura e relação  $E_{Tr}/E_{Tc}$  para a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado. Viçosa, 1989. 76 p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- LOUREIRO, P. A. Efeito de diferentes lâminas de água sobre a produtividade do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, **37** (211): 215-26, 1990.
- LUCHIARI JUNIOR, A. Determinação do coeficiente de cultura (  $K_c$  ) para feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pelo método do balanço hídrico. Piracicaba, 1978. 59 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura " Luiz de Queiroz " / USP).

- MANTOVANI, E. C. Determinação do coeficiente de cultura para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado em duas épocas de plantio. Viçosa, 1986. 73 p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; BERNARDO, S. & LOUREIRO, B. T. Coeficiente de cultura para o feijão irrigado em plantio da seca. **Revista Ceres**, Viçosa, **35** (199): 297-306, 1988.
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S. L.; BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho e as fórmulas de Penman e Thornthwaite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, **18** (11): 1207-14, nov., 1983.
- MAZZEI, A. R.; OKAWA, H. & UENO, L.H. Prognóstico agrícola 1991/1992, safra da seca: alho, amendoim, batata, feijão, cebola e tomate. **Informações Econômicas**, São Paulo, **22** (2): 29-35, fev., 1992.
- MENDES, M. E. G.; VILLAGRA, M. M.; SOUZA, M. D.; BACCHI, O. O.; REICHARDT, K. Relações hídricas em seringal no Município de Piracicaba, SP. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, **49** (1): 103-9, 1992.
- OLIVEIRA, F. A. & SILVA, J. J. S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, **25** (3): 317-22, mar., 1990.
- OMETTO, J. C. Uma equação para a estimativa de evapotranspiração potencial. Sua aplicação no cálculo das necessidades hídricas e do desenvolvimento agro-industrial da cana de açúcar na região de Piracicaba, 1974. 129 p. (Livre docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. Agronômica Ceres, 1981. 440 p.
- PAULA SOUZA, M. L.; REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L. Perdas de água no solo por drenagem profunda. **Energia Nuclear na Agricultura**, Piracicaba, 1979. 82-93.

- PENMAN, H. L. Evaporation: an introductory survey. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, 4 (1): 9-29, 1956.
- PEREIRA, A. R. **Evapotranspiração**. Piracicaba, ESALQ/DFM, 1990. 51 p.
- PEREIRA, A. B. Demanda climática ideal de água e produtividade da cultura da batata (*Solanum tuberosum* L. cv. itararé). Botucatu, 1991. 158 p. (Mestrado - Faculdade de Ciências Agrônômicas / UNESP).
- PEREIRA, A. R.; FERRAZ, E. S. B.; REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L. Estimativa da evapotranspiração consuntiva e da drenagem profunda em cafezais cultivados em solos podzólizados em Lins-Marília. Piracicaba, CENA, 1974. 13 p. ( CENA, Boletim Científico, 5 ).
- PIRES, R.; ARRUDA, F. B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E. & BORTOLETO, N. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central. **Bragantia**, Campinas, 50 (1): 153-63, 1991.
- PRIESTLEY, C. H. B. & TAYLOR, R. J. On the assessment of sun face heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, Boston, 100: 81-92, 1972.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 445 p.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L.; SANTOS, J. M. An analysis of soil water moviment in the field. II. Water balance in snap bean crop. Piracicaba, CENA, 1974. 14 p. ( CENA, Boletim Científico, BC-022 ).
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L.; SAUNDERS, L.C. V.; CADIMA, Z. A. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 3: 1-5, 1979.
- ROSE, C. W. **Agricultural physics**. Oxford, Pergamon Press, 1966. 230 p.

- ROSE, C. W. & STERN, W. R. Determination of withdrawal of water from soil by crops roots as a function of depth and time. **Australian Journal Soil Research**, East Melbourne, 5: 11-9, 1967.
- SAAD, A. M. Uso do tensiômetro no controle da irrigação por pivô central em cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, 1991. 144 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura " Luiz de Queiroz " / USP).
- SAKAI, E. Balanço hídrico e energético na cultura do feijoeiro em latossolo roxo. Piracicaba, 1989. 121 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura " Luiz de Queiroz " / USP).
- SEDIYAMA, G. C. Estudo de métodos para estimativa da evapotranspiração potencial em Viçosa. Viçosa, 1972. 43 p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- SILVEIRA P. M. da & STONE, L. F. Balanço de água na cultura do feijão em latossolo vermelho amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 14 (2): 111-5, 1979.
- SLATYER, R. O. **Plant water relationships**. New York, Academic Press, 1967. 366 p.
- STEINMETZ, S. Evapotranspiração máxima no cultivo do feijão de inverno. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia , 3. Campinas, 1983. **Resumo**. Campinas, Fundação Cargill, 1983. p. 273-81.
- STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, S. C. da. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 23 (20): 161-7, fev., 1988.
- TANNER, C. B. Evaporation of water from plants and soil. (In: Kozlowski, T. T., ed). **Water deficits and plant growth**. New York, Academic Press, 1968. v. 1, p. 73-106.



- THORNTON, C. W.; ROYER, J. M.; BOCALATO, R. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, 38: 55-94, 1948.
- THORNTON, C. W. & HOLZMAN, B. The determination of evaporation from land and water surfaces. **Monthly Weather Review**, Washington, D. C. 67: 4-11, 1939.
- VACHAUD, G.; TEHEL, J.; ROYER, J. M.; BOCALATO, R. Controle automatique "in situ" des transferts d'eau dans la zone non saturée. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Isotope and radiation techniques in soil physics and irrigation studies**. Vienna, 1973. p. 1-5.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 44: 892-8, 1980.
- VILLA NOVA, N. A. A estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1967. 66 p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- VILLA NOVA, N. A. **Principais métodos climáticos de estimativa de aplicação de água de irrigação**. Piracicaba, ESALQ/DFM, 1987. 22 p.
- VILLA NOVA, N. A. & REICHARDT, K. **Evaporação e evapotranspiração**. In: RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A. G.; MAGALHÃES, P.C. de; CLEARY, R. W. Engenharia hidrológica. Rio de Janeiro, Ed. da UFRJ, 1989. p. 145-97. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos).

# ANEXO 1

Tabela 1. Valores diários dos Parâmetros Climáticos utilizados para o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico.

DIA	VENTO	Ta	C.ENERG	C.AEROD	C.SB	n	nN	RG	Qo/59	es	ea	UR	es-ee	EA	EPI	EAPi	ECAPo	RL	ETOPm	EToP	ETOPc	1-r	RAI/Ze	RLM
17	0.48	15.65	0.64	0.36	13.98	9.20	0.88	321.0	9.60	13.29	9.97	75.0	3.32	1.46	3.8	1.06	2.88	0.76	1.55	1.19	1.01	0.76	3.16	2.43
18	0.47	15.65	0.64	0.38	13.98	6.80	0.82	286.0	9.60	13.29	9.83	74.0	3.46	1.51	4.0	1.12	2.48	1.27	1.93	1.41	1.35	0.76	3.14	2.15
19	0.55	16.25	0.64	0.36	14.17	9.10	0.85	306.0	9.60	13.81	9.81	71.0	4.00	1.81	4.9	1.37	3.01	0.53	1.71	1.31	0.98	0.76	3.13	2.42
20	0.63	19.50	0.67	0.33	14.78	7.10	0.68	285.0	9.60	17.00	12.07	71.0	4.93	2.30	5.1	1.43	3.4	1.12	2.18	1.83	1.51	0.76	3.47	2.21
21	0.51	20.20	0.67	0.33	14.88	9.20	0.86	302.0	9.60	17.75	12.96	73.0	4.79	2.13	4.5	1.26	3.22	0.82	1.81	1.60	1.25	0.76	3.80	2.43
22	0.51	20.35	0.67	0.33	14.98	7.80	0.73	280.0	9.60	17.86	13.40	75.0	4.47	1.98	4.2	1.18	3.42	1.12	1.93	1.64	1.41	0.76	3.66	2.28
23	0.69	20.40	0.67	0.33	14.98	9.10	0.85	305.0	9.60	17.97	12.76	71.0	5.21	2.49	5.6	1.57	3.46	0.83	2.13	1.82	1.38	0.76	3.57	2.42
24	0.55	20.95	0.68	0.31	15.08	8.70	0.81	286.0	9.60	18.54	13.35	72.0	5.19	2.34	6.8	1.90	3.34	0.91	2.53	1.76	1.36	0.76	3.65	2.38
25	0.44	19.70	0.67	0.33	14.78	8.60	0.80	306.0	9.60	17.21	12.22	71.0	4.99	2.15	3.3	0.92	3.42	0.85	1.56	1.67	1.35	0.76	3.50	2.37
28	0.74	19.30	0.67	0.33	14.68	6.80	0.64	280.0	9.60	16.79	11.42	66.0	5.37	2.61	5.7	1.60	3.32	1.21	2.41	2.05	1.68	0.76	3.38	2.17
total	5.57	187.95	6.63	3.37	146.28	82.20	7.69	2897.0	96.00	163.51	117.77	721.0	45.74	6.02	47.9	13.41	31.96	9.52	19.73	16.27	13.30	7.60	34.26	23.26
media	0.56	18.80	0.66	0.34	14.63	8.22	0.77	289.7	9.60	16.35	11.78	72.1	4.57	2.08	4.8	1.34	3.20	0.85	1.97	1.63	1.33	0.76	3.43	2.33
DIA	VENTO	Ta	C.ENERG	C.AEROD	C.SB	n	nN	RG	Qo/59	es	ea	UR	es-ee	EA	EPI	EAPi	ECAPo	RL	ETOPm	EToP	ETOPc	1-r	RAI/Ze	RLM
7	2.47	13.30	0.61	0.38	13.61	0.0	0.00	68.0	10	11.45	9.73	65.0	1.72	1.38	2.90	0.81	3.36	0.50	1.11	1.05	0.86	0.76	3.12	1.50
8	1.20	13.75	0.61	0.38	13.69	0.1	0.01	63.0	10	11.76	11.28	96.0	0.47	0.27	0.30	0.08	2.16	0.43	0.35	0.33	0.37	0.76	3.36	1.51
9	0.34	17.00	0.64	0.36	14.27	8.6	0.78	333.0	10	14.53	11.91	82.0	2.62	1.08	2.80	0.78	2.08	1.40	1.68	1.20	1.29	0.76	3.45	2.45
10	0.70	16.00	0.64	0.36	14.07	6.3	0.58	278.0	10	13.63	11.04	81.0	2.59	1.24	3.90	1.09	2.82	1.30	1.82	1.26	1.28	0.76	3.32	2.20
11	0.70	18.25	0.67	0.33	14.58	9.7	0.89	326.0	10	15.67	11.75	75.0	3.82	1.88	4.10	1.15	3.04	0.89	1.74	1.48	1.22	0.76	3.43	2.57
12	0.32	18.90	0.67	0.33	14.68	8.3	0.76	317.0	10	16.37	12.44	76.0	3.83	1.61	3.60	1.01	3.09	1.28	1.87	1.48	1.39	0.76	3.53	2.42
13	0.66	18.80	0.67	0.33	14.68	9.4	0.86	324.0	10	16.27	12.04	74.0	4.23	2.01	5.00	1.40	3.71	0.98	2.06	1.60	1.32	0.76	3.47	2.54
14	1.21	20.10	0.67	0.33	14.68	9.4	0.66	332.0	10	17.64	11.11	66.0	6.53	3.74	7.10	1.89	5.12	0.82	2.61	2.61	1.86	0.76	3.33	2.54
15	0.64	20.00	0.67	0.33	14.88	9.4	0.66	330.0	10	17.54	11.58	63.0	5.96	2.79	5.70	1.60	4.46	0.93	2.22	2.05	1.55	0.76	3.40	2.54
16	0.21	20.05	0.67	0.33	14.88	6.9	0.63	282.0	10	17.54	14.03	80.0	3.51	1.36	3.10	0.87	2.53	1.41	1.81	1.38	1.39	0.76	3.75	2.26
total	8.47	176.15	6.52	3.46	144.02	68.1	6.28	2653.0	100	152.40	116.93	778.0	35.47	17.35	38.50	10.78	32.37	10.04	17.37	14.43	12.53	7.80	34.16	22.52
media	0.85	17.82	0.65	0.35	14.40	6.8	0.63	265.3	10	15.24	11.69	77.8	3.55	1.74	3.85	1.08	3.24	1.00	1.74	1.44	1.25	0.76	3.42	2.25
DIA	VENTO	Ta	C.ENERG	C.AEROD	C.SB	n	nN	RG	Qo/59	es	ea	UR	es-ee	EA	EPI	EAPi	ECAPo	RL	ETOPm	EToP	ETOPc	1-r	RAI/Ze	RLM
7	2.47	13.30	0.61	0.38	13.61	0.0	0.00	68.0	10	11.45	9.73	65.0	1.72	1.38	2.90	0.81	3.36	0.50	1.11	1.05	0.86	0.76	3.12	1.50
8	1.20	13.75	0.61	0.38	13.69	0.1	0.01	63.0	10	11.76	11.28	96.0	0.47	0.27	0.30	0.08	2.16	0.43	0.35	0.33	0.37	0.76	3.36	1.51
9	0.34	17.00	0.64	0.36	14.27	8.6	0.78	333.0	10	14.53	11.91	82.0	2.62	1.08	2.80	0.78	2.08	1.40	1.68	1.20	1.29	0.76	3.45	2.45
10	0.70	16.00	0.64	0.36	14.07	6.3	0.58	278.0	10	13.63	11.04	81.0	2.59	1.24	3.90	1.09	2.82	1.30	1.82	1.26	1.28	0.76	3.32	2.20
11	0.70	18.25	0.67	0.33	14.58	9.7	0.89	326.0	10	15.67	11.75	75.0	3.82	1.88	4.10	1.15	3.04	0.89	1.74	1.48	1.22	0.76	3.43	2.57
12	0.32	18.90	0.67	0.33	14.68	8.3	0.76	317.0	10	16.37	12.44	76.0	3.83	1.61	3.60	1.01	3.09	1.28	1.87	1.48	1.39	0.76	3.53	2.42
13	0.66	18.80	0.67	0.33	14.68	9.4	0.86	324.0	10	16.27	12.04	74.0	4.23	2.01	5.00	1.40	3.71	0.98	2.06	1.60	1.32	0.76	3.47	2.54
14	1.21	20.10	0.67	0.33	14.68	9.4	0.66	332.0	10	17.64	11.11	66.0	6.53	3.74	7.10	1.89	5.12	0.82	2.61	2.61	1.86	0.76	3.33	2.54
15	0.64	20.00	0.67	0.33	14.88	9.4	0.66	330.0	10	17.54	11.58	63.0	5.96	2.79	5.70	1.60	4.46	0.93	2.22	2.05	1.55	0.76	3.40	2.54
16	0.21	20.05	0.67	0.33	14.88	6.9	0.63	282.0	10	17.54	14.03	80.0	3.51	1.36	3.10	0.87	2.53	1.41	1.81	1.38	1.39	0.76	3.75	2.26
total	8.47	176.15	6.52	3.46	144.02	68.1	6.28	2653.0	100	152.40	116.93	778.0	35.47	17.35	38.50	10.78	32.37	10.04	17.37	14.43	12.53	7.80	34.16	22.52
media	0.85	17.82	0.65	0.35	14.40	6.8	0.63	265.3	10	15.24	11.69	77.8	3.55	1.74	3.85	1.08	3.24	1.00	1.74	1.44	1.25	0.76	3.42	2.25

continuação ...

DIA	VENTO	Ta	C.ENERG	CAEROD	C.SB	n	nN	RG	Qo/59	es	ea	UR	es-esa	EA	EPI	EAP1	ECAPO	RL	ETOPm	ETOP	ETOPc	1-r	RAIzea	RLM
17	0.15	17.07	0.64	0.36	14.27	3.50	0.32	20.00	100	14.62	12.72	87.0	1.80	0.72	1.8	0.50	1.44	1.25	1.30	0.82	1.06	0.76	3.57	1.88
18	0.78	21.10	0.69	0.31	15.08	8.00	0.74	323.0	100	18.77	12.95	69.0	5.82	2.87	8.1	2.27	5.24	1.45	3.27	2.28	1.89	0.76	3.80	2.38
19	0.60	16.25	0.64	0.36	14.07	9.20	0.85	344.0	100	13.81	8.98	85.0	4.83	2.23	4.1	1.15	3.81	0.91	1.73	1.71	1.38	0.76	3.00	2.52
20	0.17	17.10	0.64	0.36	14.27	9.30	0.66	300.0	100	14.62	10.97	75.0	3.66	1.39	3.1	0.87	2.36	0.61	1.26	1.09	0.89	0.76	3.31	2.53
21	0.50	18.45	0.67	0.33	14.58	5.30	0.49	289.0	100	15.87	11.43	72.0	4.44	1.96	5.2	1.46	3.07	1.84	2.69	1.92	1.88	0.76	3.38	2.09
22	1.24	19.40	0.67	0.33	14.78	4.90	0.45	260.0	100	16.69	12.67	75.0	4.22	2.44	3.8	1.06	3.61	1.56	2.11	2.09	1.85	0.76	3.56	2.04
23	2.74	13.65	0.61	0.38	13.61	0.90	0.08	215.0	100	11.68	9.11	78.0	2.57	2.19	4.7	1.32	3.05	2.08	2.59	2.15	2.13	0.76	3.02	1.80
24	3.56	13.10	0.61	0.38	13.51	0.30	0.03	141.0	100	11.31	8.26	73.0	3.05	3.07	6.9	1.93	3.77	1.31	2.73	2.40	2.04	0.76	2.87	1.53
25	2.30	16.15	0.64	0.36	14.07	5.60	0.52	311.0	100	13.72	10.28	75.0	3.43	2.65	6	1.68	4.35	1.85	2.87	2.34	2.14	0.76	3.21	2.12
26	0.71	15.95	0.64	0.36	14.07	9.30	0.66	363.0	100	13.55	9.35	69.0	4.20	2.02	4.5	1.26	3.88	1.19	2.02	1.70	1.49	0.76	3.06	2.53
total	12.75	168.22	6.45	3.53	142.31	56.30	5.18	2756.0	100.0	14.48	106.71	738.0	38.13	21.55	48.2	13.50	34.58	14.05	22.56	18.61	16.75	7.60	32.57	21.22
media	1.28	16.82	0.65	0.35	14.23	5.63	0.52	275.6	100	14.48	10.67	73.8	3.81	2.15	4.82	1.35	3.46	1.41	2.26	1.86	1.67	0.76	3.26	2.12
DIA	VENTO	Ta	C.ENERG	CAEROD	C.SB	n	nN	RG	Qo/59	es	ea	UR	es-esa	EA	EPI	EAP1	ECAPO	RL	ETOPm	ETOP	ETOPc	1-r	RAIzea	RLM
27	0.58	16.70	0.64	0.36	14.27	6.50	0.60	347.0	100	14.26	9.98	70.0	4.28	1.95	5.20	1.46	3.39	1.96	2.71	1.96	1.96	0.76	3.16	2.22
28	0.46	16.30	0.64	0.36	14.07	2.00	0.18	184.0	100	13.90	10.88	79.0	2.82	1.27	2.70	0.76	1.42	1.52	1.73	1.37	1.43	0.76	3.31	1.72
29	0.42	18.20	0.67	0.33	14.47	9.60	0.88	344.0	100	15.67	10.19	65.0	5.48	2.34	5.30	1.48	3.86	0.90	2.09	1.76	1.38	0.76	3.19	2.56
30	0.48	19.40	0.67	0.33	14.78	9.40	0.88	342.0	100	16.89	9.80	58.0	7.09	3.11	7.00	1.96	4.20	0.79	2.49	2.18	1.56	0.76	3.13	2.54
31	1.09	21.20	0.69	0.31	14.88	8.80	0.90	362.0	100	18.88	10.95	58.0	7.83	4.37	7.50	2.10	4.78	1.11	2.86	3.04	2.13	0.76	3.31	2.58
1	1.50	20.70	0.69	0.31	15.08	9.40	0.84	341.0	11.6	18.31	11.54	63.0	6.77	4.24	7.50	2.10	4.78	1.11	2.87	2.96	2.09	0.76	3.40	2.81
2	2.83	16.45	0.64	0.36	14.17	1.50	0.13	209.0	11.6	13.99	11.05	79.0	2.84	2.56	5.30	1.48	4.09	1.88	2.69	2.29	2.12	0.76	3.32	1.93
3	1.61	14.90	0.61	0.38	13.88	0.30	0.03	215.0	11.6	12.71	9.91	78.0	2.80	1.81	4.90	1.37	2.32	2.29	2.77	1.99	2.11	0.76	3.15	1.78
4	0.80	20.05	0.67	0.33	14.88	8.30	0.74	348.0	11.6	17.54	11.05	63.0	6.49	3.23	6.90	1.93	4.40	1.51	2.84	2.54	2.08	0.76	3.32	2.77
5	1.12	20.60	0.69	0.31	15.08	7.00	0.63	347.0	11.6	18.20	12.74	70.0	5.46	3.04	6.50	1.82	4.71	2.08	3.26	2.65	2.38	0.76	3.57	2.61
total	10.89	184.50	6.61	3.38	145.56	63.80	5.80	3049.0	108.0	160.35	108.19	683.0	52.16	27.81	58.80	16.46	39.33	15.15	26.40	22.73	19.24	7.60	32.87	23.61
media	1.09	18.45	0.66	0.34	14.56	6.38	0.56	304.9	10.8	16.04	10.82	68.3	5.22	2.79	5.88	1.65	3.93	1.52	2.64	2.27	1.92	0.76	3.29	2.36
DIA	VENTO	Ta	C.ENERG	CAEROD	C.SB	n	nN	RG	Qo/59	es	ea	UR	es-esa	EA	EPI	EAP1	ECAPO	RL	ETOPm	ETOP	ETOPc	1-r	RAIzea	RLM
6	0.94	19.15	0.67	0.33	14.68	8.9	0.79	359.0	11.6	16.58	11.27	68.0	5.31	2.77	4.40	1.23	4.36	1.54	2.26	2.28	1.95	0.76	3.36	2.85
7	0.94	19.00	0.67	0.33	14.68	7.4	0.66	353.0	11.6	16.48	10.22	62.0	6.26	3.27	7.00	1.96	4.56	1.77	3.15	2.67	2.27	0.76	3.20	2.66
8	1.56	21.75	0.71	0.29	15.29	2.9	0.26	267.0	11.6	19.47	13.04	67.0	6.43	4.09	5.20	1.46	3.75	2.24	3.05	3.32	2.76	0.76	3.61	2.10
9	1.60	19.10	0.67	0.33	14.68	4.6	0.41	299.0	11.6	16.98	11.94	72.0	4.64	3.16	5.20	1.46	3.97	2.13	2.89	2.75	2.48	0.76	3.46	2.31
10	0.23	20.10	0.67	0.33	14.88	3.8	0.34	290.0	11.6	17.64	12.35	70.0	5.29	2.08	3.80	1.06	3.04	2.27	2.58	2.15	2.20	0.76	3.51	2.21
11	0.86	19.20	0.67	0.33	14.68	4.1	0.37	309.0	11.6	16.69	9.68	58.0	7.01	3.56	6.60	1.85	4.34	2.20	3.32	3.02	2.86	0.76	3.11	2.25
12	0.77	18.85	0.67	0.33	14.88	7.6	0.68	293.0	11.6	17.43	12.72	73.0	4.71	2.31	4.10	1.15	3.48	1.25	1.98	1.89	1.60	0.76	3.57	2.68
13	1.23	16.80	0.64	0.36	14.27	5.8	0.52	300.0	11.6	14.35	10.76	75.0	3.58	2.07	3.20	0.90	3.48	1.73	2.00	1.93	1.85	0.76	3.28	2.46
14	1.11	17.00	0.64	0.36	14.27	10.2	0.91	420.0	11.6	14.53	10.03	69.0	4.50	2.50	4.70	1.32	4.12	1.80	2.47	2.23	2.05	0.76	3.17	3.01
15	1.80	16.50	0.64	0.36	14.17	9.7	0.87	410.0	11.6	14.08	9.57	68.0	4.51	2.90	4.90	1.37	4.68	1.77	2.51	2.46	2.18	0.76	3.09	2.95
total	11.04	188.55	6.65	3.35	146.46	65.0	5.80	3299.0	116.0	163.83	111.59	682.0	52.24	28.73	48.10	13.75	39.78	18.70	26.21	24.70	21.99	7.60	33.55	25.48
media	1.10	18.86	0.67	0.34	14.65	6.5	0.58	329.9	11.6	16.38	11.16	68.2	5.22	2.87	4.91	1.37	3.98	1.87	2.62	2.47	2.20	0.76	3.34	2.55

con tnuaçã o ...

DIA	VENTO	Ts	C.ENERG	C.AEROD	C.SB	n	nN	RG	Op69	es	es	UR	es..es	EA	EPI	EAPI	ECAPO	RL	ETOPm	ETOP	ETOPc	1-r	RAIZes	RLM
16	0.75	16.90	0.64	0.36	14.17	9.30	0.83	395	116	14.08	10.14	72.0	3.94	1.92	3.80	1.06	4.44	1.81	2.22	1.88	1.85	0.76	3.18	2.90
17	0.84	20.40	0.67	0.33	14.88	8.20	0.73	362	116	17.54	10.70	61.0	6.84	3.45	6.70	1.88	4.53	1.66	2.89	2.73	2.26	0.76	3.27	2.76
18	0.61	20.40	0.67	0.33	14.88	1.70	0.15	210	116	17.97	13.84	77.0	4.13	1.91	2.80	0.78	2.45	1.91	2.06	1.81	1.91	0.76	3.72	1.95
19	1.21	21.40	0.69	0.31	15.19	5.00	0.45	252	116	19.11	14.91	76.0	4.20	2.41	3.70	1.04	4.01	1.63	2.16	2.09	1.87	0.76	3.86	2.36
20	1.75	20.90	0.67	0.33	14.88	7.80	0.70	350	116	17.54	13.33	76.0	4.21	2.83	3.80	1.06	5.11	2.01	2.41	2.50	2.28	0.76	3.85	2.71
21	0.78	19.30	0.67	0.33	14.78	2.00	0.18	183	116	16.79	14.78	88.0	2.01	0.99	2.30	0.64	1.32	1.53	1.67	1.71	1.35	0.76	3.84	1.89
22	0.64	19.25	0.67	0.33	14.68	1.20	0.11	144	116	16.69	15.86	95.0	0.83	0.39	0.80	0.22	0.70	1.27	1.08	0.74	0.98	0.76	3.98	1.89
23	1.81	21.30	0.69	0.31	15.08	4.30	0.38	240	116	19.00	16.34	86.0	2.66	1.82	3.20	0.90	3.70	1.77	2.12	1.80	1.79	0.76	4.04	2.27
24	0.76	18.30	0.67	0.33	14.58	10.30	0.92	453	116	15.77	9.62	61.0	6.15	3.01	5.00	1.40	5.40	2.04	2.74	2.56	2.34	0.76	3.10	3.02
25	1.14	16.50	0.64	0.36	14.17	10.10	0.90	449	116	14.08	8.87	63.0	5.21	2.92	5.20	1.46	5.62	2.01	2.74	2.56	2.34	0.76	2.88	3.00
total	10.29	192.95	6.68	3.32	14.739	59.90	5.35	3038	1160	168.57	128.37	757.0	40.20	21.65	373.0	104.4	372.8	17.64	22.21	20.05	18.98	7.60	35.63	24.84
media	1.03	19.30	0.67	0.33	14.74	5.98	0.53	303.80	116	16.86	12.84	75.7	4.02	2.17	3.73	1.04	3.73	1.76	2.22	2.00	1.90	0.76	3.56	2.48

DIA	VENTO	Ts	C.ENERG	C.AEROD	C.SB	n	nN	RG	Op69	es	es	UR	es..es	EA	EPI	EAPI	ECAPO	RL	ETOPm	ETOP	ETOPc	1-r	RAIZes	RLM
5	0.48	17.60	0.67	0.33	14.37	0.00	0.00	104	137	15.09	14.34	95	0.75	0.33	0.80	0.22	1.04	1.02	0.91	0.61	0.79	0.76	3.79	2.06
6	2.14	16.70	0.64	0.36	14.27	0.00	0.00	84	137	14.26	13.69	96	0.57	0.42	1.20	0.34	0.16	0.76	0.82	0.55	0.64	0.76	3.70	2.06
7	3.06	17.40	0.64	0.36	13.37	2.4	0.20	332	137	14.90	11.77	79	3.13	2.86	5.00	1.40	4.56	3.34	3.54	3.04	3.16	0.76	3.43	2.38
8	2.89	18.00	0.67	0.33	14.47	9.8	0.82	444	137	15.48	10.37	67	5.11	4.32	6.70	1.88	5.80	2.46	3.52	3.57	3.08	0.76	3.22	3.40
9	3.76	19.70	0.67	0.33	14.58	9.0	0.75	481	137	16.17	10.51	65	5.66	5.90	10.10	2.83	7.22	3.29	5.03	4.85	4.16	0.76	3.24	3.29
10	0.50	19.75	0.67	0.33	14.88	9.4	0.78	482	137	17.21	10.84	63	6.37	2.81	9.90	2.77	6.77	3.05	4.82	2.81	2.97	0.76	3.29	3.34
11	0.90	16.05	0.64	0.36	14.07	0.00	0.00	72	137	13.63	11.86	87	1.77	0.91	2.20	0.62	0.14	0.58	0.98	0.78	0.70	0.76	3.44	2.06
12	0.91	15.10	0.61	0.38	13.88	0.00	0.00	58	137	12.87	12.74	99	0.13	0.07	0.50	0.14	0.08	0.39	0.38	0.19	0.27	0.76	3.57	2.06
13	1.00	21.40	0.69	0.31	15.19	8.4	0.70	423	137	18.11	14.33	75	4.78	2.55	4.80	1.34	4.76	3.02	3.43	2.74	2.87	0.76	3.79	3.21
14	0.50	19.55	0.67	0.33	14.78	0.9	0.08	189	137	17.00	13.43	79	3.57	1.58	3.20	0.90	1.55	1.86	2.15	1.68	1.77	0.76	3.66	2.18
total	15.94	180.25	6.57	3.42	14.386	39.9	3.33	2677	1370	155.72	123.88	805	31.84	21.75	44.40	12.43	32.08	19.77	25.57	20.94	20.41	7.60	35.14	26.02
media	1.59	18.03	0.66	0.34	14.39	4.0	0.33	268	137	15.57	12.39	81	3.18	2.17	4.44	1.24	3.21	1.98	2.56	2.09	2.04	0.76	3.51	2.60

DIA	VENTO	Ts	C.ENERG	C.AEROD	C.SB	n	nN	RG	Op69	es	es	UR	es..es	EA	EPI	EAPI	ECAPO	RL	ETOPm	ETOP	ETOPc	1-r	RAIZes	RLM
15	0.65	16.95	0.64	0.36	14.27	0.00	0.00	47.0	137	14.44	14.01	97.0	0.43	0.20	0.3	0.08	0.00	0.29	0.27	0.23	0.26	0.76	3.74	2.06
16	0.18	19.90	0.67	0.33	14.88	1.50	0.13	199.0	137	17.43	15.16	87.0	2.27	0.87	1.8	0.50	2.26	1.77	1.69	1.23	1.47	0.76	3.89	2.26
17	0.88	20.45	0.67	0.33	14.98	4.20	0.35	324.0	137	17.97	15.83	87.0	2.34	1.20	2.7	0.76	4.20	2.90	2.70	1.88	2.33	0.76	3.95	2.63
18	1.22	21.05	0.69	0.31	15.08	2.90	0.24	289.0	137	18.65	16.04	86.0	2.61	1.50	3.5	0.98	3.36	2.51	1.91	1.91	2.19	0.76	4.00	2.45
19	0.88	21.10	0.69	0.31	15.08	5.00	0.42	366.0	137	18.77	14.83	79.0	3.94	2.02	3.8	1.06	5.04	3.19	3.26	2.49	2.82	0.76	3.85	2.74
total	3.81	99.45	3.36	1.64	14.28	13.60	1.13	1195.00	6850	87.76	75.67	436.00	11.59	5.79	12.10	3.39	14.86	10.66	10.63	7.76	9.09	3.80	19.45	12.14
media	0.76	19.88	0.67	0.33	14.86	2.72	0.23	239.00	1370	17.45	15.13	87.20	2.32	1.16	2.42	0.68	2.97	2.13	2.13	1.55	1.82	0.76	3.89	2.43

Tabela 2. Valores dos coeficientes de conversão do Tanque Classe "A" (Kp) segundo DOORENBOS & KASSAN (1979).

Vento km/dia	Tanque colocado em area cultivada vegatacao baixa				Tanque colocado em area nao cultivada			
	Tamanho da bordadura (grama) m.	Umidade relativa media %			Tamanho da bordadura (solo nu) m.	Umidade relativa media %		
		baixa 40	media 40 -70	alta >70		baixa 40	media 40 -70	alta >70
Leve <175	1	0.55	0.65	0.75	1	0.7	0.8	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.6	0.7	0.8
	100	0.7	0.8	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.5	0.6	0.7
Moderado 175-425	1	0.5	0.6	0.65	1	0.65	0.75	0.8
	10	0.6	0.7	0.75	10	0.55	0.65	0.7
	100	0.65	0.75	0.8	100	0.5	0.6	0.65
	1000	0.7	0.8	0.8	1000	0.45	0.55	0.6
Forte 425-700	1	0.45	0.5	0.6	1	0.6	0.65	0.7
	10	0.55	0.6	0.65	10	0.5	0.55	0.65
	100	0.6	0.65	0.7	100	0.45	0.5	0.6
	1000	0.65	0.7	0.75	1000	0.4	0.45	0.55
Muito Forte >700	1	0.4	0.45	0.5	1	0.5	0.6	0.65
	10	0.45	0.55	0.6	10	0.45	0.5	0.55
	100	0.5	0.6	0.65	100	0.4	0.45	0.5
	1000	0.55	0.6	0.65	1000	0.35	0.4	0.45

Tabela 3. Duração máxima da insolação diária (N).

LATITUDE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
10N	11.6	11.8	12.1	12.4	12.6	12.7	12.6	12.4	12.2	11.9	11.7	11.5
8N	11.7	11.9	12.1	12.3	12.5	12.6	12.5	12.4	12.2	12.0	11.8	11.6
6N	11.8	11.9	12.1	12.3	12.4	12.5	12.4	12.3	12.2	12.0	11.9	11.7
4N	11.9	12.0	12.1	12.2	12.3	12.4	12.3	12.2	12.0	12.0	11.9	11.9
2N	12.0	12.0	12.1	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.1	12.1	12.0	12.0
EQUADOR	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
2S	12.2	12.2	12.1	12.1	12.0	12.0	12.0	12.0	12.1	12.1	12.2	12.2
4S	12.3	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.9	12.0	12.1	12.2	12.3	12.4
6S	12.4	12.3	12.1	12.0	11.9	11.7	11.8	11.9	12.1	12.2	12.4	12.5
8S	12.5	12.4	12.1	11.9	11.7	11.6	11.7	11.9	12.1	12.3	12.4	12.6
10S	12.6	12.4	12.1	11.9	11.7	11.5	11.6	11.8	12.0	12.3	12.5	12.7
12S	12.7	12.5	12.2	11.8	11.6	11.4	11.5	11.7	12.0	12.4	12.7	12.8
14S	12.8	12.6	12.2	11.8	11.5	11.3	11.4	11.6	12.0	12.4	12.8	12.9
16S	13.0	12.7	12.2	11.7	11.4	11.2	11.2	11.6	12.0	12.4	12.9	13.1
18S	13.1	12.7	12.2	11.7	11.3	11.1	11.1	11.5	12.0	12.5	13.0	13.2
20S	13.2	12.8	12.2	11.6	11.2	10.9	11.0	11.4	12.0	12.5	13.2	13.3
22S	13.4	12.8	12.2	11.6	11.1	10.8	10.9	11.3	12.0	12.6	13.2	13.5
24S	13.5	12.9	12.3	11.5	10.9	10.7	10.8	11.3	11.9	12.6	13.3	13.6
26S	13.6	12.9	12.3	11.5	10.8	10.5	10.7	11.2	11.9	12.7	13.4	13.8
28S	13.7	13.0	12.3	11.4	10.7	10.4	10.6	11.1	11.9	12.8	13.5	13.9
30S	13.9	13.1	12.3	11.4	10.6	10.2	10.4	11.0	11.9	12.8	13.6	14.1
32S	14.0	13.2	12.3	11.3	10.5	10.0	10.3	10.9	11.9	12.9	13.7	14.2
34S	14.2	13.3	12.3	11.3	10.3	9.8	10.1	10.9	11.9	12.9	13.9	14.4
36S	14.3	13.4	12.4	11.2	10.2	9.7	10.0	10.7	11.9	13.0	14.0	14.6
38S	14.5	13.5	12.4	11.1	10.1	9.5	9.8	10.6	11.8	13.1	14.2	14.8
40S	14.7	13.6	12.4	11.1	9.9	9.3	9.6	10.5	11.8	13.1	14.3	15.0

Tabela 4. Pressão de saturação do vapor d'água (es) em mmHg.

(t)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	4.58	4.61	4.65	4.68	4.72	4.75	4.79	4.82	4.86	4.89
1	4.93	4.96	5.00	5.03	5.07	5.11	5.14	5.18	5.22	5.26
2	5.29	5.33	5.37	5.41	5.45	5.49	5.53	5.57	5.61	5.65
3	5.69	5.73	5.77	5.81	5.85	5.89	5.93	5.97	6.02	6.06
4	6.10	6.14	6.19	6.23	6.27	6.32	6.36	6.41	6.45	6.50
5	6.54	6.59	6.64	6.68	6.73	6.78	6.82	6.87	6.92	6.97
6	7.01	7.06	7.11	7.16	7.21	7.26	7.31	7.36	7.41	7.46
7	7.51	7.57	7.62	7.67	7.72	7.78	7.83	7.88	7.94	7.99
8	8.05	8.10	8.16	8.21	8.27	8.32	8.38	8.44	8.49	8.55
9	8.61	8.67	8.73	8.79	8.85	8.91	8.97	9.03	9.09	9.15
10	9.21	9.27	9.33	9.40	9.46	9.52	9.59	9.65	9.71	9.78
11	9.84	9.91	9.98	10.04	10.11	10.18	10.24	10.31	10.38	10.45
12	10.52	10.59	10.66	10.73	10.80	10.87	10.94	11.01	11.09	11.16
13	11.23	11.31	11.38	11.45	11.53	11.60	11.68	11.76	11.83	11.91
14	11.99	12.07	12.14	12.22	12.30	12.38	12.46	12.54	12.62	12.71
15	12.79	12.87	12.95	13.04	13.12	13.21	13.29	13.38	13.46	13.55
16	13.63	13.72	13.81	13.90	13.99	14.08	14.17	14.26	14.35	14.44
17	14.53	14.62	14.72	14.81	14.90	15.00	15.09	15.19	15.28	15.38
18	15.48	15.58	15.67	15.77	15.87	15.97	16.07	16.17	16.27	16.37
19	16.48	16.58	16.69	16.79	16.89	17.00	17.11	17.21	17.32	17.43
20	17.54	17.84	17.75	17.86	17.97	18.09	18.20	18.31	18.42	18.54
21	18.65	18.77	18.88	19.00	19.11	19.23	19.35	19.47	19.59	19.71
22	19.83	19.95	20.07	20.19	20.32	20.44	20.57	20.69	20.82	20.94
23	21.07	21.20	21.32	21.45	21.58	21.71	21.85	21.98	22.11	22.24
24	22.38	22.51	22.65	22.79	22.92	23.06	23.20	23.34	23.48	23.62
25	23.76	23.90	24.04	24.18	24.33	24.47	24.62	24.76	24.91	25.06
26	25.21	25.36	25.51	25.66	25.81	25.96	26.12	26.27	26.43	26.58
27	26.74	26.90	27.07	27.21	27.37	27.54	27.70	27.86	28.02	28.19
28	28.35	28.51	28.68	28.85	29.02	29.18	29.35	29.53	29.70	29.87
29	30.04	30.22	30.39	30.57	30.75	30.92	31.10	31.28	31.46	31.64
30	31.82	32.01	32.19	32.38	32.56	32.75	32.93	33.12	33.31	33.50
31	33.70	33.89	34.08	34.28	34.47	34.67	34.86	35.06	35.26	35.46
32	35.66	35.87	36.07	36.27	36.48	36.68	36.89	37.10	37.31	37.52
33	37.73	37.94	38.16	38.37	38.58	38.80	39.02	39.24	39.46	39.68
34	39.90	40.12	40.34	40.57	40.80	41.02	41.25	41.48	41.71	41.94
35	42.18	42.41	42.64	42.88	43.12	43.36	43.60	43.84	44.08	44.32
36	44.56	44.91	45.05	45.30	45.55	45.80	46.05	46.30	46.56	46.81
37	47.07	47.32	47.58	47.84	48.10	48.36	48.63	48.89	49.16	49.42
38	49.69	49.96	50.23	50.50	50.77	51.05	51.32	51.60	51.88	52.16
39	52.44	52.73	53.01	53.29	53.58	53.87	54.16	54.45	54.74	55.03
40	55.32	55.61	55.91	56.21	56.51	56.81	57.11	57.41	57.72	58.03
41	58.34	58.65	58.96	59.27	59.58	59.90	60.22	60.54	60.86	61.18
42	61.50	61.82	62.14	62.47	62.80	63.13	63.46	63.79	64.12	64.46
43	64.80	65.14	65.48	65.82	66.16	66.51	66.86	67.21	67.56	67.91



Tabela 5. Radiação extra-terrestre no topo da atmósfera ( $Q_0$ ) em cal/cm<sup>2</sup>.dia

LATITUDE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
10N	761	814	873	885	873	867	873	879	867	826	767	732
8N	779	832	879	879	861	856	861	873	873	838	785	749
6N	797	844	879	873	850	838	850	861	873	850	802	873
4N	832	867	885	861	826	802	814	844	873	867	838	814
EQUADOR	850	879	885	856	808	785	797	832	867	873	856	832
2S	861	885	885	850	791	767	779	820	867	879	873	850
4S	879	897	885	838	779	749	755	808	861	885	855	873
6S	897	903	885	826	755	732	743	797	861	897	897	890
8S	909	909	879	814	738	708	720	779	856	897	909	903
10S	920	920	873	802	720	684	702	767	850	897	915	920
12S	938	920	867	791	696	661	684	755	838	897	926	932
14S	950	926	861	773	679	637	661	738	838	903	938	944
16S	956	932	856	755	661	614	637	720	826	903	944	956
18S	968	932	850	743	637	590	620	702	814	903	956	974
20S	979	932	838	720	614	566	596	684	802	897	962	985
22S	991	932	826	702	590	543	572	661	791	897	968	991
24S	991	932	814	684	566	519	549	643	779	897	968	1003
26S	997	926	802	661	543	496	519	625	761	891	974	1015
28S	1003	920	791	643	519	460	496	602	743	885	979	1021
30S	1003	920	779	620	496	437	472	578	732	873	979	1027
32S	1009	909	767	596	472	407	448	555	714	867	979	1033
34S	1009	903	743	578	448	378	313	531	696	861	979	1038
36S	1009	897	732	555	419	354	389	507	673	850	979	1038
38S	1009	885	714	531	389	330	366	484	649	838	974	1044
40S	1003	879	690	507	360	295	336	460	631	826	968	1044

Tabela 6. Evapotranspiração tabular não corrigida em mm segundo  
Thornthwaite.

Temp. Média	Temperatura média anual normal da região em oC. - índice T																							
	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0	25.5
12.0	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
12.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3
13.0	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4
13.5	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4
14.0	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5
14.5	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.5	0.5
15.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.6	0.5
15.5	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.7	0.6
16.0	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	0.8	0.8
16.5	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	0.9	0.9
17.0	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	0.9	0.9
17.5	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0	1.0
18.0	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.6	1.4	1.2	1.1
18.5	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.2	1.1
19.0	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.4	1.3
19.5	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	2.0	1.8	1.5	1.5
20.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.2	2.0	1.7	1.6
20.5	3.2	3.2	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.3	2.1	1.9	1.8
21.0	3.3	3.3	3.2	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.4	2.2	2.1	2.0
21.5	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.6	2.4	2.2	2.3
22.0	3.5	3.5	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.8	2.6	2.3	2.5
22.5	3.6	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.0	2.9	2.8	3.0	2.8	2.5	2.7
23.0	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.2	3.2	3.1	3.2	3.0	2.7	2.9
23.5	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.4	3.3	3.2	3.3	3.2	2.9	3.1
24.0	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.5	3.4	3.3	3.5	3.3	3.1	3.2
24.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9	4.1	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9	3.7	3.6	3.5	3.8	3.5	3.3	3.4
25.0	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.0	4.2	4.2	4.2	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.0	3.9	3.8	3.8	4.0	3.8	3.5	3.7
25.5	4.3	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	3.8	4.0
26.0	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3

Tabela 7. Distribuição das chuvas e irrigações no período estudado.

DATA	CHUVA (mm)	IRRIGAÇÃO (mm)
03/06/92		17.00
09/06/92		10.00
16/06/92		9.80
25/06/92		7.10
28/06/92	0.60	
02/07/92		6.00
06/07/92	5.70	
07/07/92	11.00	
08/07/92	19.90	
16/07/92		13.60
24/07/92		10.60
28/07/92		10.90
03/08/92		23.60
08/08/92		14.90
15/08/92		16.20
18/08/92	0.30	
19/08/92	0.30	
21/08/92	3.20	
22/08/92	2.80	7.80
23/08/92	2.60	
28/08/92		10.60
31/08/92	1.70	
01/09/92	1.20	
02/09/92	1.00	
04/09/92	2.50	
05/09/92	1.60	
06/09/92	2.20	
11/09/92	4.80	
12/09/92	5.20	
14/09/92	15.30	
15/09/92	25.60	
17/09/92	9.60	
TOTAL	117.10	158.10

Tabela 8. Valores de gradiente de potencial, umidade, condutividade hidráulica e drenagem profunda na profundidade de 30 cm.

	Grad.Pot	Umidade	Ko	qo	C1	C2	C3
1	1.15	0.400	-2.214E-06	-0.0006111	0.0592	-10.193876	3.7399E-05
2	0.83	0.407	-4.5226E-06	-0.0009009	0.0592	-9.4795903	7.6395E-05
3	0.49	0.399	-1.9992E-06	-0.0002351	0.0592	-10.295917	3.3771E-05
4	-0.11	0.391	-8.8376E-07	2.3331E-05	0.0592	-11.112243	1.4928E-05
5	-0.75	0.383	-3.9067E-07	7.0321E-05	0.0592	-11.92857	6.5992E-06
6	-1.69	0.376	-1.9125E-07	7.7571E-05	0.0592	-12.642855	3.2306E-06
7	-3.17	0.369	-9.3624E-08	7.1229E-05	0.0592	-13.357141	1.5815E-06
8	-6.35	0.362	-4.5833E-08	6.985E-05	0.0592	-14.071426	7.7421E-07
9	-11.47	0.356	-2.4848E-08	6.84E-05	0.0592	-14.683671	4.1972E-07
10	-13.95	0.353	-1.8295E-08	6.1252E-05	0.0592	-14.989794	3.0904E-07
11	-11.78	0.355	-2.2437E-08	6.3434E-05	0.0592	-14.785712	3.7901E-07
12	-16.81	0.351	-1.4918E-08	6.0184E-05	0.0592	-15.193875	2.5199E-07
13	-19.36	0.345	-8.0874E-09	3.7577E-05	0.0592	-15.80612	1.3661E-07
14	-22.23	0.342	-5.9548E-09	3.177E-05	0.0592	-16.112242	1.0059E-07
15	-25.61	0.338	-3.9591E-09	2.4334E-05	0.0592	-16.520406	6.6877E-08
16	-27.06	0.336	-3.2283E-09	2.0966E-05	0.0592	-16.724487	5.4532E-08
17	-26.42	0.333	-2.377E-09	1.5072E-05	0.0592	-17.03061	4.0151E-08
18	-25.57	0.331	-1.9382E-09	1.1894E-05	0.0592	-17.234691	3.2739E-08
19	-26.90	0.329	-1.5804E-09	1.0203E-05	0.0592	-17.438773	2.6695E-08
20	-19.91	0.328	-1.4271E-09	6.8191E-06	0.0592	-17.540814	2.4106E-08
21	-18.98	0.326	-1.1636E-09	5.3005E-06	0.0592	-17.744895	1.9656E-08
22	-14.46	0.337	-3.5751E-09	1.2407E-05	0.0592	-16.622446	6.039E-08
23	2.34	0.393	-1.0838E-06	-0.0006087	0.0592	-10.908162	1.8308E-05
24	1.06	0.428	-3.855E-05	-0.009807	0.0592	-7.3367335	0.00065117
25	0.64	0.414	-9.2384E-06	-0.001419	0.0592	-8.7653047	0.00015605
26	0.05	0.404	-3.33E-06	-3.996E-05	0.0592	-9.7857127	5.625E-05
27	0.38	0.394	-1.2003E-06	-0.0001095	0.0592	-10.806121	2.0275E-05
28	-2.12	0.382	-3.5277E-07	0.00017949	0.0592	-12.03061	5.959E-06
29	-7.43	0.367	-7.6341E-08	0.00013613	0.0592	-13.561222	1.2895E-06
30	-15.45	0.353	-1.8295E-08	6.7839E-05	0.0592	-14.989794	3.0904E-07
31	1.59	0.372	-1.2716E-07	-4.852E-05	0.0592	-13.051018	2.1479E-06
32	1.10	0.393	-1.0838E-06	-0.0002861	0.0592	-10.908162	1.8308E-05
33	-1.43	0.380	-2.8765E-07	9.8721E-05	0.0592	-12.234692	4.8589E-06
34	-5.18	0.362	-4.5833E-08	5.698E-05	0.0592	-14.071426	7.7421E-07
35	-11.96	0.349	-1.2164E-08	3.4915E-05	0.0592	-15.397957	2.0547E-07
36	-12.98	0.340	-4.8555E-09	1.5126E-05	0.0592	-16.316324	8.2018E-08
37	-12.54	0.333	-2.377E-09	7.1537E-06	0.0592	-17.03061	4.0151E-08
38	-14.99	0.328	-1.4271E-09	5.134E-06	0.0592	-17.540814	2.4106E-08
39	4.81	0.348	-1.0984E-08	-1.268E-05	0.0592	-15.499998	1.8554E-07
40	2.65	0.362	-4.5833E-08	-2.915E-05	0.0592	-14.071426	7.7421E-07
41	1.99	0.350	-1.3471E-08	-6.434E-06	0.0592	-15.295916	2.2755E-07
42	-0.74	0.342	-5.9548E-09	1.0576E-06	0.0592	-16.112242	1.0059E-07
43	8.26	0.361	-4.1387E-08	-8.224E-05	0.0592	-14.173467	6.991E-07
44	1.43	0.375	-1.727E-07	-5.927E-05	0.0592	-12.744896	2.9172E-06
45	-0.53	0.360	-3.7372E-08	4.7537E-06	0.0592	-14.275508	6.3129E-07
46	-1.84	0.346	-8.9563E-09	3.9551E-06	0.0592	-15.704079	1.5129E-07
47	-2.56	0.334	-2.6323E-09	1.6173E-06	0.0592	-16.928569	4.4465E-08
48	-3.31	0.327	-1.2886E-09	1.0237E-06	0.0592	-17.642854	2.1767E-08
49	5.72	0.383	-3.9067E-07	-0.0005363	0.0592	-11.92857	6.5992E-06
50	3.20	0.431	-5.2356E-05	-0.0402094	0.0592	-7.0306111	0.00088439
51	3.31	0.401	-2.4518E-06	-0.0019477	0.0592	-10.091835	4.1416E-05
52	1.07	0.372	-1.2716E-07	-3.265E-05	0.0592	-13.051018	2.1479E-06
53	0.70	0.357	-2.7517E-08	-4.623E-06	0.0592	-14.58163	4.6481E-07
54	-1.22	0.384	-4.3264E-07	0.00012668	0.0592	-11.826529	7.3081E-06
55	1.43	0.408	-5.0085E-06	-0.0017189	0.0592	-9.3775495	8.4602E-05
56	1.12	0.393	-1.0838E-06	-0.0002913	0.0592	-10.908162	1.8308E-05
57	0.74	0.378	-2.3455E-07	-4.166E-05	0.0592	-12.438774	3.962E-06
58	0.35	0.365	-6.2248E-08	-5.229E-06	0.0592	-13.765304	1.0515E-06
59	4.00	0.355	-2.2437E-08	-2.154E-05	0.0592	-14.785712	3.7901E-07
60	-2.60	0.344	-7.3029E-09	4.557E-06	0.0592	-15.908161	1.2336E-07
61	5.30	0.375	-1.727E-07	-0.0002197	0.0592	-12.744896	2.9172E-06
62	6.13	0.405	-3.6877E-06	-0.0054254	0.0592	-9.6836719	6.2292E-05
63	3.65	0.382	-3.5277E-07	-0.000309	0.0592	-12.03061	5.959E-06
64	3.33	0.366	-8.8935E-08	-5.509E-05	0.0592	-13.663263	1.1644E-06
65	4.62	0.362	-4.5833E-08	-5.082E-05	0.0592	-14.071426	7.7421E-07
66	2.19	0.353	-1.8295E-08	-9.616E-06	0.0592	-14.989794	3.0904E-07
67	10.96	0.173	-1.9297E-16	-5.076E-13	0.0592	-33.357138	3.2597E-15
68	8.41	0.219	-2.1088E-14	-4.256E-11	0.0592	-28.663261	3.5621E-13
69	7.20	0.429	-4.2691E-05	-0.0737698	0.0592	-7.2346927	0.00072113
70	5.33	0.409	-5.5465E-06	-0.0070951	0.0592	-9.2755087	9.3691E-05
71	2.53	0.382	-3.5277E-07	-0.0002142	0.0592	-12.03061	5.959E-06
90	1.20	0.424	-2.563E-05	-0.0073816	0.0592	-7.7448967	0.00043295

Tabela 9. Valores médios de índice de área foliar para as quatro fases de desenvolvimento do feijão.

FASE 1 PARCELA	P1 (g)	P9 (g)	AT (CM)	AT1 (CM)	AT1/P1*P9 (CM)	AT10 (CM)	IAF (M <sup>2</sup> /M <sup>2</sup> )
1	1.25	10.71	89.32	369.40	3165.04	3534.44	0.7069
2	1.53	9.44	113.40	468.99	2893.64	3362.63	0.6725
3	1.39	10.05	101.96	421.68	3048.82	3470.50	0.6941
4	1.38	11.08	100.58	415.97	3339.82	3755.79	0.7512
5	1.33	10.26	91.56	378.67	2921.14	3299.81	0.6600
6	1.29	10.49	88.69	366.80	2982.71	3349.51	0.6699
TOTAL	8.17	62.03	585.51	2421.50	18351.17	20772.68	4.1545
MÉDIA	1.36	10.34	97.59	403.58	3058.53	3462.11	0.6924

FASE 2 PARCELA	P1 (g)	P9 (g)	AT (CM)	AT1 (CM)	AT1/P1*P9 (CM)	AT10 (CM)	IAF (M <sup>2</sup> /M <sup>2</sup> )
1	5.63	45.11	320.14	1324.01	10608.53	11932.54	2.3865
2	4.50	29.70	260.12	1075.78	7100.17	8175.95	1.6352
3	5.70	40.48	485.10	2006.24	14247.80	16254.04	3.2508
4	8.30	49.64	460.28	1903.59	11384.83	13288.42	2.6577
5	8.28	44.36	350.17	1448.20	7758.74	9206.94	1.8414
6	8.00	39.38	234.64	970.40	4776.82	5747.22	1.1494
TOTAL	40.41	248.67	2110.45	8728.23	55876.89	64605.11	12.9210
MÉDIA	6.74	41.45	351.74	1454.70	9312.81	10767.52	2.1535

FASE 3 PARCELA	P1 (g)	P9 (g)	AT (CM)	AT1 (CM)	AT1/P1*P9 (CM)	AT10 (CM)	IAF (M <sup>2</sup> /M <sup>2</sup> )
1	8.84	53.24	540.20	2234.11	13455.23	15689.35	3.1379
2	17.10	61.03	680.20	2813.12	10040.02	12853.14	2.5706
3	9.48	47.25	494.83	2046.48	10200.01	12246.48	2.4493
4	12.32	66.18	490.71	2029.44	10901.64	12931.08	2.5862
5	11.08	67.87	580.70	2401.61	14710.95	17112.56	3.4225
6	6.99	52.42	420.60	1739.48	13044.88	14784.36	2.9569
TOTAL	65.81	347.99	3207.24	13264.24	72352.73	85616.97	17.1234
MÉDIA	10.97	58.00	534.54	2210.71	12058.79	14269.50	2.8539

FASE 4 PARCELA	P1 (g)	P9 (g)	AT (CM)	AT1 (CM)	AT1/P1*P9 (CM)	AT10 (CM)	IAF (M <sup>2</sup> /M <sup>2</sup> )
1	1.73	17.49	85.40	353.19	3570.69	3923.88	0.7848
2	2.18	19.20	100.50	415.64	3660.68	4076.32	0.8153
3	1.81	11.02	78.11	323.04	1966.80	2289.84	0.4580
4	2.23	16.27	120.20	497.11	3626.92	4124.03	0.8248
5	1.95	14.68	100.98	417.62	3143.96	3561.59	0.7123
6	1.72	18.15	90.60	374.70	3953.91	4328.61	0.8657
TOTAL	11.62	96.81	575.79	2381.30	19922.97	22304.28	4.4609
MÉDIA	1.94	16.14	95.97	396.88	3320.50	3717.38	0.7435

## ANEXO 2

DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>3</sup>
04.06.92	10	61	-36.72	-46.72	.391
	20	63	-29.90	-49.90	.398
	30	65	-21.91	-51.91	.489
	40	78	-29.14	-69.14	.488
	60	124	-65.97	-125.97	.424
	75	156	-92.03	-167.03	.382
05.06.92	10	71	-49.91	-59.91	.380
	20	71	-38.99	-58.99	.389
	30	71	-29.90	-59.90	.482
	40	83	-34.90	-74.90	.483
	60	112	-50.89	-110.89	.434
	75	151	-84.71	-159.71	.386
06.06.92	10	85	-67.00	-77.00	.368
	20	76	-45.43	-65.43	.383
	30	76	-35.64	-65.64	.478
	40	86	-38.98	-78.98	.480
	60	118	-58.75	-118.75	.429
	75	152	-86.47	-161.47	.385
07.06.92	10	100	-85.48	-95.48	.359
	20	83	-54.94	-74.94	.376
	30	80	-41.42	-71.42	.473
	40	90	-43.28	-83.28	.477
	60	124	-65.97	-125.97	.424
	75	152	-86.47	-161.47	.385
08.06.92	10	105	-91.89	-101.89	.357
	20	89	-62.65	-82.65	.371
	30	85	-46.87	-76.87	.469
	40	94	-47.83	-87.83	.473
	60	127	-69.93	-129.93	.422
	75	153	-88.28	-163.28	.384
09.06.92	10	120	-110.75	-120.75	.350
	20	95	-69.31	-89.31	.367
	30	89	-51.53	-81.53	.465
	40	97	-52.65	-92.65	.469
	60	130	-74.16	-134.16	.420
	75	153	-88.28	-163.28	.384

DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
10.06.92	10	47	-19.09	-29.09	.410
	20	52	-15.34	-35.34	.415
	30	58	-12.67	-42.67	.495
	40	72	-21.12	-61.12	.494
	60	99	-35.14	-95.14	.447
	75	132	-61.68	-136.68	.403
11.06.92	10	61	-36.72	-46.72	.391
	20	65	-31.69	-51.69	.396
	30	68	-25.92	-55.92	.486
	40	78	-28.22	-68.22	.488
	60	104	-40.51	-100.51	.442
	75	130	-59.35	-134.35	.405
12.06.92	10	65	-41.42	-51.42	.386
	20	72	-40.18	-60.18	.388
	30	72	-30.78	-60.78	.482
	40	84	-33.92	-73.92	.484
	60	107	-45.40	-105.40	.438
	75	133	-62.88	-137.88	.402
13.06.92	10	75	-54.94	-64.94	.376
	20	78	-48.36	-68.36	.381
	30	76	-35.64	-65.64	.480
	40	86	-38.98	-78.98	.480
	60	112	-50.89	-110.89	.434
	75	136	-66.66	-141.66	.399
14.06.92	10	91	-74.24	-84.24	.365
	20	82	-53.42	-73.42	.377
	30	80	-41.42	-71.42	.473
	40	90	-43.28	-83.28	.477
	60	117	-57.08	-117.08	.430
	75	141	-72.11	-147.11	.395
15.06.92	10	110	-98.91	-108.91	.354
	20	95	-69.31	-89.31	.367
	30	85	-46.87	-76.87	.469
	40	94	-49.01	-89.01	.472
	60	121	-62.25	-122.25	.427
	75	144	-76.55	-151.55	.391



DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
16.06.92	10	143	-140.30	-150.30	.342
	20	103	-79.61	-99.61	.362
	30	90	-53.20	-83.20	.464
	40	98	-53.91	-93.90	.468
	60	124	-65.97	-125.97	.424
	75	145	-78.10	-153.10	.390
17.06.92	10	66	-42.71	-52.71	.385
	20	78	-48.36	-68.36	.381
	30	86	-48.36	-78.36	.468
	40	96	-51.42	-91.42	.470
	60	129	-72.01	-132.01	.421
	75	149	-82.99	-157.99	.387
18.06.92	10	83	-64.77	-74.77	.370
	20	86	-58.64	-78.64	.374
	30	89	-51.53	-81.53	.465
	40	99	-55.19	-95.19	.468
	60	132	-76.38	-136.38	.419
	75	153	-88.28	-163.28	.384
19.06.92	10	100	-85.48	-95.48	.359
	20	95	-69.31	-89.31	.367
	30	93	-56.76	-86.76	.461
	40	102	-59.14	-99.14	.465
	60	134	-78.68	-138.68	.417
	75	156	-92.03	-167.03	.382
20.06.92	10	153	-152.32	-162.32	.340
	20	108	-85.48	-105.48	.359
	30	96	-60.61	-90.61	.459
	40	106	-63.28	-103.28	.462
	60	136	-81.05	-141.05	.416
	75	159	-96.00	-171.00	.380
21.06.92	10	195	-206.17	-216.17	.330
	20	121	-102.67	-122.67	.353
	30	101	-67.10	-97.10	.454
	40	109	-67.65	-107.65	.459
	60	140	-86.03	-146.03	.414
	75	163	-100.18	-175.18	.378

DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
22.06.92	10	259	-286.65	-296.65	.322
	20	138	-124.43	-144.43	.346
	30	105	-71.72	-101.72	.451
	40	112	-70.69	-110.69	.457
	60	142	-88.65	-148.65	.413
	75	168	-102.36	-177.36	.377
	23.06.92	10	377	-435.05	-445.05
20		166	-158.82	-178.82	.338
30		111	-79.61	-109.61	.446
40		115	-75.46	-115.46	.454
60		144	-91.35	-151.35	.411
75		166	-104.61	-179.61	.376
24.06.92		10	492	-579.97	-589.97
	20	219	-225.85	-245.85	.328
	30	118	-88.61	-118.61	.440
	40	118	-78.79	-118.79	.452
	60	146	-94.16	-154.16	.410
	75	168	-106.92	-181.92	.374
	25.06.92	10	521	-616.06	-626.06
20		304	-333.34	-353.34	.318
30		126	-98.91	-128.91	.435
40		122	-84.02	-124.02	.449
60		146	-94.16	-154.16	.410
75		172	-111.74	-186.74	.372
26.06.92		10	296	-333.34	-343.34
	20	349	-390.17	-410.17	.315
	30	136	-110.75	-140.75	.429
	40	128	-91.48	-131.48	.444
	60	151	-100.06	-160.06	.408
	75	174	-114.26	-189.26	.371
	27.06.92	10	220	-236.59	-246.59
20		318	-351.03	-371.03	.317
30		143	-119.65	-149.65	.425
40		131	-95.44	-135.44	.442
60		148	-97.06	-157.06	.409
75		176	-116.85	-191.85	.370

DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
28.06.92	10	359	-411.83	-421.83	.313
	20	404	-459.97	-479.97	.311
	30	159	-140.30	-170.30	.416
	40	138	-103.85	-143.85	.438
	60	156	-106.38	-166.38	.405
	75	180	-122.28	-197.28	.368
	29.06.92	10	441	-515.53	-525.53
20		449	-515.53	-535.53	.309
30		169	-152.32	-182.32	.412
40		142	-108.33	-148.33	.436
60		159	-109.71	-169.71	.404
75		183	-125.12	-200.12	.367
30.06.92		10	492	-579.97	-589.97
	20	500	-579.97	-599.97	.307
	30	179	-165.67	-195.67	.407
	40	147	-115.41	-155.41	.432
	60	161	-113.16	-173.16	.403
	75	185	-128.05	-203.05	.366
	01.07.92	10	552	-655.08	-665.08
20		560	-655.08	-675.08	.305
30		197	-188.61	-218.61	.401
40		153	-122.96	-162.96	.429
60		164	-116.74	-176.74	.402
75		187	-131.08	-206.08	.365
02.07.92		10	492	-579.97	-589.97
	20	594	-697.97	-717.97	.304
	30	219	-215.72	-245.72	.394
	40	164	-136.72	-176.72	.424
	60	167	-120.45	-180.45	.401
	75	187	-131.08	-206.08	.365
	03.07.92	10	521	-616.06	-626.06
20		593	-697.31	-717.31	.304
30		246	-247.99	-277.99	.387
40		174	-148.92	-188.92	.419
60		170	-124.29	-184.29	.400
75		192	-137.42	-212.42	.363

DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
04.07.92	10	492	-579.97	-589.97	.307
	20	593	-697.31	-717.31	.304
	30	275	-286.65	-316.65	.381
	40	187	-165.91	-205.91	.414
	60	173	-128.27	-188.27	.398
	75	195	-140.76	-215.76	.362
05.07.92	10	521	-616.06	-626.06	.306
	20	629	-743.09	-763.09	.302
	30	299	-316.37	-346.37	.376
	40	202	-185.12	-225.12	.408
	60	180	-136.69	-196.69	.396
	75	198	-144.20	-219.20	.361
06.07.92	10	521	-616.06	-626.06	.306
	20	529	-616.06	-636.06	.306
	30	326	-351.03	-381.03	.372
	40	213	-197.89	-237.89	.405
	60	183	-141.14	-201.14	.395
	75	201	-147.76	-222.76	.360
07.07.92	10	521	-616.06	-626.06	.306
	20	529	-616.06	-636.06	.306
	30	413	-459.97	-489.97	.362
	40	227	-216.55	-256.55	.400
	60	187	-145.76	-205.76	.394
	75	204	-151.44	-226.44	.359
08.07.92	10	68	-45.43	-55.43	.383
	20	473	-546.53	-566.53	.308
	30	434	-486.73	-516.73	.360
	40	244	-237.35	-277.35	.396
	60	191	-150.55	-210.55	.392
	75	207	-155.24	-230.24	.358
09.07.92	10	54	-28.23	-38.23	.399
	20	52	-15.34	-35.34	.415
	30	59	-14.52	-44.52	.494
	40	89	-42.19	-82.19	.477
	60	183	-141.14	-201.14	.395
	75	207	-155.24	-230.24	.358

DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
10.07.92	10	67	-44.05	-54.05	.384
	20	69	-36.72	-56.72	.391
	30	71	-29.90	-59.90	.482
	40	86	-37.94	-77.94	.481
	60	164	-116.74	-176.74	.402
	75	198	-144.20	-219.20	.361
	11.07.92	10	78	-58.64	-68.64
20		81	-51.53	-71.53	.378
30		77	-36.72	-66.72	.477
40		91	-44.40	-84.40	.476
60		153	-103.16	-163.16	.407
75		192	-137.42	-212.42	.363
12.07.92		10	100	-85.48	-95.48
	20	97	-71.72	-91.72	.366
	30	86	-48.36	-78.36	.468
	40	97	-52.66	-92.66	.469
	60	153	-103.16	-163.16	.407
	75	190	-134.20	-209.20	.364
	13.07.92	10	131	-124.43	-134.43
20		99	-74.24	-94.24	.365
30		96	-60.61	-90.61	.459
40		105	-61.88	-101.88	.463
60		153	-103.16	-163.16	.407
75		187	-131.08	-206.08	.365
14.07.92		10	195	-206.16	-216.16
	20	147	-134.74	-154.74	.344
	30	105	-71.72	-101.72	.451
	40	113	-72.25	-112.25	.456
	60	153	-103.16	-163.16	.407
	75	187	-131.08	-206.08	.365
	15.07.92	10	325	-369.94	-379.94
20		246	-260.10	-280.10	.324
30		123	-95.32	-125.32	.437
40		128	-91.48	-131.48	.444
60		159	-109.71	-169.71	.404
75		190	-134.20	-209.20	.364

DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
16.07.92	10	492	-579.97	-589.97	.307
	20	385	-435.05	-455.05	.312
	30	147	-119.65	-149.65	.425
	40	140	-106.07	-146.07	.437
	60	161	-113.16	-173.16	.403
	75	195	-140.76	-215.76	.362
17.07.92	10	66	-42.71	-52.71	.385
	20	93	-67.00	-87.00	.368
	30	126	-98.91	-128.91	.435
	40	118	-78.79	-118.79	.452
	60	167	-120.45	-180.45	.401
	75	198	-144.20	-219.20	.361
18.07.92	10	81	-62.65	-72.65	.371
	20	101	-76.87	-96.87	.363
	30	126	-98.91	-128.91	.435
	40	118	-78.79	-118.79	.452
	60	170	-124.29	-184.29	.400
	75	198	-144.20	-219.20	.361
19.07.92	10	123	-115.09	-125.09	.349
	20	156	-146.06	-166.06	.341
	30	150	-129.46	-159.46	.420
	40	133	-97.48	-137.48	.441
	60	177	-132.40	-192.40	.397
	75	204	-151.44	-226.44	.359
20.07.92	10	203	-215.72	-225.72	.329
	20	227	-236.59	-256.59	.327
	30	179	-165.67	-195.67	.407
	40	145	-113.00	-153.00	.434
	60	180	-136.69	-196.69	.396
	75	207	-155.24	-230.24	.358
21.07.92	10	283	-316.77	-326.77	.319
	20	349	-390.17	-410.17	.315
	30	204	-197.14	-227.14	.398
	40	160	-131.03	-171.03	.426
	60	183	-141.14	-201.14	.395
	75	207	-155.24	-230.24	.358

DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
22.07.92	10	466	-546.54	-556.54	.308
	20	385	-435.05	-455.05	.312
	30	254	-260.10	-290.10	.385
	40	178	-155.47	-195.47	.417
	60	191	-150.55	-210.55	.392
	75	213	-163.26	-238.26	.356
	23.07.92	10	492	-579.97	-589.97
20		405	-459.97	-479.97	.311
30		312	-333.34	-363.34	.374
40		206	-189.27	-229.27	.407
60		203	-166.07	-226.07	.389
75		220	-171.87	-246.87	.354
24.07.92		10	552	-655.08	-665.08
	20	473	-546.54	-566.54	.308
	30	393	-435.05	-465.05	.364
	40	235	-226.66	-266.66	.398
	60	208	-171.66	-231.66	.388
	75	223	-176.42	-251.42	.353
	25.07.92	10	83	-64.78	-74.78
20		151	-140.30	-160.30	.342
30		204	-197.14	-227.14	.398
40		227	-216.54	-256.54	.400
60		199	-160.70	-220.70	.390
75		227	-181.13	-256.13	.352
26.07.92		10	131	-124.43	-134.43
	20	211	-215.72	-235.72	.329
	30	244	-247.99	-277.99	.387
	40	253	-248.65	-288.65	.393
	60	208	-171.66	-231.66	.388
	75	235	-191.10	-266.10	.350
	27.07.92	10	175	-180.54	-190.54
20		246	-260.10	-280.10	.324
30		275	-286.65	-316.65	.381
40		278	-279.91	-319.91	.388
60		217	-183.50	-243.50	.385
75		239	-196.38	-271.38	.349

DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
28.07.92	10	248	-272.96	-282.96	.323
	20	318	-351.03	-371.03	.317
	30	326	-351.03	-381.03	.372
	40	306	-316.18	-356.18	.382
	60	227	-196.30	-256.30	.383
	75	244	-201.87	-276.87	.347
29.07.92	10	69	-46.87	-56.87	.382
	20	85	-56.76	-76.76	.375
	30	211	-206.17	-236.17	.396
	40	216	-202.37	-242.37	.403
	60	233	-203.11	-263.11	.382
	75	248	-207.57	-282.57	.346
30.07.92	10	100	-85.48	-95.48	.359
	20	115	-95.32	-115.32	.355
	30	254	-260.10	-290.10	.385
	40	213	-197.89	-237.89	.405
	60	238	-210.19	-270.19	.381
	75	252	-213.00	-288.00	.346
31.07.92	10	143	-140.30	-150.30	.342
	20	189	-188.61	-208.61	.333
	30	264	-272.96	-302.96	.383
	40	272	-273.29	-313.29	.389
	60	244	-217.56	-277.56	.380
	75	258	-219.69	-294.69	.344
01.08.92	10	238	-260.10	-270.10	.324
	20	291	-316.78	-336.78	.319
	30	312	-333.35	-363.35	.374
	40	319	-332.32	-372.32	.380
	60	257	-233.23	-293.23	.377
	75	268	-232.83	-307.83	.342
02.08.92	10	397	-459.98	-469.98	.311
	20	405	-459.98	-479.98	.311
	30	413	-459.98	-489.98	.362
	40	363	-387.39	-427.39	.374
	60	285	-268.80	-328.80	.373
	75	292	-262.72	-337.72	.338



DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
03.08.92	10	492	-579.99	-589.99	.307
	20	405	-459.98	-479.98	.311
	30	434	-486.75	-516.75	.360
	40	397	-430.68	-470.68	.370
	60	293	-278.67	-338.67	.372
	75	305	-279.76	-354.76	.337
04.08.92	10	44	-14.92	-24.92	.416
	20	52	-14.92	-34.92	.416
	30	62	-18.57	-48.57	.491
	40	127	-89.56	-129.56	.445
	60	285	-268.80	-328.80	.373
	75	286	-254.75	-329.75	.339
05.08.92	10	53	-26.67	-36.67	.401
	20	63	-29.05	-49.05	.399
	30	89	-51.53	-81.53	.465
	40	169	-142.68	-182.68	.421
	60	227	-196.31	-256.31	.383
	75	258	-219.68	-294.68	.344
06.08.92	10	113	-102.67	-112.67	.353
	20	115	-95.32	-115.32	.355
	30	132	-106.62	-136.62	.431
	40	182	-158.87	-198.87	.416
	60	263	-241.58	-301.58	.376
	75	274	-239.83	-314.83	.341
07.08.92	10	158	-158.82	-168.82	.338
	20	151	-140.31	-160.31	.342
	30	169	-152.33	-182.33	.412
	40	244	-237.35	-277.35	.396
	60	277	-259.34	-319.34	.374
	75	274	-239.83	-314.83	.341
08.08.92	10	211	-225.86	-235.86	.328
	20	203	-206.17	-226.17	.330
	30	219	-215.73	-245.73	.394
	40	272	-273.29	-313.29	.389
	60	293	-278.67	-338.67	.372
	75	292	-262.72	-337.72	.339

DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
09.08.92	10	63	-38.99	-48.99	.389
	20	61	-27.44	-47.44	.400
	30	94	-58.64	-88.64	.460
	40	319	-332.31	-372.31	.380
	60	293	-278.67	-338.67	.372
	75	286	-254.75	-329.75	.339
	10.08.92	10	85	-67.00	-77.00
20		79	-48.92	-68.92	.380
30		103	-69.31	-99.31	.453
40		240	-231.93	-271.93	.397
60		301	-288.98	-348.98	.371
75		279	-247.13	-322.13	.340
11.08.92		10	110	-98.91	-108.91
	20	99	-74.24	-94.24	.365
	30	123	-95.32	-125.32	.437
	40	248	-242.92	-282.92	.394
	60	309	-299.75	-359.75	.370
	75	279	-247.13	-322.13	.340
	12.08.92	10	139	-134.75	-144.75
20		128	-110.75	-130.75	.350
30		150	-129.46	-159.46	.420
40		271	-271.69	-311.69	.389
60		318	-310.99	-370.99	.368
75		292	-262.72	-337.72	.338
13.08.92		10	181	-188.61	-198.61
	20	161	-152.33	-172.33	.340
	30	185	-172.91	-202.91	.405
	40	289	-293.76	-333.76	.386
	60	328	-322.75	-382.75	.367
	75	298	-271.05	-346.05	.338
	14.08.92	10	181	-188.61	-198.61
20		203	-206.17	-226.17	.330
30		227	-225.86	-255.86	.392
40		209	-193.52	-233.52	.406
60		337	-335.03	-395.03	.366
75		320	-298.44	-373.44	.335

DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
15.08.92	10	310	-351.04	-361.04	.317
	20	318	-351.04	-371.04	.317
	30	312	-333.35	-363.35	.374
	40	313	-324.12	-364.12	.381
	60	270	-250.27	-310.27	.375
	75	252	-213.51	-288.51	.345
16.08.92	10	55	-29.90	-39.90	.398
	20	69	-36.72	-56.72	.391
	30	103	-69.31	-99.31	.453
	40	151	-120.38	-160.38	.430
	60	348	-347.88	-407.88	.365
	75	298	-271.05	-346.05	.338
17.08.92	10	71	-49.92	-59.92	.380
	20	91	-64.78	-84.78	.370
	30	115	-85.48	-115.48	.442
	40	128	-91.48	-131.48	.444
	60	358	-361.32	-421.32	.364
	75	298	-271.05	-346.05	.338
18.08.92	10	97	-82.48	-92.48	.361
	20	124	-106.62	-126.62	.351
	30	235	-236.60	-266.60	.389
	40	244	-237.35	-277.35	.396
	60	369	-375.39	-435.39	.363
	75	345	-330.03	-405.03	.332
19.08.92	10	102	-88.61	-98.61	.358
	20	135	-119.65	-139.65	.347
	30	227	-225.86	-255.86	.392
	40	253	-248.65	-288.65	.393
	60	381	-390.11	-450.11	.362
	75	345	-330.03	-405.03	.332
20.08.92	10	127	-119.65	-129.65	.347
	20	166	-158.82	-178.82	.338
	30	227	-225.86	-255.86	.392
	40	184	-162.34	-202.34	.415
	60	348	-347.88	-407.88	.365
	75	313	-288.89	-363.89	.336

DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
21.08.92	10	188	-197.14	-207.14	.332
	20	211	-215.73	-235.73	.329
	30	287	-301.24	-331.24	.378
	40	267	-266.86	-306.86	.390
	60	406	-421.69	-481.69	.360
	75	328	-308.47	-383.47	.334
22.08.92	10	-	0.00	0.00	.000
	20	-	0.00	0.00	.000
	30	-	0.00	0.00	.000
	40	-	0.00	0.00	.000
	60	369	-375.39	-435.39	.363
	75	328	-308.47	-383.47	.334
23.08.92	10	47	-19.62	-29.62	.410
	20	51	-14.52	-34.52	.416
	30	63	-19.62	-49.62	.490
	40	94	-49.01	-89.01	.472
	60	369	-375.39	-435.39	.363
	75	328	-308.46	-383.46	.334
24.08.92	10	66	-42.71	-52.71	.385
	20	62	-28.23	-48.23	.399
	30	82	-42.71	-72.71	.472
	40	164	-136.72	-176.72	.424
	60	420	-438.63	-498.63	.359
	75	364	-353.85	-428.85	.330
25.08.92	10	91	-74.24	-84.24	.365
	20	79	-49.92	-69.92	.380
	30	101	-67.00	-97.00	.454
	40	131	-95.44	-135.44	.442
	60	369	-375.39	-435.39	.363
	75	279	-247.13	-322.13	.340
26.08.92	10	123	-115.09	-125.09	.349
	20	105	-82.48	-102.48	.361
	30	123	-95.32	-125.32	.437
	40	145	-113.00	-153.00	.434
	60	369	-375.39	-435.39	.363
	75	328	-308.47	-383.47	.334

DATA	PROF cm	ALT Hg mm	$\phi_m$ cmH <sub>2</sub> O	$\phi$ cmH <sub>2</sub> O	$\theta$ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
27.08.92	10	158	-158.82	-168.82	.338
	20	131	-115.09	-135.09	.349
	30	146	-124.43	-154.43	.423
	40	162	-133.84	-173.84	.425
	60	293	-278.67	-338.67	.372
	75	298	-271.05	-346.05	.338
28.08.92	10	203	-215.73	-225.73	.329
	20	161	-152.33	-172.33	.340
	30	179	-165.68	-195.68	.407
	40	187	-165.91	-205.91	.414
	60	293	-278.67	-338.67	.372
	75	320	-298.44	-373.44	.335
.	.	.	.	.	.
14.09.92	10	61	-36.72	-46.72	.391
	20	63	-29.90	-49.90	.398
	30	70	-28.91	-58.91	.483
	40	84	-33.92	-73.92	.484
	60	120	-60.50	-120.50	.428
	75	155	-90.16	-175.16	.383