

454-REPIDISCA

DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE UM
LISÍMETRO PARA A DETERMINAÇÃO DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA.

RONALTON EVANDRO MACHADO

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo, como parte
dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Hidráulica e
Saneamento.

DEDALUS - Acervo - EESC



31100036356

ORIENTADOR : Prof. Dr. Arthur Mattos

São Carlos

4.4/8/1996



Class.	TESE-EESC
Curr.	3223
Tombo	205/96

Hidráulica e Saneamento

st 0745862

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

M149d Machado, Ronalton Evandro
Desenvolvimento e utilização de um lisímetro
para a determinação da evapotranspiração de
referência / Ronalton Evandro Machado. -- São
Carlos, 1996.

Dissertação (Mestrado). -- Escola de Engenharia
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1996.
Orientador: Prof. Dr. Arthur Mattos.

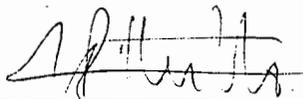
1. Evapotranspiração. 2. Lisímetro. I. Título

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 27-08-1996
pela Comissão Julgadora:



Prof. Doutor ARTHUR MATTOS - Orientador-
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



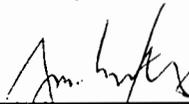
Prof. Doutor ANTONIO MAROZZI RIGHETTO
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor EDSON JOSÉ DE ARRUDA LEME
(Universidade Federal de São Carlos - Campus de Araras)



Coordenador da área "Hidráulica e Saneamento"
Prof. Dr. EDUARDO CLETO PIRES



Presidente da Comissão de Pós-Graduação
Prof. Dr. JOSÉ CARLOS A. CINTRA

À memória de
meu pai,

OFEREÇO

à minha esposa Laura e
minha filha Giovanna,
À minha mãe e irmãos,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, "Existência Suprema, causa primeira de todas as coisas".

Ao professor Arthur Mattos, pela amizade e orientação ao longo do curso.

Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

Ao técnico José Roberto Maramarque do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada - CRHEA, pelo auxílio na instalação e condução do experimento.

Ao técnico Gilmar Batista Grigolon do laboratório de solos do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ, pelas análises de solo.

A todos os colegas, professores e funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP pela amizade.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	IX
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIV
1 INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. Evapotranspiração	6
2.2. Lisímetros	15
2.2.1. Lisímetros de nível freático constante	20
2.3. Avaliação dos Métodos de Estimativa	24
3. METODOLOGIA	26
3.1. Localização da Área Experimental	26
3.2. Clima	27
3.3. Dados Meteorológicos	27
3.4. Método de Penman	28
3.5. Método do Tanque Classe "A"	33

3.6. Lisímetro	34
3.6.1. Descrição do Lisímetro	34
3.6.2. Sistema de Drenagem	37
3.6.3. Operações no Lisímetro	38
3.7. Análise dos Dados	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1. Relativo à Evapotranspiração	44
4.2. Análise de Resíduo	56
4.3. Relativo à Umidade do Solo	60
4.4. Relativo ao Sistema de Drenagem	71
5. CONCLUSÕES E SUGESTÃO	79
ANEXOS	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Representação esquemática do sistema de drenagem na forma de "espinha de peixe"	41
Figura 2 Representação esquemática do abrigo subterrâneo	42
Figura 3 Vista de perfil da caixa principal do lisímetro e do abrigo subterrâneo.....	43
Figura 4 Representação gráfica dos valores médios de ET_o observados no lisímetro (ET_{oL}) e estimados pelos métodos de Penman (ET_{oPn}), Tanque Classe "A" (ET_{oA}) e Tanque 20 m ² (ET_{o20})	46
Figura 5 Representação gráfica dos valores médios de ET_o observados no lisímetro (ET_{oL}) e estimados pelo método de Penman (ET_{oPn})	47

- Figura 6 Representação gráfica dos valores médios de ET_o observados no lisímetro (ET_{oL}) e estimados pelo método do Tanque Classe "A" (ET_{oA}) 48
- Figura 7 Representação gráfica dos valores médios de ET_o observados no lisímetro (ET_{oL}) e estimados pelo método do Tanque 20 m² (ET_{o20}) 49
- Figura 8 Representação gráfica da análise de regressão linear entre os valores de ET_{oL} e ET_{oPn} 53
- Figura 9 Representação gráfica da análise de regressão linear entre os valores de ET_{oL} e ET_{oA} 54
- Figura 10 Representação gráfica da análise de regressão linear

	entre os valores de ETo_L e ETo_{20}	55
Figura 11	Representação gráfica dos resíduos $\hat{\epsilon}$ em relação a ETo_{Pn} ajustado	58
Figura 12	Representação gráfica dos resíduos $\hat{\epsilon}$ em relação a ETo_A ajustado	59
Figura 13	Representação gráfica dos resíduos $\hat{\epsilon}$ em relação a ETo_{20} ajustado	60
Figura 14	Representação gráfica dos valores de precipitação selecionados e suas respectivas drenagens.....	77
Figura 15	Representação gráfica da análise de regressão entre os valores de precipitação e de drenagem.....	78

LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela 1	Valores médios decendiais de ETo em mm/dia observados e estimados durante o experimento	45
tabela 2	Análise de regressão linear simples entre os métodos de estimativa e de observação da Eto	50
tabela 3	Valores de \hat{y} (calculado) para os três métodos de estimativa e seus respectivos resíduos.....	57
Tabela 4	Umidade volumétrica em função do potencial matricial para as diferentes camadas.....	64
Tabela 5	Valores diários de umidade em volume no mês de fevereiro	66
Tabela 6	Valores diários de umidade em volume no mês de março	67

Tabela 7	Valores diários de umidade em volume no mês de abril	68
Tabela 8	Valores diários de umidade em volume no mês de maio	69
Tabela 9	Valores diários de umidade em volume no mês de junho	70
Tabela 10	Drenagem acumulada em litros	74
Tabela 11	Precipitação em mm no período de fevereiro a junho de 1994	75
Tabela 12	Dados selecionados de precipitação e de drenagem em litros para a análise de regressão	76
tabela 13	Valores da evapotranspiração de referência com base em grama (mm/dia) observados no lisímetro (ET_{OL})	82
Tabela 14	Valores da evapotranspiração de referência com base em grama (mm/dia) estimados pela fórmula de Penman (ET_{Pn})	83

TABELA 15 Valores da evapotranspiração de referência com base em grama (mm/dia) estimados pelo método do Tanque Classe "A" (ET_{0A}) 84

TABELA 16 Valores da evapotranspiração de referência com base em grama (mm/dia) estimados pelo método do Tanque 20 m² (ET_{20}) 85

RESUMO

MACHADO, R. E. Desenvolvimento e utilização de um lisímetro para a determinação da evapotranspiração de referência. São Carlos, 1996. 93p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Os lisímetros são peças fundamentais na determinação da evapotranspiração, pois além de permitirem a sua determinação direta, servem de instrumento de calibração para os métodos empíricos.

Recentemente tem sido bastante utilizado os lisímetros de lençol freático à nível constante, devido a sua boa precisão e a facilidade em variar a profundidade do nível d'água em seu interior; alguns pesquisadores utilizam em seus trabalhos experimentais, coberturas móveis na caixa principal do lisímetro, para evitar a entrada de água precipitada, que interfere no funcionamento do sistema; pois alteram as

condições no ambiente do lisímetro, além de dificultar o seu manejo e operação.

O presente trabalho, tem o objetivo de contribuir para a determinação da Evapotranspiração de referência (ET_o) em um lisímetro com nível freático constante, dotado de um sistema de drenagem na forma de "espinha de peixe", com tubos de 2"; evitando a retenção de água gravitacional provocada pelas chuvas, que tornam os dados inconsistentes; visando estudar a sua viabilidade técnica. Os dados obtidos neste lisímetro foram comparados com os estimados pelo método de Penman, Tanque Classe "A" e Tanque 20 m², apresentando boa consistência.

Palavras-chave: Evapotranspiração; lisímetros

ABSTRACT

RONALTON, E. M. Development and utilization of a lysimeters for the reference evapotranspiration determination. São Carlos, 1996. 93p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The lysimeters are fundamental instruments for the evapotranspiration determination, mainly because they consent the direct determination of evapotranspiration and attend on calibration of instrument for operation of the empirical methods.

Recently lysimeter has been utilized with constant groundwater table, due to its good precision and facility to change the depth of water level. Some researchers use it experimental works, with movables covers, in order to avoid the natural precipitation which infiltrates and, as a consequence, which interfere in the system function; however, changes in the environmental conditions next to

the lysimeter, difficult its operation and management.

The present work has the objective to contribute to the determination of the reference evapotranspiration (E_{to}) in lysimeters with constant groundwater table, endowed with a drainage system in a form of "fish's spine", with tubes of 2", in order to avoid the retention of additional water provoked by the rains. The data obtained with this lysimeter were compared with calculated data through Penman method, Class Tank "A" and Tank 20 m², showing good consistence.

Keywords: Evapotraspiration; Lysimeter

1 - INTRODUÇÃO

A Evapotranspiração é uma das principais variáveis do ciclo hidrológico. A taxa de evapotranspiração representa a quantidade de água utilizada pelas plantas para o seu desenvolvimento normal, mais a que é perdida por evaporação no solo, e quando associada ao ganho de água através da precipitação, permite determinar a disponibilidade hídrica de uma região, sendo um parâmetro de grande importância na ecologia vegetal e no planejamento agrícola.

Aproximadamente 60% de toda precipitação ocorrida na superfície da terra, retorna à atmosfera sob a forma de evapotranspiração. Em áreas onde ocorrem chuvas de alta intensidade,

a porção da precipitação convertida em evapotranspiração é menor que 60%, mas em regiões áridas ela pode se aproximar de 100% da precipitação. Dai se vê a importância do estudo da evapotranspiração.

Assim, a evapotranspiração é um importante fator na classificação climática. A precipitação não é o único parâmetro usado para caracterizar o clima como úmido ou seco. Onde a precipitação é exatamente a mesma que a evapotranspiração em todo o período de tempo, não há deficiência, nem excesso de água, e o clima não é nem úmido e nem seco. Quando a deficiência de água torna-se maior, ou seja, a Evapotranspiração é superior a precipitação, o clima torna-se seco, quando há excesso de água, o clima é considerado úmido.

Muito se tem discutido sobre a melhor forma de se quantificar a evapotranspiração,

seja ela de uma pequena área experimental ou em escala regional.

Muitos métodos para a determinação da evapotranspiração são empíricos, dependem da correlação entre a evapotranspiração e uma ou mais variáveis climatológicas; como radiação solar, temperatura, velocidade do vento e pressão parcial do vapor, que necessitam de calibração e são válidas apenas para o local onde foram observadas.

A determinação da evapotranspiração pode ser obtida pela utilização de lisímetros, que são tanques enterrados, preenchidos com solo até a superfície do terreno. Estes tanques e a área de bordadura (em contorno) devem ser cultivados da mesma forma e com a mesma cultura para evitar efeitos indesejáveis (oásis).

Recentemente houve uma intensificação da utilização de lisímetros com lençol freático a nível constante, devido a sua boa precisão e a

facilidade em variar a profundidade do lençol freático no seu interior . Alguns pesquisadores utilizam em seus trabalhos experimentais, coberturas móveis na caixa principal do lisímetro, para evitar a entrada de água precipitada que interfere no funcionamento do sistema; tais coberturas, alteram as condições no ambiente do lisímetro, além de dificultar o seu manejo. Embora seja o método mais recomendado para avaliar a evapotranspiração, sua aplicação requer unidades especiais de manejo e operação.

Na tentativa de solucionar este problema, o presente estudo tem o objetivo de determinar a evapotranspiração de referência com base em grama, em um lisímetro com lençol freático a nível constante, dotado de um sistema de drenagem na forma de "espinha de peixe", visando evitar a retenção de água gravitacional

retida na caixa principal do lisímetro após as precipitações.

Se a água da precipitação for armazenada na caixa principal do lisímetro, provocará dados inconsistentes, pois estar-se-ia variando o nível do lençol freático.

A viabilidade técnica deste lisímetro, deve ser avaliada pela comparação dos dados obtidos com dados estimados pelo método de Penman, Tanque Classe "A" e Tanque 20 m² de área considerados como padrões pela FAO e verificando a consistência dos dados e o grau de ajuste a cada um dos métodos estimados.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A água é um elemento essencial ao metabolismo vegetal, pois participa principalmente de sua constituição e do processo de fotossíntese. A planta, todavia, transfere para a atmosfera cerca de 98% da água retirada do solo. Por isto, o consumo de água das plantas normalmente se refere à água perdida pela evaporação da superfície do solo e pela transpiração. A evaporação é, portanto, o conjunto de fenômenos físicos, que propicia a mudança de estado da água da fase líquida para a gasosa, diretamente da

superfície do solo. Quando esta mudança se dá através das plantas, recebe o nome de transpiração. No caso de solos parcialmente vegetados estes processos ocorrem simultânea e interdependentemente, daí a utilização do termo evapotranspiração.

BURMAN et al (1983) advertiram que a definição da evapotranspiração potencial é controvertida e pode ter diferentes significados em várias partes do mundo e mesmo para diferentes pessoas na mesma localidade.

THORNTHWAITTE (1948) foi o pioneiro na definição da evapotranspiração potencial. Ele a definiu como sendo a perda de água para a atmosfera através de uma superfície natural coberta por vegetação ativa, sem restrição de água no solo. Quando uma das condições citadas não for atendida, tem-se a evapotranspiração real.

PENMAN (1956) posteriormente definiu a evapotranspiração potencial como a quantidade de água transferida para a atmosfera na unidade de tempo por uma cultura verde, de porte baixo, em crescimento ativo e sem restrição hídrica.

Pode esta definição de PENMAN causar polêmica por não ter definido o tipo de cultura, a densidade, a altura da cobertura vegetal e a área de bordadura.

Posteriormente DOORENBOS & PRUITT (1977) definiu a evapotranspiração potencial como a taxa de água que evapotranspira de uma superfície extensa, coberta com grama verde de altura uniforme, de 8 a 15 cm de altura e crescimento ativo, cobrindo completamente o solo e sem restrição hídrica.

Segundo BURMAN et al (1993), informações de evapotranspiração são imprescindíveis para a determinação do volume de água requerido

para satisfazer pequenos períodos e necessidades de água sazonal para o campo, projetos de irrigação, e no planejamento de armazenamento de água e sistemas de distribuição.

HARROLD (1969) cita a importância de se conhecer os dados de evapotranspiração e de seu uso na eficiência do uso da água concernente ao ciclo de crescimento das plantas comerciais, em planejamento e manejo dos projetos de irrigação, na retenção da água armazenada no solo e no balanço hídrico onde a evapotranspiração assume um fator de grande importância no ciclo hidrológico.

Com o intuito de padronizar a evapotranspiração de comunidades vegetais, fixou-se as condições nas quais suas medidas devem ser feitas. REICHARDT (1987) definiu a evapotranspiração potencial de referência (ET_o) como sendo a "quantidade de água

evapotranspirada na unidade de tempo e de área, por uma cultura de baixo porte, verde, cobrindo totalmente o solo, de altura uniforme e sem deficiência de água".

BLANEY E CRIDDLE (1952) definiram o termo uso consuntivo como sendo a soma dos volumes de água consumida na transpiração e formação de tecidos das plantas, com aquela evaporada do solo adjacente durante algum tempo especificado, dividido pela área cultivada expresso em milímetros de altura de água por área, relacionada a um ciclo da cultura. Mais tarde SCARDUA (1970) comparando as duas definições, considerou a evapotranspiração como sinônimo de uso consuntivo.

As plantas desde a semeadura até a colheita passam por diferentes estágios. De acordo com GANGOPADHYAYA (1971) os diferentes estágios de uma cultura apresentam diferentes

necessidades de água e uma das maneiras de se quantificar essas necessidades é a determinação da evapotranspiração. Definindo a evapotranspiração potencial como a quantidade máxima de água capaz de ser perdida como forma de vapor d'água para a atmosfera, em dado clima, por uma superfície de vegetação cobrindo totalmente o solo e nas condições naturais de umidade. Assim, inclui evaporação a partir do solo e transpiração a partir da vegetação de uma região especificada em um dado intervalo de tempo.

A frequência requerida e a quantidade de água necessária é governada pelas condições climáticas, cultura e estágio de crescimento, capacidade de retenção de umidade no solo, e a extensão do sistema radicular.

Diversos fatores podem afetar a evapotranspiração. THORNTHWAITE (1948) cita o clima, a disponibilidade de água, a cobertura

vegetal e as técnicas de manejo adotadas.

TANNER (1968) acrescenta outros fatores como capilaridade, arquitetura da planta, sistema radicular e variações fisiológicas. PRUITT et al. (1972) verificaram que a abertura dos estômatos, a refletância, a rugosidade aerodinâmica, bem como a extensão da área coberta pelo vegetal e a estação do ano, são fatores significativos no processo.

BURMAN et al. (1983); SEDIYAMA (1987) e BERNADO (1989), opinam que a quantidade de água evapotranspirada depende principalmente da planta, solo e do clima, sendo que este último fator predomina sobre os demais.

JAMES (1988) ressalta que se a água armazenada no solo não for fator limitante e se os estômatos estiverem totalmente abertos, as condições atmosféricas são os fatores que controlam a evapotranspiração, e acrescenta

que os fatores atmosféricos mais importantes no processo são a radiação solar, umidade relativa, temperatura, vento e a precipitação.

As condições de solo e sua umidade, os fertilizantes, as infestações de pragas e doenças, as práticas agrícolas e a irrigação são citados por DOOREMBOS & PRUITT (1977) como fatores que podem influenciar nas taxas de crescimento da cultura e conseqüentemente na evapotranspiração.

Face a importância para a agricultura do conhecimento do balanço de água de uma dada região e a determinação das necessidades hídricas das culturas, cujos valores são potencialmente determinados pela evapotranspiração, inúmeros trabalhos foram desenvolvidos objetivando quantificar os parâmetros envolvidos nesta estimativa, utilizando para isto dados obtidos através de

equipamentos instalados no campo e empregando modelos teóricos que variam desde métodos mais simples que correlacionam determinados elementos do clima até modelos que fundamentam-se no processo físico da evaporação.

BURMAN et al (1983) revisaram vários métodos de determinação da evapotranspiração, adotados em diversas partes do mundo. Estes autores classificaram os métodos em dois grandes grupos : no primeiro grupo inclui os métodos onde a evapotranspiração potencial pode ser determinada a partir de medidas diretas como os lisímetros, balanço hídrico e controle de umidade no solo. No segundo grupo estavam os métodos determinados através de dados climáticos, também chamados de métodos indiretos, nos quais a evaporação ou a evapotranspiração de referência são avaliadas por fórmulas empíricas e racionais e

posteriormente são correlacionadas com a evapotranspiração da cultura por meio de coeficientes de proporcionalidade, tais como coeficiente do tanque classe "A" (K_p) e coeficiente de cultura (K_c).

Atualmente, há vários métodos propostos para se quantificar a Evapotranspiração por meio de métodos diretos, utilizando equipamentos instalados em condições de campo ou com emprego de modelos teóricos que consideram elementos do clima, solo e da planta.

2.2 - LISÍMETROS

Os lisímetros foram utilizados em diversas partes do Mundo e durante os anos, diferentes tipos foram desenvolvidos apresentando várias soluções técnicas para melhorar as medidas da evapotranspiração.

O primeiro relato da utilização de lisímetro ocorreu na França em 1688 onde De LA HIRE, citado por ABOUKHALED et al (1982), usou recipientes de chumbo preenchidos com solo argilo-arenoso e concluiu que nos lisímetros cobertos com grama havia mais perda de água do que em outros com solo nu.

Os lisímetros são usados em estudos de evapotranspiração em diversos enfoques, sendo os mais comuns citados a seguir :

a) Em estudos sobre a influência de determinados fatores no processo de perda de água. O lisímetro permite a medida direta da evapotranspiração em superfícies de solo vegetadas, onde a planta é usada como um dos fatores.

b) Para obter diretamente uma medida absoluta e confiável de fluxo de evaporação nos processos primários de fenômeno de transporte.

c) Para servir como padrão para comparação nas avaliações dos métodos indiretos de estimativa de evapotranspiração.

d) Para obter medidas confiáveis do movimento ascendente de água no solo de superfícies secas.

Pela definição dada por ABOUKHALED (1982), lisímetros são "containers" preenchidos com solo localizados no campo para representar o meio, com superfícies vegetadas (culturas ou grama) ou sem vegetação para a determinação da evapotranspiração das culturas em crescimento ou cultura de referência, ou para determinar a evaporação de solo nu. Sendo dividido em duas categorias: os não pesáveis (também chamados "volumétricos, de drenagem ou lisímetro de compensação) e os lisímetros de pesagem.

BERNARDO (1989) afirma que para a determinação da evapotranspiração, a medida

direta através dos lisímetros é o método mais preciso e seguro.

van BAVEL(1961) cita a lisimetria como o único método prático para medida de taxas de evapotranspiração com precisão adequada.

HILLEL (1969), descreve o lisímetro como sendo um grande tanque preenchido com solo, geralmente localizado no campo para representar o meio, e no qual as condições solo-água-planta podem ser ajustadas e monitoradas mais conveniente e corretamente do que no perfil do solo natural.

De acordo com TANNER (1967), a escolha do método mais adequado varia com a precisão requerida no período de determinação, conveniência e custo.

A determinação da evapotranspiração em condições de campo e com precisão adequada é realizada com equipamentos denominados "lisímetros" que servem de padrão comparativo

para as estimativas oriundas de diferentes métodos, ABOUKHALED et al (1982).

Lisímetros de precisão são instrumentos complexos e de alto custo. Thornthwaite desenvolveu um evapotranspirômetro que consistia de um depósito com solo, onde o lençol freático era mantido com o nível constante, de modo que a evapotranspiração era determinada. Este modelo de evapotranspirômetro proposto, vem sofrendo modificações por diversos pesquisadores GANGOPADHYAYA et al (1971).

ABOUKHALED et al (1992) enfatiza 4 (quatro) condições em projeto e operação dos lisímetros :

- 1 - o lisímetro deve ser grande e profundo para reduzir efeito de "limite" e para evitar restrição de desenvolvimento das raízes;

- 2 - as condições físicas dentro do lisímetro deve ser comparável com as de fora;

3 - a altura da planta, densidade e arranjo deve ser similar dentro e fora do lisímetro;

4 - o lisímetro deve estar dentro de uma área de bordadura grande o bastante para evitar o efeito "oásis".

2.2.1 -LISÍMETROS DE NÍVEL FREÁTICO CONSTANTE

Os lisímetros de nível freático constante são bastante utilizados em várias partes do mundo, devido a sua precisão e por ser de fácil operação e de baixo custo, podendo através de dispositivos adaptados apresentar dados diários de evapotranspiração.

ASSIS e VILLA NOVA (1980) adaptaram o evapotranspirômetro de Thornthwaite para registro da evapotranspiração, com lisímetro a nível freático constante, o qual se aplicou melhor à determinação da evapotranspiração

máxima, essencial ao metabolismo vegetal, pois participa principalmente de sua constituição e do processo de fotossíntese.

Os lisímetros a nível freático constante tem sido largamente utilizado para medidas de evapotranspiração; e são de grande importância, não somente para coleta de informações de evapotranspiração, mas também como um teste independente na escolha dos métodos micrometeorológicos e para calibração das fórmulas empíricas usadas para estimativa de evapotranspiração (TANNER, 1967).

ABOUKHALED et al (1982), descreve que no lisímetro de nível freático constante, o nível é determinado e mantido na parte baixa do lisímetro. O nível da água move para dentro da zona das raízes por ascensão capilar, e que este tipo de lisímetro é muito comum em muitos países da Europa e da Ásia, de custos relativamente baixos e são simples

de operar. Medidas diárias de evapotranspiração podem ser feitas, mas usualmente são feitas semanalmente ou a cada 10 dias.

WILLIAMSON (1956) trabalhando com culturas de soja, milho, sorgo granífero, e repolho em lisímetro a nível freático constante, cita a vantagem de se trabalhar com este tipo de lisímetro, que é a de poder variar a profundidade do lençol ao longo da estação de crescimento das culturas.

SHIH (1986) estudando a evapotranspiração e a eficiência do uso da água pela cultura do sorgo sacarino em relação à profundidade do nível da água em 9 lisímetros com nível freático constante, mantido a 30, 60 e 85 cm de profundidade com três repetições, concluiu que a evapotranspiração e a eficiência do uso da água pela cultura do sorgo é inversamente

relacionado com a profundidade do nível de água.

KOWAL e STOCKINGER (1973) citado por ABOUKHALED et al (1982) utilizou um sistema de remoção da água de drenagem diferente em Samaru, Nigéria, onde um lisímetro hidráulico de área de 13,4 m² e profundidade de 1,22 m, com uma série de 10 tubos plásticos interconectados com orifícios finos foi colocado na camada de areia grossa de espessura de 10 cm no fundo. Os tubos foram cobertos com uma cobertura de nylon e ligados a um tanque de armazenamento de água de drenagem, onde era bombeada.

Este tipo de equipamento em nosso meio também encontra-se bastante difundido. Autores como MOURA (1992), SOUZA (1992), MOURA (1990) e PERES (1988), utilizaram lisímetros de lençol freático à nível constante em seus experimentos para a

determinação do consumo de água pelas culturas, e constataram a facilidade de operação e boa precisão.

2.3 - AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE ESTIMATIVA

ORTOLANNI et al. (1966) trabalhando em condições climáticas de São Paulo, correlacionaram valores decendiais de evapotranspiração obtidos em lisímetros de drenagem, com os valores estimados pelas fórmulas de PENMAN (1956) e THORNTHWAITTE, onde constatou-se que o método de Thornthwaite estimou valores menores, em torno de 9% e o método de Penman estimou valores maiores em torno de 2%, em relação a evapotranspiração medida no período.

ASSIS (1978) estudando as relações entre evapotranspiração medida para a grama, e a estimada pelos métodos de PENMAN e Tanque

Classe A, para valores diários e médios por pântadas, encontrou valores para o método de PENMAN menores em aproximadamente 19%. Para o autor, esta diferença se deve ao fato de que a evapotranspiração medida pode ter sido computada pela advecção local, que não é computada no método de PENMAN.

MAKKINK(1957) comparando resultados de evapotranspiração potencial estimados pela equação de Penman e valores medidos em lisímetros, encontrou uma discrepância de aproximadamente de 13% menos nos resultados estimados em relação aos valores medidos, sendo esta discrepância de pouca importância, a qual deve estar correlacionada com o comprimento da grama.

3 - METODOLOGIA

3.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A área onde foi conduzido o experimento localiza-se na Estação Hidrometeorológica do CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada) do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-SP entre as latitudes $22^{\circ}11''$ e longitude $47^{\circ}58''$ W e altitude de 733 m.

A área experimental é de 10.000 m², coberta por grama batatais (*Papalum rotatum* F.), onde estão assentados a aparelhagem para coleta de dados hidrometeorológico.

3.2 - CLIMA

O clima da região de acordo com a classificação de Wilhem Köppen é Cwa, clima temperado, devido à altitude, com inverno seco, apresentando pouca deficiência de água.

3.3 - DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos utilizados no experimento, foram coletados da própria Estação do CRHEA e serviram para estimativa da evapotranspiração de referência. Sendo os seguintes : Evaporação do tanque Classe "A", temperatura máxima do ar ($T_{\text{máx}}$), temperatura mínima do ar (T_{min}), temperatura do bulbo seco (T_s), temperatura do bulbo úmido (T_u), velocidade média do vento a 2 m de altura (V_2), umidade relativa (UR), radiação Solar global na superfície (Q_0), insolação ou horas

de brilho solar (n) e a insolação máxima (N) obtido por tabela.

3.4 - MÉTODO DE PENMAN

A equação original de Penman passou por modificações desde a sua formulação inicial. Será adotada a formulação a seguir:

$$EToP = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \cdot H}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} + \frac{Ea}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad (1)$$

onde :

EToP = evapotranspiração de referência para a grama em mm/dia.

H = radiação global líquida, em mm/dia.

$$H = Boc - Bol$$

Boc = balanço energético de ondas curtas na faixa de $(0,1 \mu - 4,0 \mu)$, em cal /cm² dia.

$$Boc = Q_0 (a + b n/N) (1 - \alpha)$$

Q₀ = radiação solar global recebida na superfície horizontal na parte mais externa da atmosfera.

a e b = coeficientes locais de transmutância atmosférica.

Para as condições de São Carlos :

a = 0,24 e b = 0,58; considerados constantes.

n = insolação ou horas de brilho solar medida por heliógrafo, em horas/dia.

N = insolação máxima teórica, função da latitude e da época do ano. Valores tabelados em horas/dia.

α = albedo. Função da natureza da superfície evaporante e do ângulo de incidência da radiação solar. O albedo

da grama varia no intervalo de 0,24-0,25 segundo DOORENBOS e PRUITT (1975). Muito embora, o albedo de uma superfície seja variável com a época do ano, hora do dia, coloração, textura e estrutura do solo, idade, altura, tipo e coloração da vegetação (OMETTO, 1974).

Bol = balanço energético de ondas longas, varia entre (4 μ -120 μ).

$$\text{Bol} = \varepsilon \sigma T_a^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{ea}) * \\ *(0,10 + 0,90 n/N)$$

ε = emissividade da superfície. Para superfícies vegetadas, oscila entre 0,98 - 0,99. Adotar $\varepsilon = 1$ (OMETTO, 1974).

σ = constante de Stefan-Boltzman, valendo :

$$8.14 \cdot 10^{-11} \text{ cal / cm}^2 \cdot \text{min } ^\circ\text{K}^4; \text{ ou} \\ 1,17 \cdot 10^{-7} \text{ cal / cm}^2 \cdot \text{dia } ^\circ\text{K}^4$$

T_a = temperatura média absoluta do ar, em °K.

e_a = pressão parcial real do vapor d'água no ar atmosférico, em mmHg.

$$e_a = UR/100 \cdot e_s$$

UR = umidade relativa média diária do ar, em %.

e_s = pressão parcial do vapor d'água no ar atmosférico relativa à temperatura média diária, em mmHg.

n e N = já descrito anteriormente.

A radiação global líquida (H) em uma superfície vegetada com grama pode ser calculada pela seguinte expressão :

$$H = \frac{1}{59} \left\{ \left[Q_0 \left(a + b \frac{n}{N} \right) - 1 \right] - \left[1,17 \cdot 10^{-7} \cdot T_a^4 - 0,56 - 0,09 \sqrt{e_a} \left(0,10 + 0,90 \frac{n}{N} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

E_a = poder evaporante do ar atmosférico. Função da velocidade do

vento medido a 2 m de altura e do déficit de saturação de umidade do ar.

É dado em mm/dia.

$$E_a = 0,35(K + 0,54 V_2)(e_s - e_a).$$

$K = 1$ para superfície vegetada com grama.

$V_2 =$ velocidade média diária do vento a 2 m de altura, em m/s.

e_s e $e_a =$ descrito anteriormente.

$\Delta =$ tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água à temperatura média do ar em mmHg/°c. Seu valor poder ser obtido por tabelas.

$\gamma =$ constante psicométrica, em mmHg/°c.

$\frac{\Delta}{\gamma} =$ tabelado e função da temperatura.

$P =$ pressão atmosférica local, tomada como equivalente a 760 mmHg.

$L =$ calor latente de vaporização da água, adotado como 590 cal/g.

O cálculo de ET_{oPn} é feito pela substituição dos valores de H , E_a , Δ e γ na equação de Penman.

3.5 - MÉTODO DO TANQUE CLASSE "A"

Para o cálculo da evapotranspiração de referência, a partir de dados coletados no tanque Classe "A", utilizou-se a seguinte expressão :

$$ET_{oA} = K_p \cdot ECA \quad (3)$$

onde :

ET_{oA} = evapotranspiração de referência para a grama, em mm/dia.

K_p = coeficiente para conversão da evaporação (ECA) do TCA em

evapotranspiração de referência.

Segundo os dados recomendados por DOORENBOS e PRUITT (1975), que são em função da velocidade do vento, da área de exposição vegetal relativa ao tanque e da umidade relativa do ar.

ECA = evaporação do tanque Classe "A", em mm/dia.

3.6 - LISÍMETRO

3.6.1 - DESCRIÇÃO DO LISÍMETRO

O lisímetro consiste de um tanque metálico, com dimensões de 1,5 por 2,4 m e 1,5 m de profundidade, tendo uma área de exposição de 3,6 m²; fabricado com chapa de ferro, reforçado internamente por cantoneiras. O lisímetro foi impermeabilizado para evitar vazamento.

Na parte inferior e central do lisímetro, foi acoplado um tubo de PVC de 1", por onde se dá o abastecimento de água, que é ligado através de mangueira a uma caixa de passagem localizada em um abrigo subterrâneo, contendo um sistema de bóias para regular o nível do lençol freático no lisímetro. A caixa de passagem é ligada através de mangueira ao sistema de alimentação, que consiste de um tanque metálico de volume 0,36 m³, por onde se faz a leitura do volume de água consumida pelo processo da evapotranspiração.

O nível do lençol freático foi mantido constante, aproximadamente a 0,80 m da superfície do solo. Adotou-se esta profundidade, com a finalidade de diminuir o efeito causado pela não irrigação da área que circunda o lisímetro.

Diariamente, por volta das 8:00 horas, eram feitas as leituras do total evapotranspirado.

O funcionamento ocorria do seguinte modo:

com a evapotranspiração havia um abaixamento pelo princípio físico dos vasos comunicantes, fazendo com que a caixa de passagem suprisse de água o lisímetro até voltar a estabelecer o equilíbrio; esse suprimento, por sua vez, provocava um abaixamento no nível da água na caixa de passagem, fazendo com que a agulha da bóia fosse liberada, admitindo água do tanque de alimentação no mesmo volume correspondente à evapotranspiração, volume esse transformado em lâmina correspondente à área de exposição do lisímetro, com leitura direta em escala graduada em milímetros, acoplada ao tubo de vidro indicador do nível da água no tanque de alimentação.

3.6.2 - SISTEMA DE DRENAGEM

Consiste de 2 tubos de PVC de 2", independentes, localizados na camada de brita, no sentido do comprimento da caixa do lisímetro. A estes dois tubos, são interligados lateralmente outros 6 tubos de igual diâmetro, formando uma rede de drenagem na forma de "espinha de peixe" com orifícios, por onde o excesso de água escoar até uma caixa localizada no abrigo subterrâneo.

Dentro desta caixa, tem-se duas tulipas para manter a água no mesmo nível das bóias do sistema de abastecimento do lisímetro. Após uma precipitação considerável, referindo-se àquela que provoca drenagem, o sistema entra em funcionamento, drenando o excesso de água para um depósito final

graduado, onde se faz a leitura do volume de água drenada.

Para verificação da ocorrência de drenagem, usa-se a seguinte expressão :

$$P > (\Theta_{cc} - \Theta_a) * p \quad (4)$$

onde :

P - precipitação (mm) ,

Θ_{cc} - umidade na capacidade de campo ,

Θ_a - umidade atual ,

p - profundidade inicial do lençol freático (mm) .

Quando algum evento de precipitação for maior, atendendo à expressão acima, ocorrerá elevação do lençol freático na caixa principal do lisímetro, provocando drenagem.

O esquema de montagem do lisímetro está apresentado nas Figuras 1, 2 e 3.

3.6.3 - OPERAÇÃO NO LISÍMETRO

As operações no lisímetro consistiram em leituras diárias no tanque de alimentação, no tanque de drenagem e dos tensiômetros, para monitorar o movimento da água no interior do lisímetro.

3.7 - ANÁLISE DOS DADOS

A análise foi desenvolvida em duas etapas: na primeira foi feita a comparação dos três métodos de estimativa de ETo com o método de observação utilizando o lisímetro, com a finalidade de estudar a sua viabilidade técnica. Os dados foram obtidos em base diária e posteriormente processados em termos decendiais, visto que o lisímetro utilizado, não possuía sensibilidade suficiente para trabalhar com dados diários. Esta comparação foi feita através dos coeficientes de correlação das análises de regressão linear

para estabelecer o nível de significância pelo teste "t". Na segunda etapa foi feita uma análise dos resíduos para observar as variações destes ao longo do referencial zero.

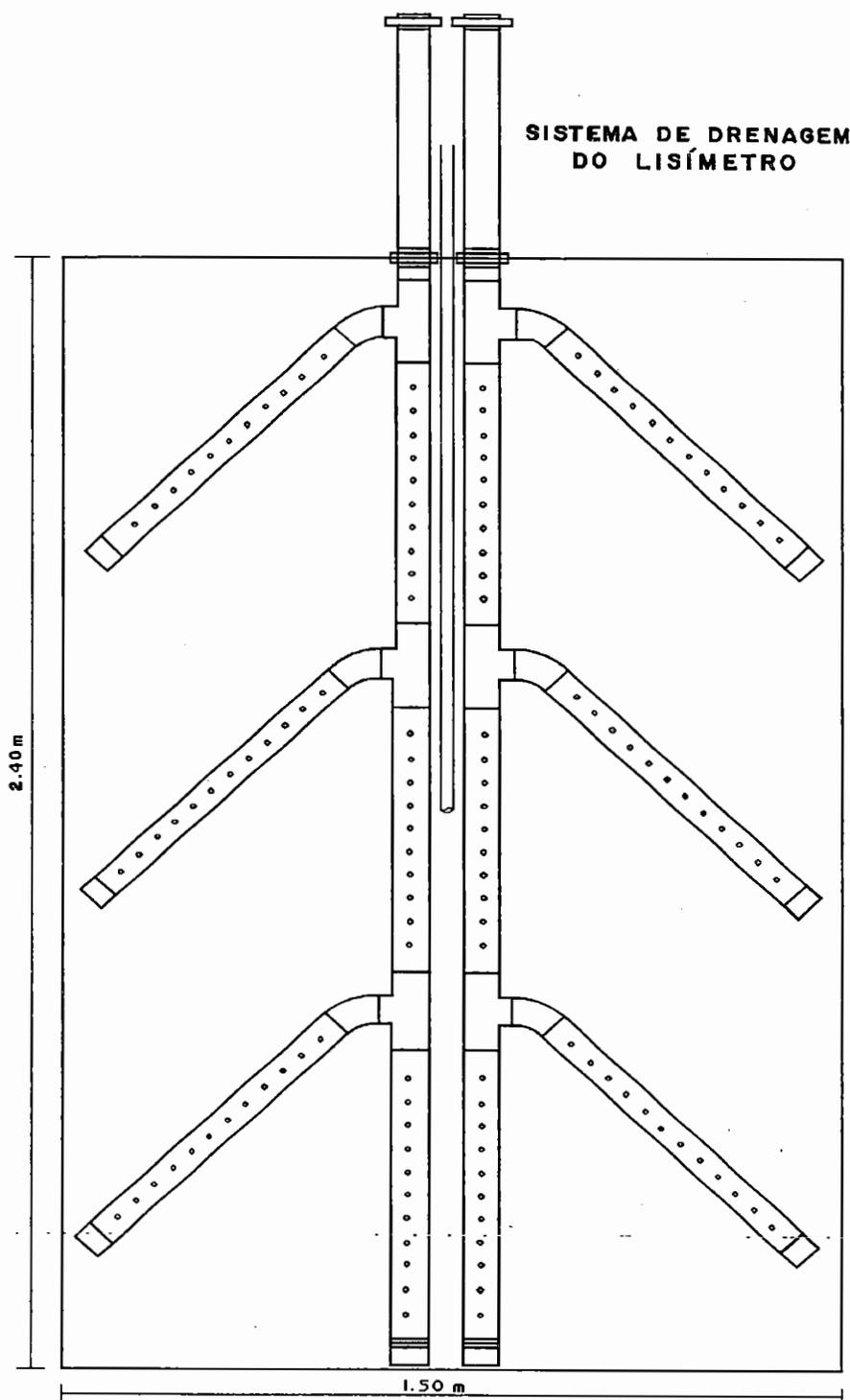


FIGURA 1 - Sistema de drenagem na forma de espinha de peixe".

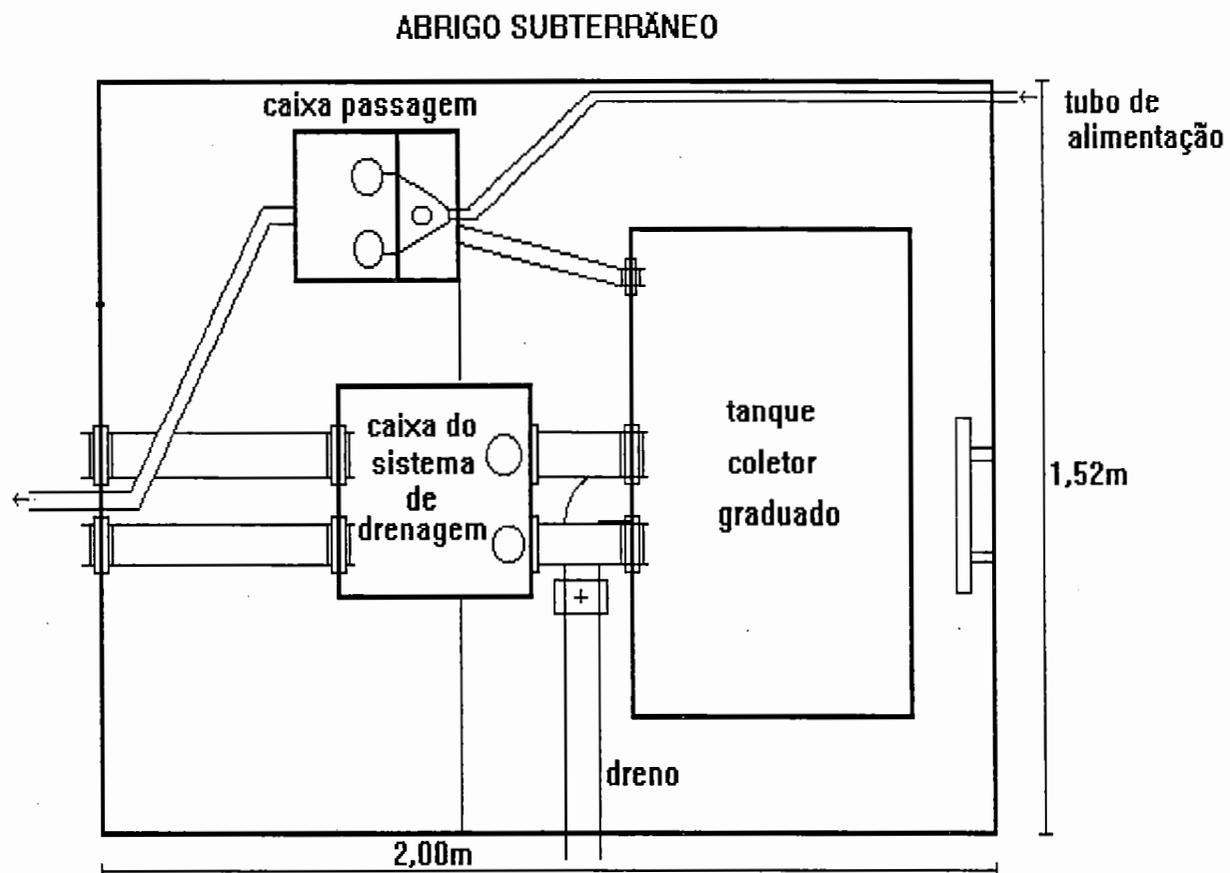


FIGURA 2 - Representação esquemática do abrigo subterrâneo.

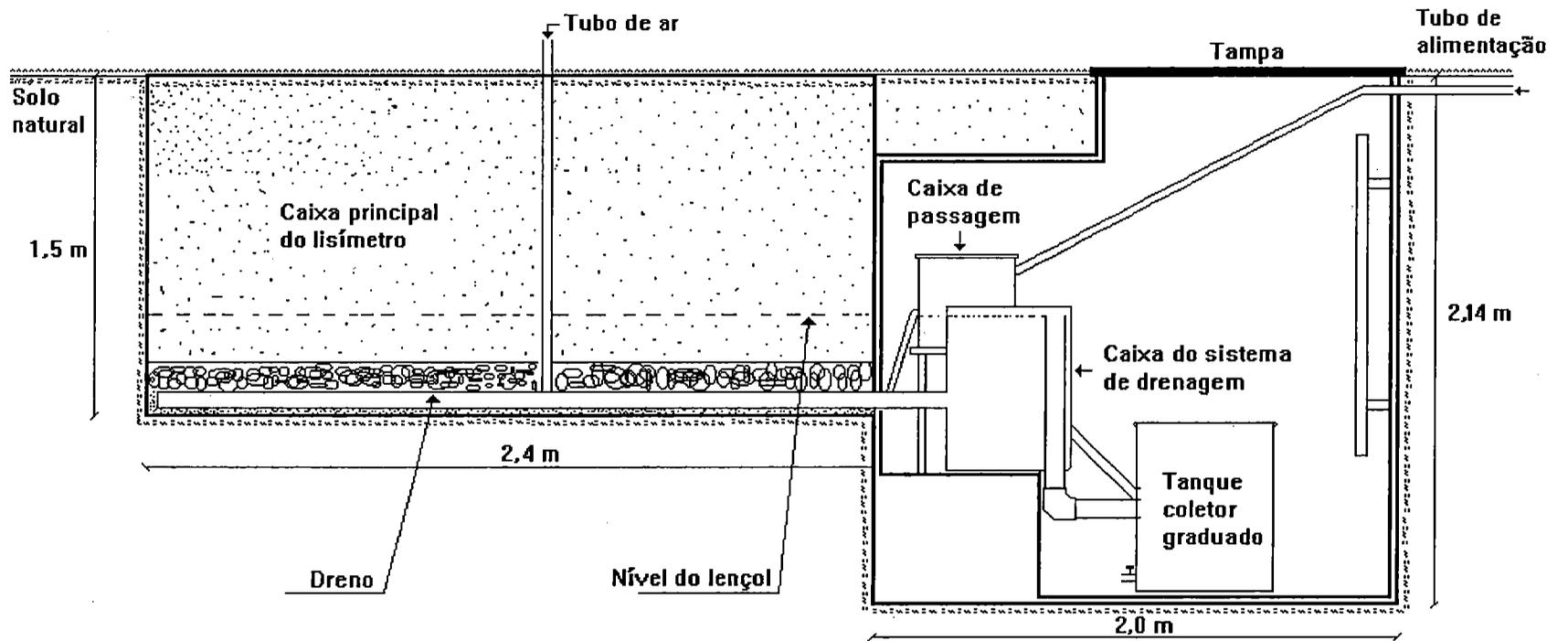


FIGURA 3 - Vista de perfil da caixa principal e do abrigo subterrâneo.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - RELATIVO À EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Os valores de evapotranspiração potencial de referência com base em grama observados, utilizando lisímetro de nível freático constante, foram obtidos no período de fevereiro a junho de 1994.

Os valores foram obtidos em base diária e posteriormente processados em termos decendiais, visto que o lisímetro utilizado, não possuía sensibilidade suficiente para trabalhar com dados diários.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores decendiais da evapotranspiração de referência observados no lisímetro (ET_{OL}) e estimada pelo método de Penman (ET_{OPn}), tanque classe "A" (ET_{OA})

e tanque 20 m² (Eto₂₀). Nas Figuras de 4 a 7 estão as representações gráficas dos quatro métodos ao longo do período de análise.

TABELA 1 - Valores médios decendiais de ETo em mm/dia observados e estimados durante o experimento.

MÊS	DECÊND	ETO _L	ETO _{Pn}	ETO _A	ETO ₂₀
FEVER	1	3.9	4.8	5.2	4.7
	2	3.2	4.8	5.6	4.8
	3	4.4	4.4	5.5	4.5
MARÇO	4	3.5	3.7	4.6	4.5
	5	3.1	3.8	4.8	4.2
	6	3.0	3.4	4.3	3.9
ABRIL	7	3.3	3.4	4.5	4.3
	8	3.0	2.9	3.8	3.0
	9	2.5	2.8	4.2	3.1
MAIO	10	2.9	2.5	4.1	3.6
	11	1.3	1.7	3.1	3.4
	12	1.1	1.8	2.8	2.3
JUNHO	13	1.2	1.9	2.7	2.9
	14	1.7	2.0	3.3	2.8
	15	0.8	1.5	2.8	2.6

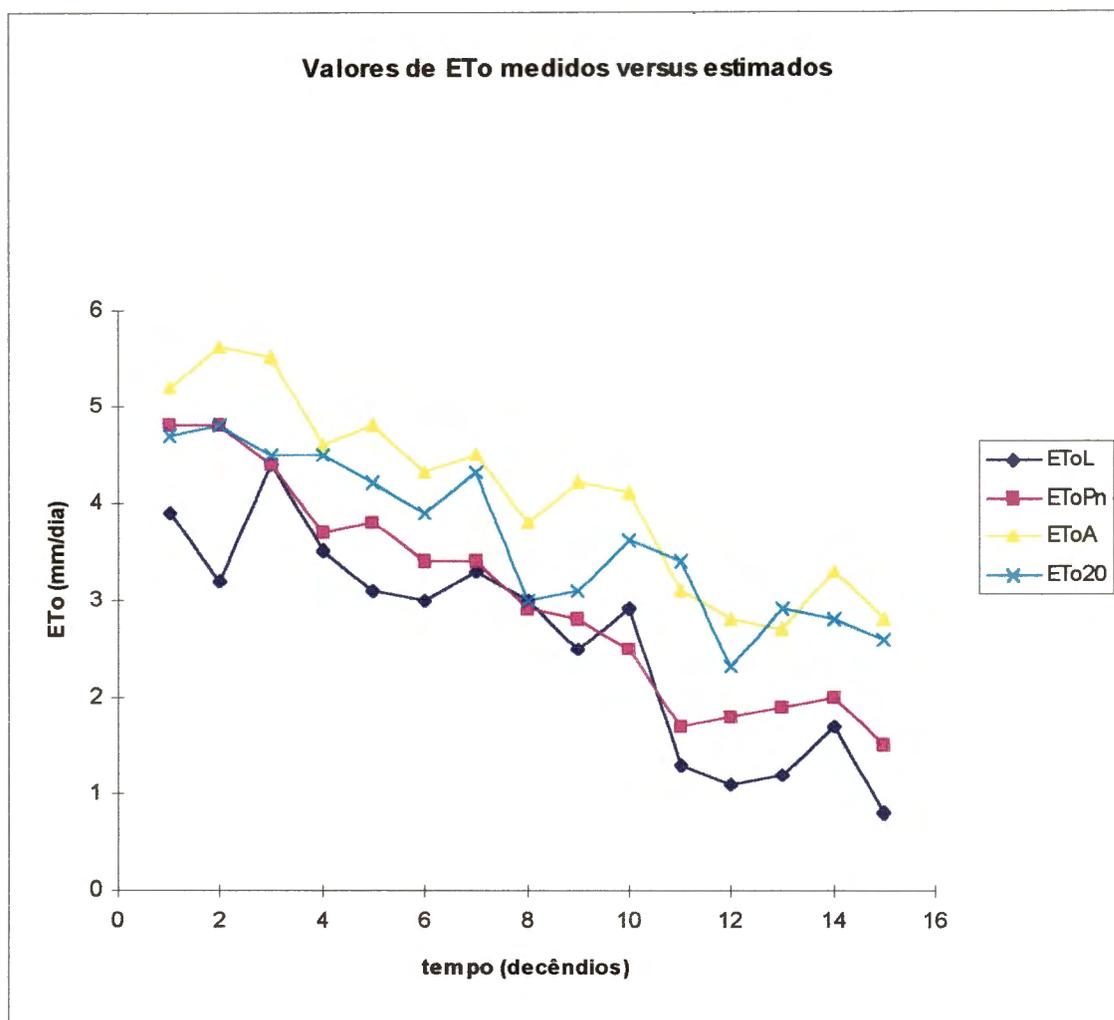


FIGURA 4 - Representação gráfica dos valores médios de ETo observados no lisímetro (E_{ToL}) e estimados pelos métodos de Penman (E_{ToPn}), Tanque classe "A" (E_{ToA}) e Tanque 20 m² (E_{To20}).

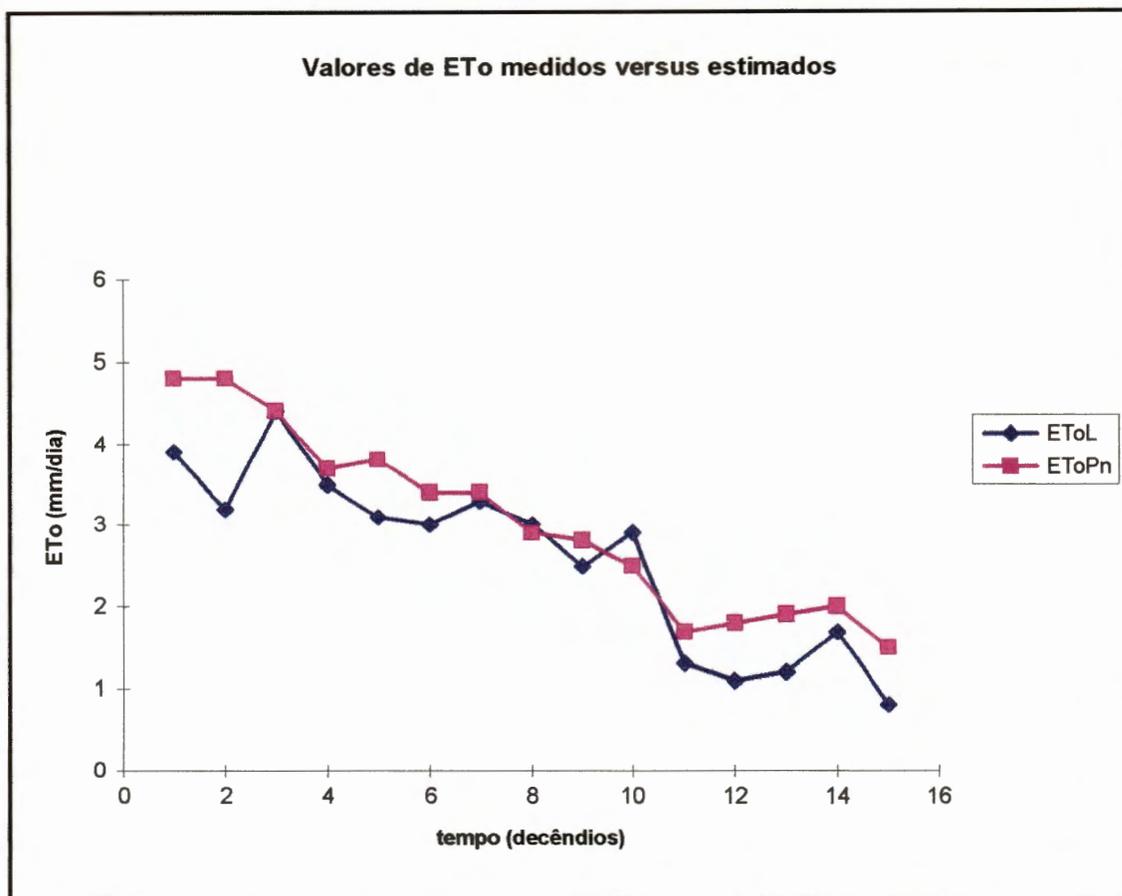


FIGURA 5 - Representação gráfica dos valores médios de ETo observados no lisímetro (E_{ToL}) e estimados pelo método de Penman (E_{ToPn}).

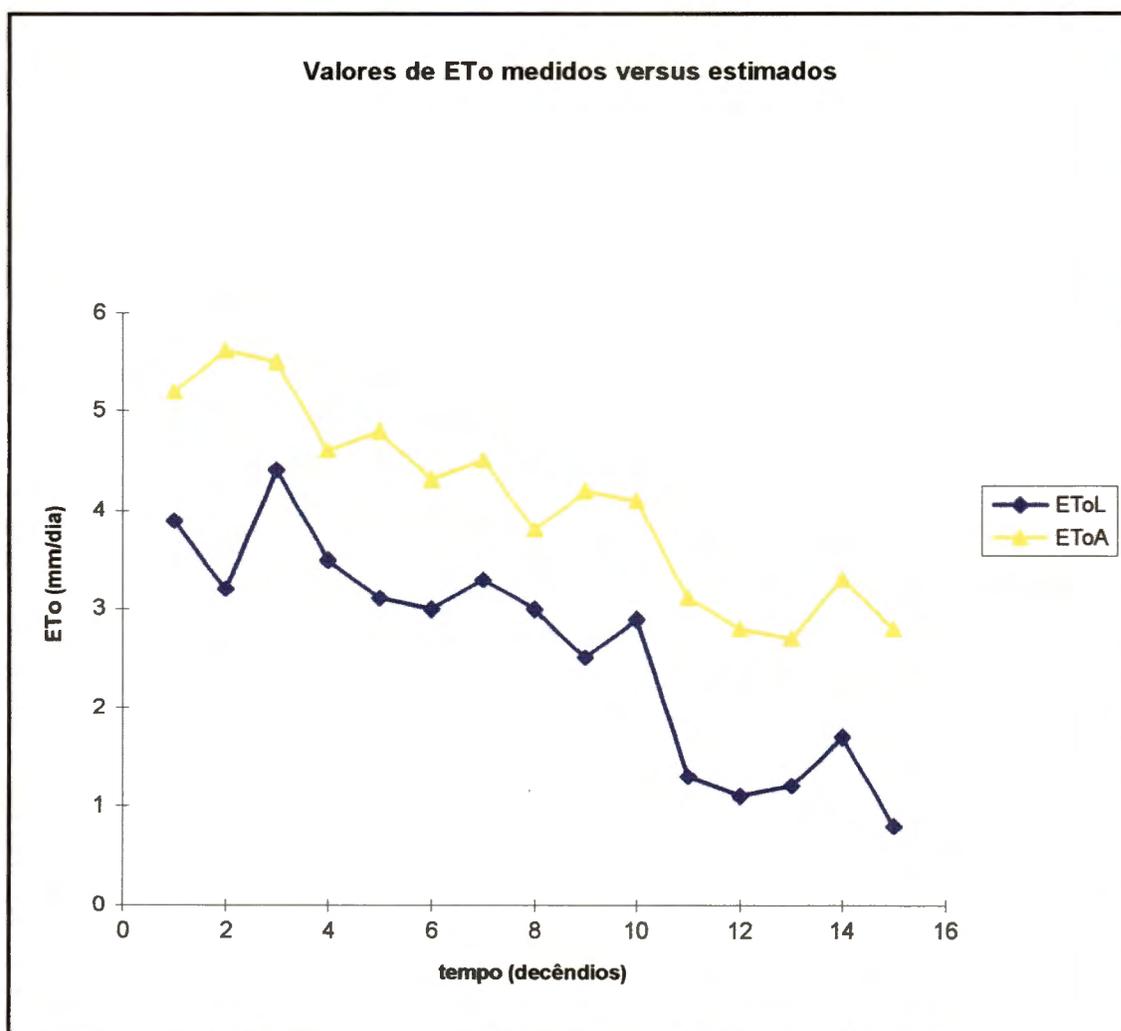


FIGURA 6 - Representação gráfica dos valores médios de ETo observados no lisímetro (ETo_L) e estimados pelo método do Tanque classe "A" (ETo_A).

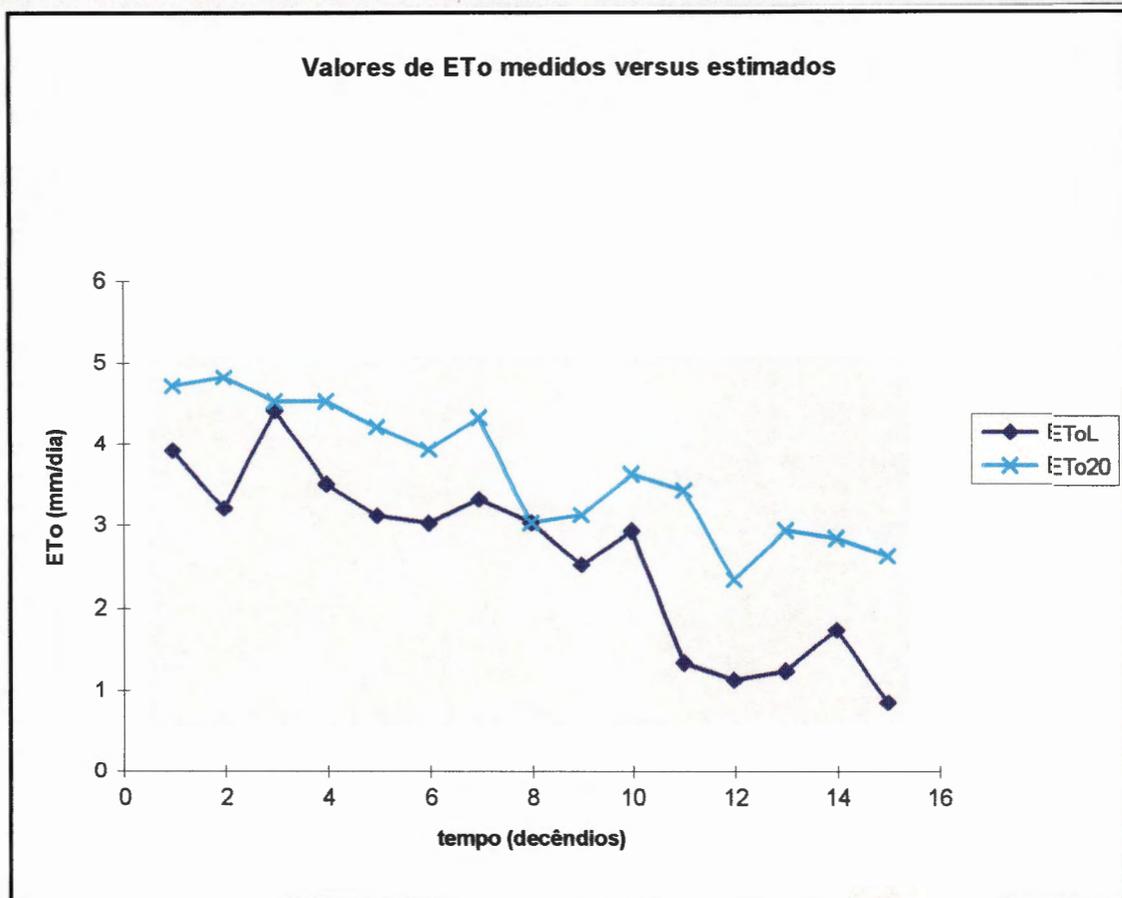


FIGURA 7 - Representação gráfica dos valores médios de ETo observados no Lisímetro (ET_{oL}) e estimados pelo método de Tanque 20 m² (ET_{o20}).

A comparação entre os valores médios decenciais da evapotranspiração de referência observados e estimados, efetuou-se com base no coeficiente de correlação das análises de regressão linear. Os resultados das análises de regressão, bem como de seus respectivos

coeficientes de correlação estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Análise da regressão linear entre os métodos de estimativa e de observação da ETo.

Correlação		regressão Linear	r
x	y		
ET _{OL} x	ET _{OPn}	$y = 0,606 + 0,931 x$	0,91**
ET _{OL} x	ET _{OA}	$y = 1,955 + 0,822 x$	0,93**
ET _{OL} x	ET _{O20}	$y = 1,980 + 0,640 x$	0,85**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Da observação da Tabela 2 pode se verificar que as estimativas da evapotranspiração de referência ajustaram-se com boa precisão aos valores observados, conforme pode ser conferido pelo coeficiente de correlação (r). O teste de comparação indicou resultados significativos ao nível de 1 % de probabilidade, mostrando que cada um dos métodos de estimativa relaciona-se significativamente com o método de observação, apesar dos três métodos superestimarem a



evapotranspiração de referência em relação ao lisímetro.

Os métodos de Penman e tanque de 20 m², apresentaram maior dispersão do que o método do tanque classe "A", o que já era previsto pelos coeficientes de correlação apresentados na Tabela 2.

O tanque classe "A" em virtude do custo relativamente mais baixo e do fácil manejo, tem sido mais empregado, tendo a vantagem de medir a evaporação de uma superfície de água livre, associada aos efeitos integrados de radiação solar, do vento, da temperatura e da umidade do ar.

Conforme afirmação de ENCARNAÇÃO (1980), SAAD & SCALOPI (1988), COSTA (1989) E VILLA NOVA & REICHARDT (1989) citados por MOURA (1990), o tanque classe "A" é o mais preciso dos métodos indiretos, seguido pelo método de Penman.

Através da análise gráfica, observa-se uma tendência de se manter uma mesma eqüidistância entre os valores de ETo medidos através do lisímetro e os estimados através do tanque classe "A".

Nas Figuras 8 a 10, estão as representações gráficas das correlações entre valores observados e estimados.

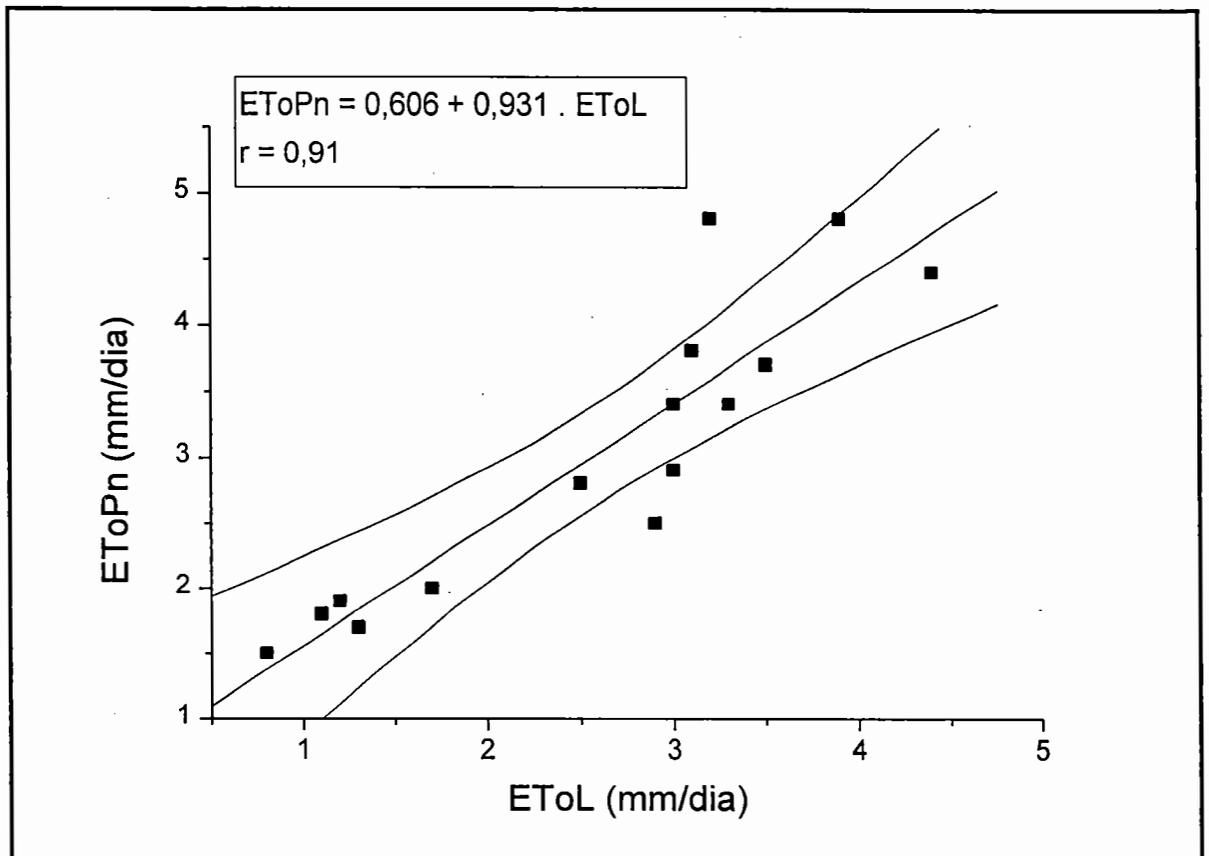


FIGURA 8 - Representação gráfica da análise de regressão entre os valores de ETo_L e ETo_{Pn} .

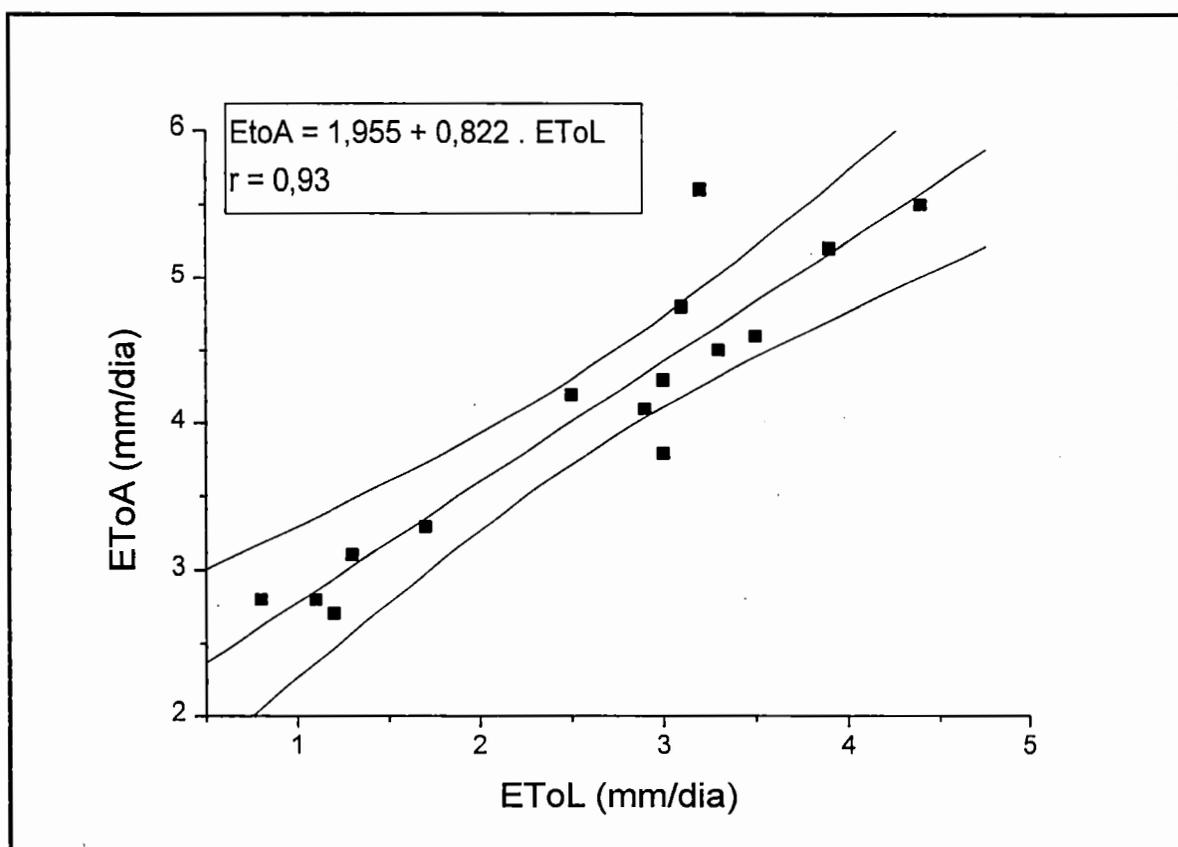


FIGURA 9 - Representação gráfica da análise de regressão entre os valores de ETo_L e ETo_A .

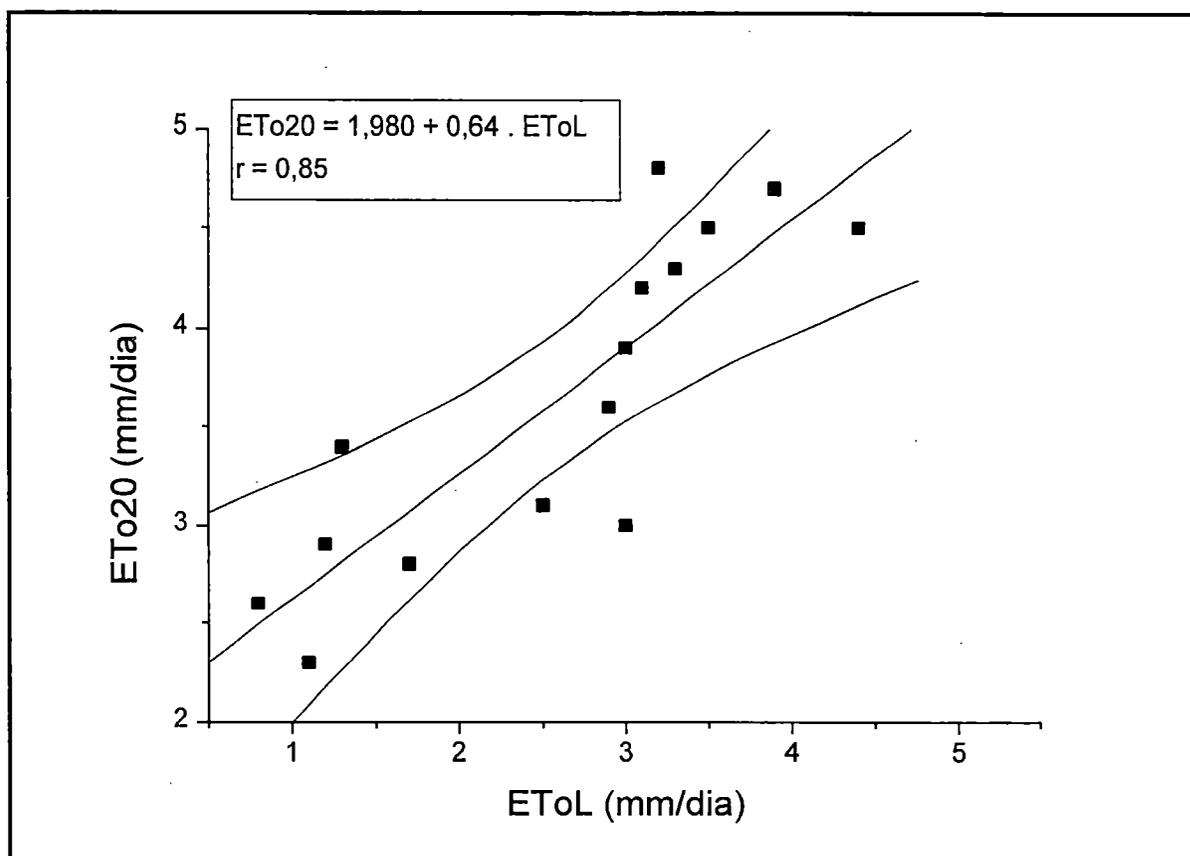


FIGURA 10 - Representação gráfica da análise de regressão entre os valores de ETo_L e Eto_{20} .

4.2 - ANÁLISE DE RESÍDUO

Os resíduos $\hat{e} = y - \hat{y}$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$; onde y é o valor observado e \hat{y} é o valor ajustado através da regressão linear; fornece informações a respeito da hipótese relativa ao limite de erros e uma melhor aproximação do modelo.

Uma completa análise de dados, requer um exame dos resíduos. A plotagem dos resíduos contra outros valores, são usados para verificar falta de suposição ou hipótese.

A forma mais usado na análise de regressão linear, é o de resíduos (\hat{e}) contra os valores ajustados \hat{y} . Na Tabela 3 estão apresentados os valores de \hat{y} para os três métodos de estimativa com seus respectivos resíduos.

Nas Figura 11 a 13 estão as representações gráficas dos valores ajustados para cada modelo contra seus respectivos resíduos.

TABELA 3 - Valores de \hat{y} (calculado) para os três métodos de estimativa e seus respectivos resíduos.

DECÊNDA	$ET\hat{\theta}_{Pn}$	\hat{e}	$ET\hat{\theta}_A$	\hat{e}	$ET\hat{\theta}_{20}$	\hat{e}
1	4,2	0,6	5,2	0,0	4,5	0,2
2	3,6	1,2	4,6	1,0	4,0	0,8
3	4,7	-0,3	5,6	-0,1	4,8	-0,3
4	3,9	-0,2	4,8	-0,2	4,2	0,3
5	3,5	0,3	4,5	0,3	4,0	0,2
6	3,4	0,0	4,4	-0,1	3,9	0,0
7	3,7	-0,3	4,7	-0,2	4,1	0,2
8	3,4	-0,5	4,4	-0,6	3,9	-0,9
9	2,9	-0,1	4,0	0,2	3,6	-0,5
10	3,3	-0,8	4,3	-0,2	3,8	-0,2
11	1,8	-0,1	3,0	0,1	2,8	0,6
12	1,6	0,2	2,9	-0,1	2,7	-0,4
13	1,7	0,2	2,9	-0,2	2,8	0,1
14	2,2	-0,2	3,4	-0,1	3,1	-0,3
15	1,4	0,1	2,6	0,2	2,5	0,1

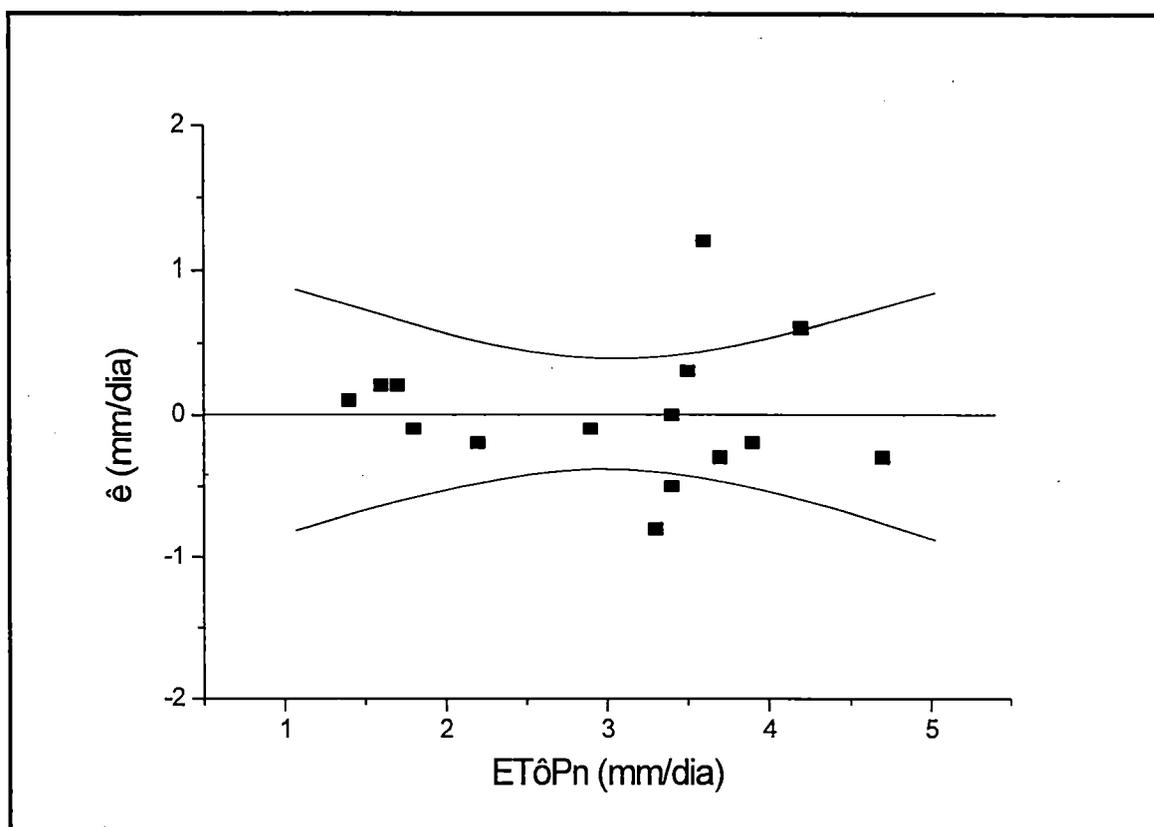


FIGURA 11 - Representação gráfica dos resíduos \hat{e} em relação a ET_{0Pn} ajustado.

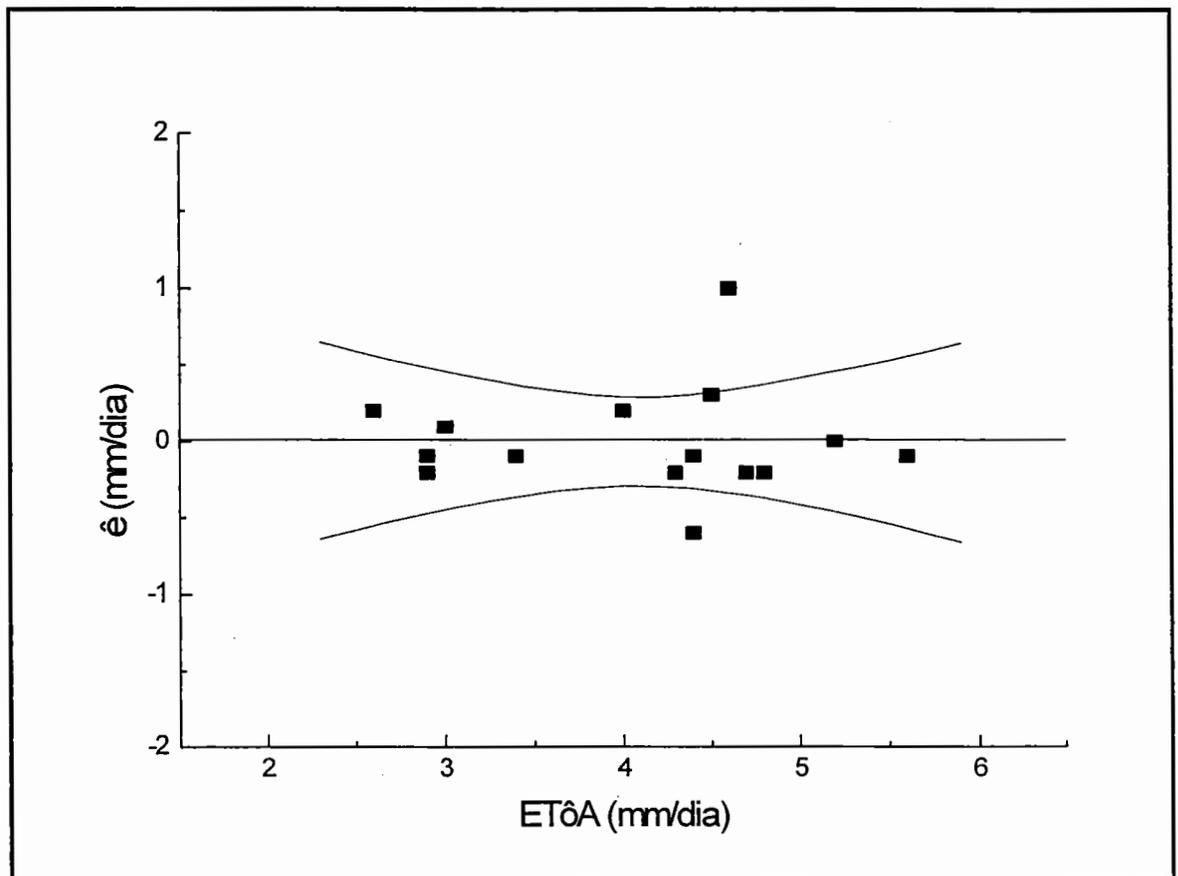


FIGURA 12 - Representação gráfica dos resíduos \hat{e} em relação a Eto_A ajustado.

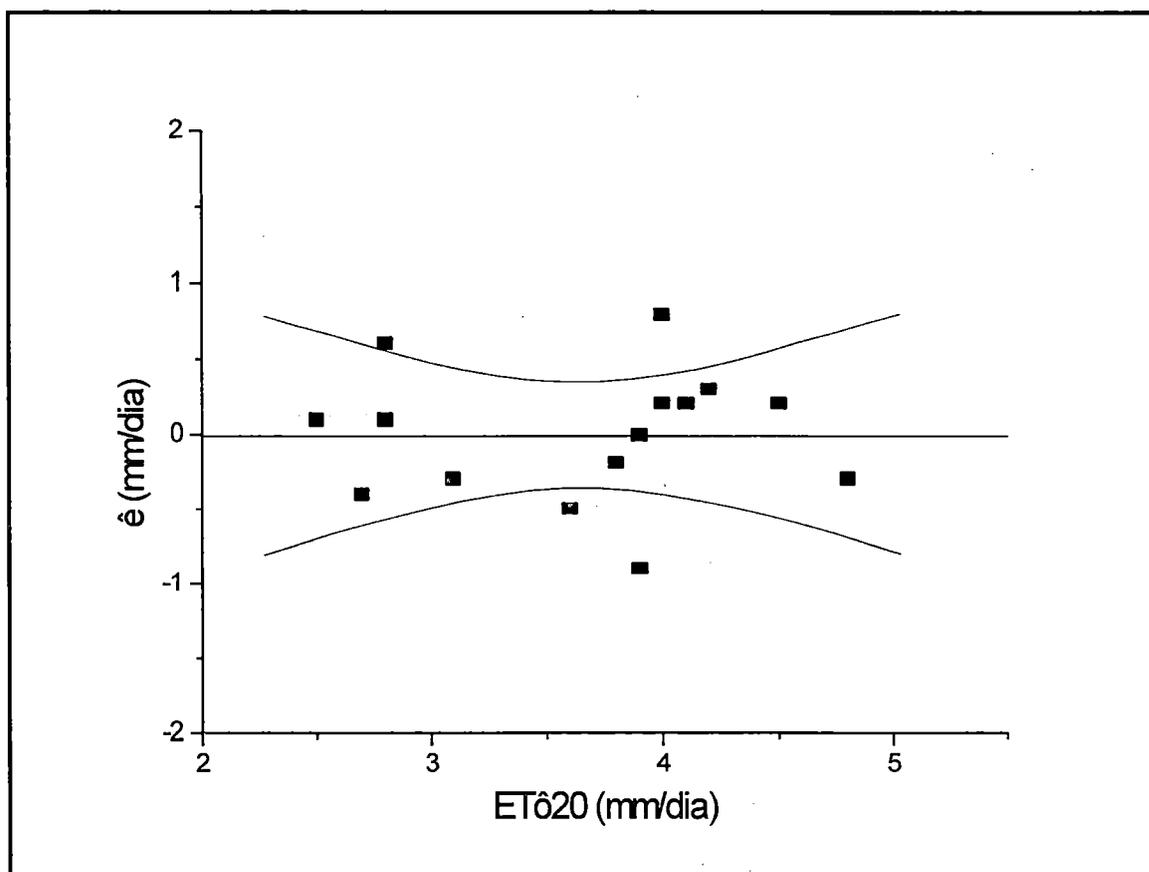


FIGURA 13 - Representação gráfica dos resíduos \hat{e} em relação A Eto_{20} ajustado.

A partir das figuras 11 a 13, observa-se que os resíduos apresentaram uma distribuição aleatória em torno de zero, indicando que o modelo linear proposto é satisfatório para a análise de dados.

4.3 - RELATIVO A UMIDADE DO SOLO

A umidade do solo é um parâmetro extremamente variável, principalmente com o tempo.

As camadas superficiais são as mais expostas à variação de umidade que ocorrem devido à chuva, irrigação, evapotranspiração; e da irregularidade destes processos, juntamente com a variabilidade do solo, resulta a grande variação dos dados de umidade.

É de se esperar que esta variação diminua em profundidade. Não se deve esquecer porém, que a zona mais crítica é a superficial de 0 - 30 cm, e esta deve ser bem amostrada.

A finalidade do monitoramento da umidade neste trabalho, foi de verificar o comportamento da água no solo do lisímetro; acompanhar o movimento da água do lençol à superfície, provocada pela capilaridade, podendo-se constatar a eficiência do sistema de

alimentação, que supria as camadas superficiais do solo, provocando a evapotranspiração máxima; e ao mesmo tempo, acompanhar o movimento descendente da água para o interior do solo observando a eficiência do sistema de drenagem, que logo após precipitações consideráveis (precipitações que provocam percolação), drenava o excesso de água.

Para verificar o comportamento da água no solo do lisímetro foi instalada uma bateria de tensiômetros nas profundidades de 10, 20, 30, 40, 60 e 80 cm, que permitia monitorar a umidade por meio do potencial mátrico (Ψ_m) avaliado pela expressão :

$$\Psi_m = - 12,6h + hc + z$$

onde h , hc e z , representam respectivamente, a leitura da coluna de mercúrio (cm Hg), a altura da cuba de mercúrio em relação à

superfície do solo (cm de H_2O) e z a profundidade de instalação do tensiômetro (cm de H_2O).

A componente matricial (Ψ_m) se refere aos estados de energia da água devidos à sua interação com as partículas sólidas do solo, também chamadas de matrizes do solo. Esta interação se refere a fenômenos de capilaridade e adsorção que dependem principalmente do arranjo poroso, distribuição dos poros segundo seu diâmetro médio, tensão superficial da água, afinidade entre a água e as superfícies sólidas, superfície específica do solo, qualidade das partículas sólidas (principalmente a fração argila). Vê-se, portanto, que é muito complicado descrever estes fenômenos e desenvolver fórmulas.

Entretanto, pode-se avaliar este comportamento com análise do solo em laboratório. Por meio de amostra retiradas nas profundidades indicadas pelos tensiômetros foi

determinada a curva característica de umidade do solo, cujos dados são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4 - Umidade ($\theta_{\text{cm}^3/\text{cm}^3}$) em função dos potenciais matriciais, e densidade do solo (g/cm^3) para as diferentes camadas.

Ψ_m (cm H ₂ O)	Camadas (cm)					
	10	20	30	40	60	80
0	0,63	0,6	0,55	0,59	0,61	0,59
10	0,57	0,54	0,54	0,56	0,57	0,56
20	0,52	0,50	0,53	0,53	0,52	0,50
40	0,48	0,46	0,51	0,49	0,46	0,44
100	0,43	0,42	0,48	0,44	0,41	0,38
300	0,37	0,37	0,43	0,38	0,34	0,33
500	0,35	0,34	0,41	0,36	0,33	0,32
1000	0,32	0,33	0,39	0,35	0,31	0,31
5000	0,30	0,28	0,38	0,32	0,27	0,26
15000	0,28	0,25	0,36	0,31	0,26	0,25
f_g	1,16	1,58	1,75	1,65	1,53	1,48

De posse dos valores do potencial mátrico, obtidos da leitura dos tensiômetros, foi possível determinar o teor de água no solo para cada profundidade.

Os dados da umidade do solo no interior do lisímetro durante o experimento estão apresentados nas Tabelas de 5 a 9.

Os resultados mostram que até a camada de 40 cm o solo está acima da capacidade de campo. Entre as camadas de 20-30 cm ocorre uma zona de transição, e a partir da camada de 20 cm até a superfície ocorre uma grande variação de umidade; sendo bastante influenciada pela evapotranspiração que retira água do solo diminuindo os valores de umidade. Verifica-se também nesta camada (0-20 cm) a influência da precipitação, que provoca durante algum tempo os valores mais altos de umidade.

TABELA 5 - Umidade do solo (cm^3/cm^3) nas diferentes camadas para o mês de fevereiro.

DIA	10	20	30	40	60	80
1	0,38	0,34	0,42	0,41	0,38	0,59
2	0,36	0,34	0,41	0,40	0,37	0,59
3	0,37	0,34	0,42	0,42	0,38	0,59
4	0,38	0,34	0,41	0,40	0,38	0,59
5	0,39	0,34	0,41	0,42	0,38	0,59
6	0,36	0,35	0,44	0,52	0,40	0,59
7	0,34	0,34	0,41	0,43	0,43	0,59
8	0,45	0,34	0,43	0,50	0,40	0,59
9	0,41	0,34	0,41	0,42	0,38	0,59
10	0,38	0,34	0,41	0,41	0,39	0,59
11	0,37	0,34	0,41	0,44	0,37	0,59
12	0,39	0,34	0,42	0,41	0,36	0,59
13	0,59	0,34	0,41	0,42	0,36	0,59
14	0,41	0,34	0,41	0,42	0,37	0,59
15	0,36	0,34	0,41	0,40	0,37	0,59
16	0,37	0,34	0,41	0,40	0,36	0,59
17	0,36	0,34	0,41	0,43	0,37	0,59
18	0,36	0,34	0,41	0,44	0,37	0,59
19	0,37	0,34	0,43	0,39	0,37	0,59
20	0,44	0,34	0,41	0,38	0,39	0,59
21	0,37	0,34	0,41	0,38	0,40	0,59
22	0,35	0,34	0,41	0,38	0,36	0,59
23	0,36	0,34	0,41	0,38	0,37	0,59
24	0,33	0,34	0,41	0,38	0,37	0,59
25	0,32	0,34	0,41	0,39	0,37	0,59
26	0,32	0,33	0,41	0,38	0,37	0,59
27	0,32	0,35	0,41	0,41	0,40	0,59
28	0,32	0,34	0,40	0,39	0,36	0,59

TABELA 6 - Umidade do solo (cm^3/cm^3) nas diferentes camadas para o mês de março.

DIA	10	20	30	40	60	80
1	0,50	0,34	0,43	0,40	0,38	0,59
2	0,59	0,35	0,47	0,43	0,39	0,59
3	0,43	0,33	0,41	0,40	0,38	0,59
4	0,38	0,33	0,41	0,40	0,38	0,59
5	0,38	0,34	0,41	0,40	0,38	0,59
6	0,35	0,34	0,43	0,43	0,38	0,59
7	0,34	0,34	0,42	0,44	0,39	0,59
8	0,33	0,33	0,41	0,40	0,39	0,59
9	0,35	0,33	0,41	0,39	0,39	0,59
10	0,34	0,33	0,40	0,38	0,36	0,59
11	0,42	0,34	0,42	0,39	0,36	0,59
12	0,40	0,34	0,43	0,43	0,37	0,59
13	0,37	0,35	0,44	0,50	0,38	0,59
14	0,36	0,35	0,44	0,50	0,39	0,59
15	0,36	0,35	0,44	0,43	0,38	0,59
16	0,35	0,35	0,45	0,43	0,39	0,59
17	0,34	0,35	0,41	0,40	0,38	0,59
18	0,42	0,34	0,43	0,39	0,38	0,59
19	0,37	0,34	0,41	0,39	0,38	0,59
20	0,59	0,34	0,44	0,43	0,38	0,59
21	0,38	0,34	0,42	0,42	0,38	0,59
22	0,36	0,33	0,41	0,40	0,38	0,59
23	0,35	0,34	0,41	0,40	0,37	0,59
24	0,34	0,33	0,40	0,39	0,37	0,59
25	0,35	0,34	0,42	0,45	0,36	0,59
26	0,47	0,34	0,44	0,39	0,36	0,59
27	0,40	0,33	0,43	0,43	0,37	0,59
28	0,37	0,34	0,43	0,49	0,37	0,59
29	0,36	0,34	0,41	0,37	0,37	0,59
30	0,35	0,34	0,41	0,39	0,37	0,59
31	0,34	0,35	0,41	0,40	0,37	0,59

TABELA 7 - Umidade do solo (cm^3/cm^3) nas diferentes camadas para o mês de abril.

DIA	10	20	30	40	60	80
1	0,35	0,34	0,41	0,38	0,36	0,59
2	0,36	0,34	0,42	0,41	0,38	0,59
3	0,35	0,34	0,42	0,41	0,38	0,59
4	0,34	0,35	0,44	0,42	0,39	0,59
5	0,34	0,35	0,44	0,44	0,38	0,59
6	0,33	0,35	0,43	0,43	0,38	0,59
7	0,35	0,35	0,45	0,44	0,38	0,59
8	0,34	0,34	0,44	0,44	0,39	0,59
9	0,34	0,35	0,43	0,42	0,39	0,59
10	0,33	0,33	0,41	0,39	0,36	0,59
11	0,33	0,34	0,42	0,41	0,37	0,59
12	0,32	0,34	0,41	0,39	0,37	0,59
13	0,32	0,34	0,43	0,41	0,37	0,59
14	0,32	0,33	0,41	0,38	0,37	0,59
15	0,32	0,34	0,42	0,41	0,37	0,59
16	0,34	0,35	0,45	0,45	0,37	0,59
17	0,33	0,33	0,40	0,36	0,34	0,59
18	0,33	0,33	0,42	0,41	0,36	0,59
19	0,33	0,33	0,41	0,39	0,37	0,59
20	0,33	0,34	0,42	0,42	0,37	0,59
21	0,32	0,34	0,42	0,41	0,37	0,59
22	0,37	0,34	0,43	0,41	0,37	0,59
23	0,36	0,34	0,44	0,50	0,37	0,59
24	0,34	0,34	0,42	0,49	0,37	0,59
25	0,34	0,34	0,42	0,53	0,37	0,59
26	0,33	0,34	0,44	0,43	0,36	0,59
27	0,33	0,34	0,43	0,42	0,37	0,59
28	0,33	0,35	0,45	0,44	0,37	0,59
29	0,32	0,34	0,42	0,41	0,38	0,59
30	0,33	0,34	0,41	0,39	0,36	0,59

TABELA 8 - Umidade do solo (cm^3/cm^3) nas diferentes camadas para o mês de maio.

DIA	10	20	30	40	60	80
1	0,34	0,34	0,42	0,40	0,37	0,59
2	0,34	0,34	0,40	0,39	0,37	0,59
3	0,33	0,34	0,42	0,39	0,37	0,59
4	0,34	0,34	0,42	0,38	0,37	0,59
5	0,34	0,34	0,43	0,42	0,37	0,59
6	0,34	0,34	0,42	0,39	0,37	0,59
7	0,34	0,34	0,42	0,40	0,37	0,59
8	0,34	0,34	0,42	0,40	0,37	0,59
9	0,35	0,34	0,42	0,40	0,38	0,59
10	0,33	0,34	0,43	0,40	0,38	0,59
11	0,33	0,34	0,41	0,40	0,37	0,59
12	0,34	0,34	0,42	0,39	0,37	0,59
13	0,34	0,34	0,42	0,39	0,37	0,59
14	0,34	0,34	0,41	0,38	0,37	0,59
15	0,36	0,34	0,42	0,39	0,37	0,59
16	0,36	0,34	0,43	0,44	0,38	0,59
17	0,34	0,34	0,43	0,41	0,38	0,59
18	0,33	0,34	0,43	0,49	0,38	0,59
19	0,33	0,34	0,42	0,41	0,38	0,59
20	0,33	0,33	0,41	0,41	0,37	0,59
21	0,33	0,33	0,41	0,39	0,37	0,59
22	0,33	0,33	0,42	0,40	0,37	0,59
23	0,32	0,33	0,41	0,38	0,37	0,59
24	0,32	0,33	0,41	0,38	0,37	0,59
25	0,32	0,34	0,42	0,39	0,37	0,59
26	0,32	0,33	0,42	0,38	0,37	0,59
27	0,32	0,33	0,42	0,37	0,36	0,59
28	0,35	0,34	0,43	0,40	0,36	0,59
29	0,34	0,34	0,42	0,39	0,36	0,59
30	0,34	0,34	0,43	0,41	0,37	0,59
31	0,33	0,33	0,41	0,38	0,37	0,59

TABELA 9 - Umidade do solo (cm^3/cm^3) nas diferentes camadas para o mês de junho.

DIA	10	20	30	40	60	80
1	0,33	0,33	0,41	0,38	0,37	0,59
2	0,33	0,33	0,44	0,47	0,37	0,59
3	0,32	0,33	0,43	0,38	0,37	0,59
4	0,32	0,33	0,43	0,38	0,37	0,59
5	0,33	0,33	0,43	0,38	0,37	0,59
6	0,33	0,33	0,44	0,39	0,37	0,59
7	0,32	0,33	0,41	0,42	0,37	0,59
8	0,32	0,33	0,41	0,42	0,37	0,59
9	0,32	0,33	0,41	0,38	0,37	0,59
10	0,32	0,33	0,42	0,38	0,37	0,59
11	0,32	0,33	0,41	0,38	0,37	0,59
12	0,32	0,33	0,42	0,38	0,37	0,59
13	0,32	0,33	0,42	0,38	0,37	0,59
14	0,32	0,33	0,42	0,38	0,37	0,59
15	0,32	0,33	0,42	0,37	0,37	0,59
16	0,32	0,33	0,42	0,38	0,37	0,59
17	0,32	0,33	0,42	0,38	0,37	0,59
18	0,32	0,33	0,43	0,38	0,37	0,59
19	0,32	0,33	0,42	0,38	0,44	0,59
20	0,32	0,33	0,42	0,38	0,37	0,59
21	0,32	0,33	0,41	0,38	0,37	0,59
22	0,32	0,33	0,41	0,38	0,37	0,59
23	0,36	0,35	0,44	0,39	0,37	0,59
24	0,34	0,34	0,46	0,42	0,37	0,59
25	0,35	0,35	0,42	0,38	0,37	0,59
26	0,34	0,34	0,43	0,46	0,37	0,59
27	0,34	0,34	0,43	0,46	0,37	0,59
28	0,34	0,34	0,42	0,42	0,37	0,59
29	0,34	0,34	0,42	0,41	0,39	0,59
30	0,34	0,34	0,42	0,38	0,37	0,59

4.4 - RELATIVO AO SISTEMA DE DRENAGEM

O sistema de drenagem na forma de "espinha de peixe" foi assim montado para cobrir toda a área da caixa do lisímetro, e proporcionar uma maior rapidez na drenagem do excesso de água.

Com o objetivo de estudar a relação entre a precipitação e a drenagem foram selecionados os eventos de precipitação e suas respectivas drenagens, cujos valores estão apresentados nas Tabelas 10 e 11. Destes valores verificou-se que precipitações superiores a 9 mm provocavam drenagem. O estudo destes fenômenos permitiu a aplicação de uma análise de regressão linear, relacionando os valores de precipitação com as suas respectivas drenagens. Com estes dados selecionados apresentados na Tabela 12 e representados graficamente na Figura 14, foi desenvolvida a análise de regressão linear com o seu coeficiente de correlação igual a 0,97;

significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t, resultando na seguinte expressão :

$$D = - 24,16 + 0,91 \times P,$$

onde D é a drenagem e P a precipitação; cuja representação gráfica da análise de regressão é apresentada na Figura 15.

Como pode ser observado pelos resultados, o sistema de drenagem, logo após as precipitações, entrava em funcionamento retirando o excesso de água. Esta drenagem era mais eficiente para as precipitações de maior intensidade, devido ao maior volume de umidade adicional, o que provoca um fluxo mais rápido da água para as camadas inferiores do solo.

Após leituras posteriores nos tensiômetros, observava-se que a umidade do solo voltava a valores próximos da capacidade de campo, o que confirma a eficiência do sistema de drenagem.

Como existe um processo constante de infiltração da água até sua completa percolação

para as camadas inferiores do solo; o fluxo da água ainda perdura por algum tempo, sendo maior ou menor, em função da intensidade da precipitação e da umidade atual do solo.

TABELA 10 - Drenagem acumulada em litros.

DIA/MÊS	FEVER	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO
1	6	78	66	84	42	138
2	12	126	66	84	48	138
3	21	210	66	84	48	138
4	30	216	72	84	48	144
5	36	222	84	90	48	144
6	36	222	90	90	48	144
7	36	225*	102	90	48	144
8	60	6	114	90	48	144
9	72	6	126	96	48	144
10	72	6	138	102	48	150
11	78	6	144	102	54	150
12	78	66	150	102	66	150
13	78	90	156	102	66	150
14	84	96	162	108	66	150
15	84	96	168	126	66	150
16	84	108	174	134	66	150
17	93	114	174	246	66	150
18	96	126	186	246	66	150
19	108	144	192*	246	66	150
20	330*	186	6	246	72	150
21	42	240	18	252*	72	150
22	42	258	24	6	78	150
23	42	258*	48	6	90	156
24	48	6	66	6	108	174
25	60	6	78	6	114	204
26	66	6	84	6	126	210
27	72	48	84	6	126	210
28	72	60	84	36	126	210
29		66	84	42	126	210
30		66	84	42	132	210
31		66		42		210

* Descarga do excesso de água do tanque coletor graduado.

TABELA 11 - Precipitação (mm) ocorrida no período de fevereiro a junho de 1994.

DIA/MÊS	FEVER	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO
1	0.0	20.4	5.4	0.0	0.0
2	0.6	27.7	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4
6	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	12.2	0.0	0.0
8	20.0	0.9	0.7	0.0	0.0
9	1.6	0.0	0.0	0.0	0.4
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.2	16.5	0.0	0.0	0.0
12	6.4	17.4	0.0	0.0	0.0
13	10.1	1.5	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	1.6	11.7	0.0
15	0.8	3.1	9.0	12.5	0.0
16	3.4	0.0	0.0	32.1	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	12.8	0.5	0.0	0.0
19	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0
20	77.5	28.2	0.0	0.0	0.0
21	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.1	12.9	0.0	4.5
23	0.0	0.0	4.8	0.3	16.5
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	5.4	0.0	0.0	7.1
26	0.1	10.6	1.4	0.0	3.1
27	1.6	10.3	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	0.0	19.8	0.0
29		0.0	0.0	0.0	0.0
30		0.0	0.0	0.0	0.0
31		2.2		0.0	

TABELA 12 - Dados selecionados de Precipitação e Drenagem em litros, para a análise de regressão linear.

DIA/MÊS	PRECIPITAÇÃO (1)	DRENAGEM (1)	% REMOÇÃO 1° DIA APÓS PRECIPITAÇÃO
08/02	72	24	33
13/02	36	6	17
20/02	279	222	80
01/03	73	48	66
02/03	100	84	84
11/03	60	60	100
12/03	63	30	47
18/03	46	18	39
20/03	102	54	53
26/03	75	54	72
07/04	44	12	27
15/04	32	6	19
22/04	46	6	13
14/05	42	18	43
15/05	45	8	18
16/05	116	112	97
28/05	71	30	42
23/06	60	18	30

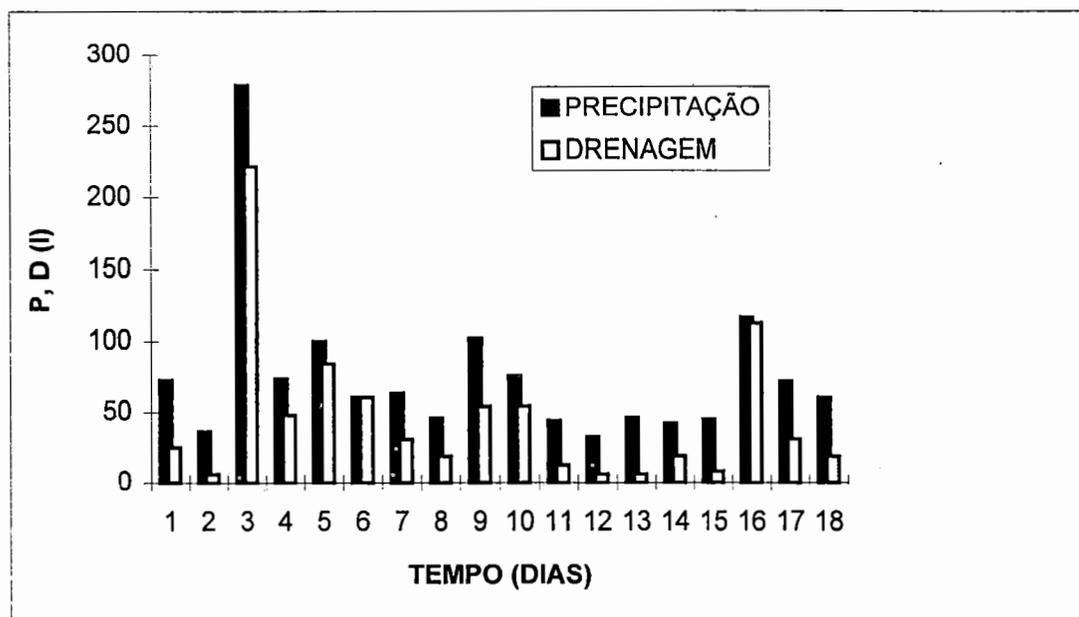


FIGURA 14 - Representação gráfica dos valores de precipitação selecionados e suas respectivas drenagens.

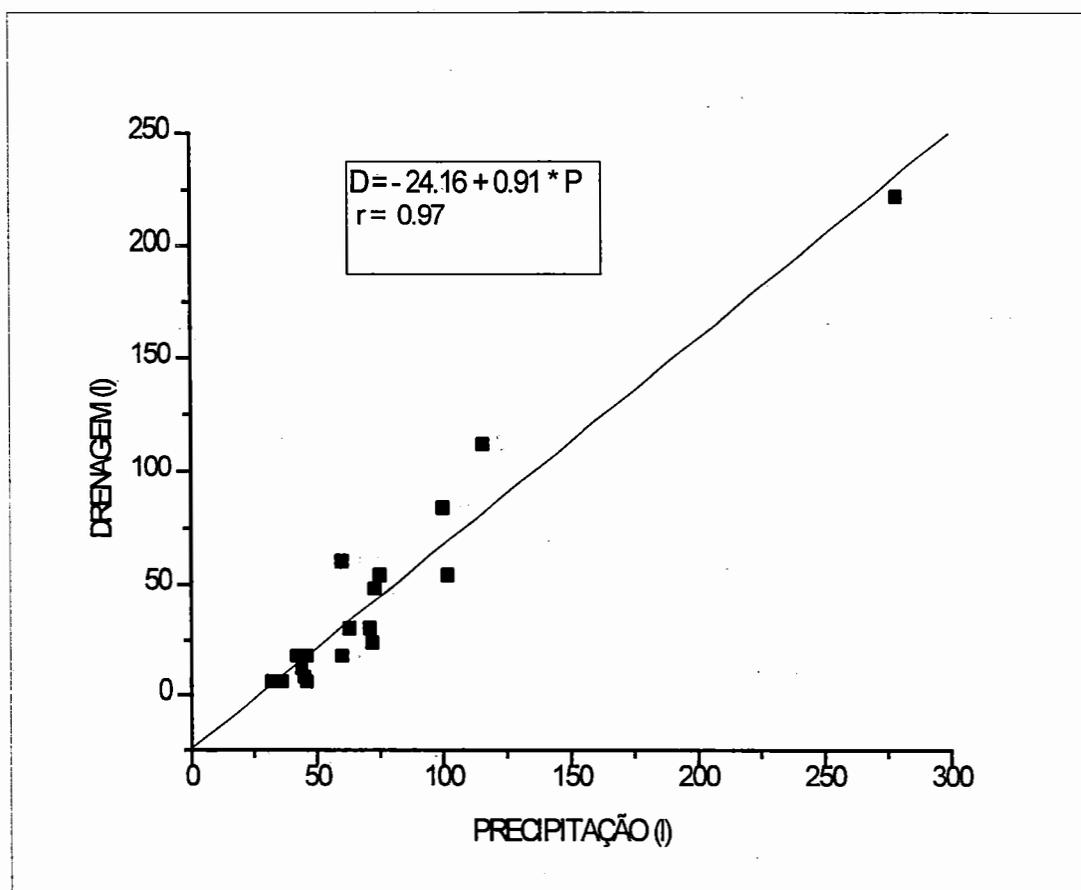


FIGURA 15 - Representação gráfica da análise de regressão simples entre os valores da precipitação e da drenagem

5 - CONCLUSÕES E SUGESTÃO

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que o lisímetro de nível freático constante com sistema de drenagem na forma de "espinha de peixe", desenvolvido para a determinação da evapotranspiração de referência com as dimensões de 1,5 x 2,4 x 1,5 m é viável, devido a precisão dos resultados e principalmente pela facilidade de operação.

Comparando com os métodos de determinação da evapotranspiração de referência recomendados pela FAO (Food and Agriculture Organization) da UNESCO, constatou-se que a melhor correlação foi obtida entre o lisímetro e o tanque classe "A". Entre os métodos empíricos e climáticos o que

apresentou resultado mais próximo ao do lisímetro foi o método de Penman.

Quanto ao sistema de drenagem instalado no lisímetro, pôde-se constatar um funcionamento eficiente, que drenando o excesso de água gravitacional quase instantaneamente, impedia que esta influenciasse na distribuição de umidade do solo.

Recomenda-se a utilização deste lisímetro em outros experimentos para avaliar a produção, e assim constatar a relação deste com os processos produtivos, o que poderia confirmar a sua viabilidade técnica.

ANEXOS

TABELA 13 - Valores da evapotranspiração de referência com base em grama (mm/dia) observados no lisímetro.

DIA/MÊS	FEVER	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO
1	2,5	4,9	2,8	2,2	1,4
2	5,6	4,6	1,4	2,2	1,1
3	4,6	2,6	1,1	2,0	1,4
4	6,0	2,2	4,1	2,2	0,7
5	4,6	2,7	5,0	3,9	1,4
6	5,0	3,4	3,7	3,5	1,4
7	4,8	2,5	5,9	2,3	1,2
8	2,2	5,0	1,4	3,2	1,3
9	0,5	2,3	3,0	3,2	1,5
10	2,8	5,0	4,6	3,8	1,0
11	1,2	0,1	3,7	2,0	2,1
12	3,2	4,3	3,7	4,0	2,3
13	0,5	2,3	3,2	1,8	1,0
14	1,5	4,0	2,9	2,2	1,0
15	1,5	3,3	3,5	0,1	2,1
16	2,1	5,6	1,6	0,1	1,4
17	5,4	4,5	0,8	0,2	1,4
18	3,2	5,4	4,2	0,2	2,5
19	6,4	2,9	3,0	1,0	1,2
20	7,1	3,0	3,3	0,9	2,4
21	5,5	2,9	4,8	0,7	2,7
22	2,0	2,0	3,1	0,9	1,9
23	2,4	3,1	2,0	0,7	0,6
24	3,1	3,6	2,4	2,2	0,2
25	8,3	3,4	2,1	0,4	0,2
26	5,8	3,4	2,1	2,1	0,2
27	2,8	2,9	2,0	1,7	0,1
28	5,0	2,0	2,0	1,6	0,2
29		3,0	2,0	0,3	0,2
30		3,1	2,2	0,5	1,6
31		3,6		0,6	

TABELA 14 - Valores da evapotranspiração de referência com base em grama (mm/dia) estimados pela fórmula de Penman ($ET_{o_{Pn}}$).

DIA/MÊS	FEVER	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO
1	5,7	2,0	3,6	2,3	1,5
2	4,8	2,9	4,2	2,7	1,9
3	5,6	4,9	3,8	2,5	1,9
4	6,1	4,5	3,7	2,6	1,3
5	5,6	4,2	3,5	2,0	2,0
6	4,9	3,7	3,8	2,3	2,3
7	4,1	3,8	1,5	2,5	2,0
8	3,2	4,1	3,2	2,1	2,2
9	5,3	3,5	3,0	2,9	2,3
10	2,9	3,2	3,2	2,8	1,7
11	4,4		3,2	2,4	1,9
12	4,9	3,8	3,6	2,0	2,3
13	3,3	4,4	2,5	0,9	1,8
14	5,7	4,4	2,5	1,1	2,0
15	4,7	4,0	3,0	2,1	1,9
16	4,6	3,7	3,1	1,5	1,7
17	5,4	4,4	4,1	2,1	2,0
18	4,8	3,5	1,3	1,6	2,1
19	5,6	3,6	3,4	1,7	2,3
20	4,5	2,3	2,1	1,2	2,9
21	4,2	3,4	3,6	1,0	1,8
22	5,2	3,9	1,9	2,0	0,5
23	4,9	3,8	3,0	2,6	1,5
24	5,0	2,1	2,6	1,7	2,9
25	3,7	3,7	2,1	1,9	1,6
26	2,7	2,7	3,4	2,5	0,9
27	4,6	4,3	3,0	0,6	1,3
28	5,2	3,2	2,9	1,9	1,3
29		3,3	2,8	1,4	1,3
30		4,2	3,0	1,7	1,4
31		3,0		2,1	

TABELA 15 - Valores da evapotranspiração de referência com base em grama (mm/dia) estimados pelo método do Tanque Classe "A" (ET_{0A}).

DIA/MÊS	FEVER	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO
1	3,9	3,3	5,0	4,3	0,9
2		3,5	5,3	2,9	3,1
3	6,2	7,9	4,3	4,9	2,9
4		8,1	4,0	3,8	1,2
5	7,8	4,1	5,9	4,0	3,0
6	5,6	4,7	4,6	5,3	2,2
7	5,0	3,9	2,9	4,8	3,7
8	2,7	3,2	4,8	2,4	3,4
9		5,1	3,1	3,9	3,4
10	4,2	2,2	4,5	4,0	3,4
11	5,6	5,5	3,6	5,3	3,4
12		5,2	4,3	1,9	2,6
13	4,6	5,6	4,8	0,7	2,7
14	6,1	4,0	3,5	1,8	2,4
15	5,9	5,5	4,7		2,9
16	4,2	5,8	3,7	5,1	3,5
17	6,4	4,9	5,1	4,7	3,4
18	6,5	6,3	0,2	4,0	2,8
19		4,1	3,7	3,8	4,2
20	5,3	1,0	4,3	1,6	5,0
21	7,5	5,3	3,4	3,4	2,3
22	6,7	5,4	3,7	1,7	0,6
23	6,5	4,8	4,0	2,7	2,0
24	5,6	2,4	3,1	1,1	3,6
25	5,5	3,2	4,7	4,1	3,0
26	3,2	2,0	4,4	3,7	2,1
27	5,8	5,7	4,0	1,8	3,6
28		5,3	4,3	3,5	3,7
29		3,3	5,4	2,9	3,4
30		5,4	4,4	3,0	3,4
31		3,9		4,1	

TABELA 16 - Valores da evapotranspiração de referência com base em grama (mm/dia) estimados pelo método do Tanque 20 m² (ET_{o20}).

DIA/MÊS	FEVER	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO
1	5,0	3,3		4,6	1,6
2	4,5	3,0		3,8	2,2
3	5,3	8,6	4,1	4,6	2,8
4		7,8	3,8	4,1	2,0
5	5,2	5,0	3,5	3,5	3,0
6	6,2	6,0	4,5	4,0	2,5
7		5,2	5,6	4,8	3,3
8	3,7	2,4	7,3	2,4	2,4
9	4,7	2,6	3,4	3,5	4,5
10	3,4	0,6	3,3	3,2	4,6
11	6,2		2,9	3,0	3,3
12	4,2	4,9	3,8	4,0	3,5
13	3,9	4,2	2,4		2,7
14	5,2	4,1	2,5		2,2
15	3,9	4,2	4,2		2,8
16	3,8	5,0	2,3	4,6	2,1
17	5,6	3,5	4,5	3,2	2,4
18	4,8	4,4	2,0	4,7	2,5
19			3,0	2,7	2,4
20	5,4	3,4	2,8	1,3	4,5
21	5,7	4,2	1,3	2,7	0,5
22	5,0	4,8	3,6	0,7	1,6
23	5,3	4,3	3,3	1,7	1,5
24		2,4	2,2	1,3	3,8
25	5,4	3,2	2,7	2,6	3,1
26	3,4		3,0	2,5	3,5
27	3,8	6,9	3,5	1,6	3,7
28		4,4	3,5	3,2	3,8
29		3,1	5,4	3,3	2,6
30		3,5	3,3	2,9	1,3
31		2,0		3,0	

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M.
Lysimeters. Rome, FAO, 1982. 68p. (Irrigation
and Drainage Paper, 39).

ASSIS, F. N. O uso do evapotranspirômetro no
estudo de algumas relações entre
evapotranspiração medida e estimada.
Piracicaba, 1978. 69p. (Mestrado - Escola
Superior de Agricultura "Luiz de "Queiroz"/
USP).

ASSIS, F. N. & VILLA NOVA, N. A. Adaptação do
evapotranspirômetro de Thorthwaite para o
registro da evapotranspiração. Agros, Pelotas,
15 (1) : 1-7, 1980.

BERNADO, S. Manual de Irrigação. 5. ed. Viçosa,
Imprensa Universitária, 1989. 596p.

BLANEY, H. F. & CRIDDLE, W. D. Determining water
requeriments in irrigated areas fro

climatological and irrigation data. Washington, USDA/Soil Conservation Service, 1952, 96p.

BURMAN, R. D.; NIXON, P. R.; WRIGHT, J. L.; PRUITT, W. O. Water Requeriments. IN : JENSEN, M. E. ed. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph, ASAE, 1983. cap. 6, p. 189-232.

CAMARGO, A. P. DE. Contribuição para a determinação da evapotranspiração no estado de São Paulo. campinas, Instituto Agrônômico, 1966. 59p. (IAC. Boletim Técnico, 16).

CURY, D. M. Avaliação da demanda hídrica da cultura do repolho (Brassica oleracea, var. capitata L.) e suas interrelações climáticas. Piracicaba, 1985. 79p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

DOORENBOS, J. & KASSAM, A. H. Yield response to water . Rome, FAO, 1979. 183p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. D. Guidelines for predicting crop water requeriments. Rome, FAO,

1977. 179p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

GANGOPADHYAYA, M.; HARBECK, G. E.; NORDENSON, T. J.; OMAR, M. H.; ORYVAEV, V. A. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Geneva, World Meteorological Organization, 1971. 121p.

GATES, D. M. & HANKS, R. J. Plant factors affecting evapotranspiration. IN : HAGAN, R. M.; HAISE, H. R.; EDMINSTER, T. W., ed. Irrigation of agricultural lands. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p. 506-20.

HARROLD, L. L. Evapotranspiration : a factor in the plant-soil-water economy. Preceedings of the First International Seminar for Hydrology Professors. Anais. Department of Civil Engineering. Illinois, Urbana. 1969. p. 694-716. v. 2.

HILLEL, D.; GAIRON, S.; FALKENFLUG, V.; RAWITZ, E. New design of low-cost hydraulic lysimeter system for field mensurament of evapotranspiration. Israel Journal of

Agricultural Research, bet-Dagan, 19(2): 57-63, Apr. 1969.

JAMES, L. G. Irrigation requeriments and scheduling. IN : JAMES, L. G. Principles of farm irrigation system design. New York, John Wiley, 1988. cap. 1, p. 1-50.

JENSEN, M. E. ed. Consuptive use of water and irrigation water requirements; report of the Technical Commission on Irrigation Water Requirements. New York, American Society of Civil Engineers/irrigation and Drainage Divison, 1974. 227p.

JENSEN, M. E. Water consuption by agricultural plants. IN : KOSLOWSKI. T. T., ed. Water deficits and plant growth. 2. ed. New York, Academis Press, 1969. v. 2, cap. 1., p. 1-22.

MAKKINK, G. F. Testing the Penman formula by means of lysimeters. J. Inst. water Engineer., 11(3): 277-88, 1957.

MORETTI DE SOUZA, J. L. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do algodoeiro (G. hirsutum L.) submetido a diferentes

profundidades do lençol freático, 1992. 70.p.
(MESTRADO-Escola Superior de Agricultura "Luiz
de Queiroz"/USP).

MOURA. M. C. F. L. Determinação do consumo de
água pela cultura do milho (ZEA mays L.) pelo
método lisimétrico, 1990. 94.p. (MESTRADO-
Escola Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz"/USP).

MOURA. M. V. T. Determinação do consumo de água
na cultura da cenoura (Daucus, Carota, L)
através dos métodos lisimétrico e balanço
hídrico sob condições de campo, 1992. 79 p.
(MESTRADO-Escola Superior Luiz de
Queiroz/USP).

ORTOLANNI, A. A.; CAMARGO, A. P. de; VILLA NOVA,
N. A. Correlação entre evapotranspiração
potencial calculada segundo os métodos de
Penman e de Thorthwaite e de dados de
evapotranspirômetros, na região de Ribeirão
Preto. Bragantia, campinas, 25 : LXV-III,
1966.

PENMAN, H. L. Evaporation; an introductory survey. Netherlands Journal of Agricultural Science, Wageningen, 4:9-29, 1956.

PENMAN, H. L.; ANGUS, D.E.; van BAVEL, C. H. M. Microclimatic factors affecting evaporation and transpiration. IN : HAGAN, R. M.; HAISE, H. R. EDMINSTER, T. W., ed. Irrigation of agricultural lands. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p. 483-505.

PERES, J. G. Determinação dos coeficientes de cultura (Kc) da cana de açúcar : ciclo de cana-soca. Piracicaba, 1988. 94.p. (MESTRADO - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

PRUITT, W. O.; LOURENCE, F. J.; van OETTINGEN, S. Water use by crops as affected by climate and plant factors. California Agriculture, Berkeley, p. 10-14. 1972.

REICHARDT, KLAUS. Água em sistemas agrícolas. São Paulo, MANOLE, 1987. 188p.

SCARDUA, R. Evapotranspiração real da cultura do milho como base aos projetos de irrigação. Piracicaba, 1970. 160p.

SEDYAMA, G. C. Necessidade de água para os cultivos. Brasília. ABES, 143p. 1987. (Curso de Engenharia de Irrigação. Módulo 4).

SHIH, S. F. Evapotranspiration, water-use efficiency, and water tables studies of sweet sorghum. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 29 (3) : 763-73, may/June 1986.

SOUZA, J. L. M. Evapotranspiração e coeficiente do algodoeiro (*G. Hirsutum* L.) submetido a diferentes profundidades do lençol freático , 1992. 70p. (MESTRADO-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

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.

TANNER, C. B. Measurement of evapotranspiration. IN : HAGAN, R. M.; HAISE, H. R.; EDMINSTER, T.

W., ed. Irrigation of agricultural lands. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p. 534-74.

TAVARES, M. V. M. Determinação do consumo de água na cultura de cenoura (*DAUCUS carota*, L.) através dos métodos lisimétrico e balanço hídrico sob condições de campo, Piracicaba, 1992. 84p. (MESTRADO - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

THORNTHWAITTE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, New York, 38(1): 55-94, 1948.

van BAVEL, C. H. M. Lysimetric measurements of evapotranspiration rates in the Eastern United States. *Soil Science Society of American Proceedings*, New York, 23(2): 138-41, 1961.