

FERNANDA PERUCHI

Evapotranspiração real a partir de medidas lisimétricas e sob diferentes condições de disponibilidade hídrica

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 Engenharia - Hidráulica e Saneamento.

Área de concentração: Hidráulica e Saneamento.

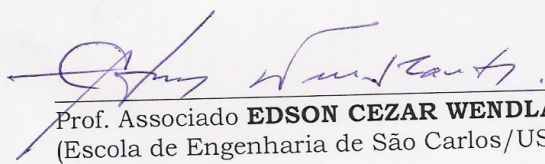
Orientador: Edson Cezar Wendland

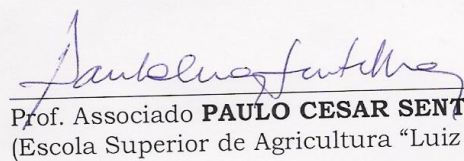
São Carlos
2009

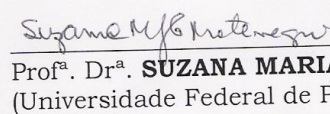
FOLHA DE JULGAMENTO

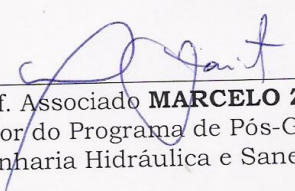
Candidata: Engenheira **FERNANDA PERUCHI**.

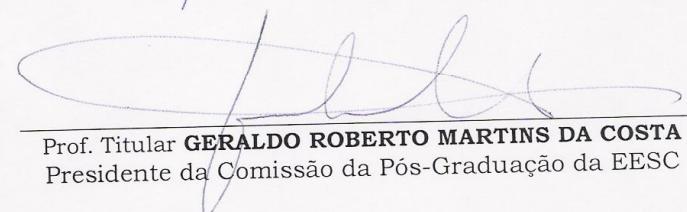
Dissertação defendida e julgada em 18/09/2009 perante a Comissão Julgadora:


Prof. Associado **EDSON CEZAR WENDLAND (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) Aprovada


Prof. Associado **PAULO CESAR SENTELHAS**
(Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP) APROVADA


Prof.^a. Dr.^a. **SUZANA MARIA GICO LIMA MONTENEGRO**
(Universidade Federal de Pernambuco/UFPE) APROVADA


Prof. Associado **MARCELO ZAIAT**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Hidráulica e Saneamento


Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SANEAMENTO
P003 P. 03
2

A Deus, fonte de luz e inspiração e ao Professor Clóvis Alberto Volpi “in memoriam” por sua força de vontade e auxílio neste trabalho.

DEDICO

Aos meus pais Rosi e Ângelo, ao meu irmão Eric e ao meu namorado Thomaz, por todo incentivo e apoio.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

São tantos os personagens dessa minha novela mexicana a agradecer...

A Deus, por toda a luz e perseverança que vem me dando para continuar a caminhada.

À minha família buscapé. Em especial meus pais Rosi e Angelo pelo apoio, incentivo, paciência, por acreditarem em mim e pela liberdade que me deram para eu seguir o caminho que escolhi, mesmo minha mãe achando que engenharia florestal era sinônimo de passar fome. Ao meu irmão Eric por ser tão companheiro. Às minhas avós fofinhas e ao meu tio Cá, por sempre acreditar em mim.

Ao Thomaz, pela cumplicidade, por ser tão companheiro (na alegria, nas TPM's, nas pedaladas e etc), pela paciência, pelas conversas que duram horas, discussões técnicas, incentivo e amor.

Ao professor Edson Cezar Wendland pela orientação e pela oportunidade de intercâmbio com a Escuela de Agronomia de La Pontificia Universidad Católica de Valparaiso – Chile.

Ao professor Clóvis Alberto Volpe “in memoriam” por me receber de braços abertos, pelos dados fornecidos e pela enorme força de vontade em me ajudar.

Ao professor Paulo Cesar Sentelhas pelo apoio espontâneo, pela gentileza em esclarecer minhas dúvidas “agroclimatológicas”, pelo incentivo e por me auxiliar na discussão dos dados.

Ao professor Antonio Marciano da Silva pelos conselhos e amizade desde a graduação.

Ao professor Fazal Hussain Chaudhry pelo privilégio de compartilhar um pouquinho de tanto conhecimento, de ensinar que a matemática não é um bicho de sete cabeças e pelas aulas “extra-oficiais” de cálculo.

Ao professor Eduardo Salgado por ter me recebido no Chile e aos amigos que lá fiz.

Aos funcionários da Estação Agroclimatológica da UNESP de Jaboticabal, Vanessa Sayuri e Carlos Capita, por toda a preocupação em me passar todos os dados, por sempre me receberem muito bem em Jaboticabal e pelos quitutes (nada mais gostoso do que o pãozinho da padaria “Família Capita” e a conserva de bambu).

Aos meus sogros Silvia e Toni e minha cunhada Thamara por todo o incentivo.

À minha amiga Cris Fioravente Reis, prova de que a distância não separa os amigos e, mesmo 400 km de distância, sempre esteve presente. As minhas eternas amigas Paloma, Micheli e Maria.

Ao meu chefe Marcelo Martirani (chefe melhor não poderia existir) e ao meu “ex-chefe” João Macedo por toda ajuda necessária. Aos amigos de trabalho Janaina, Klyus, Tânia e Marcos por aturarem meu mau humor pelas noites mal dormidas escrevendo a dissertação.

Às amigas de república Jaqueline e Michele pelo convívio, conversas, desabafos, cãominhadas e por terem cuidado da Anita sempre que precisei.

Aos colegas que fiz no mestrado, em São Carlos e no LHC (não cito nomes para não deixar ninguém de fora) por compartilhar conhecimentos técnicos e pelas horas de descontração, afinal nada melhor para abstrair do que chamar “truco Frango!!”. Em especial ao Luis Henrique Maldonado pelo auxílio na instalação do experimento e por toda ajuda ao longo desses dois anos.

À minha cachorra Anita, sempre companheira e disposta a um passeio para descontrair. Adote um animal você também caro leitor dessa dissertação.

Aos funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento Sá, André, Rose e Pavi.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos enquanto estive em São Carlos.

À todos aqueles que, de alguma forma, colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

UM GRANDE ABRAÇO!!

“Deus é a luz dos céus e da terra”
Corão

“A primeira coisa criada por Deus foi o intelecto”
Profeta Mohammad

“Deus não deu a Seus servidores algo mais estimável do que a inteligência”
Iman Ali ibn Abul Talib

“A cura para a ignorância é o conhecimento”
Iman Ali ibn Abul Talib

“Seja a mudança que você quer ver no mundo”
Mahatma Gandhi

RESUMO

PERUCHI, F. Evapotranspiração real a partir de medidas lisimétricas e sob diferentes condições de disponibilidade hídrica. 2009. 141f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

A evapotranspiração pode ser responsável por mais da metade da saída de água de uma bacia hidrográfica, sendo uma variável importante para o balanço hídrico e para a estimativa da recarga. Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho analisar a evapotranspiração de referência (ET_o) e real (ET_r) para a região de Jaboticabal-SP, assim como verificar a influência da umidade do solo na evapotranspiração. A variação da evapotranspiração de referência foi estudada a partir da interpretação de dados de uma bateria de seis lisímetros de drenagem (ET_{oLis}) e estimativas teóricas por três equações diferentes disponíveis na literatura (Tanque Classe A, Thornthwaite e Penman Monteith FAO 56 utilizando a radiação solar global estimada, observada e todas as variáveis observadas). A evapotranspiração real foi obtida por meio de dados de uma bateria de três lisímetros operando em condições reais de campo e a partir do balanço hídrico seqüencial de Thornthwaite e Mather (1955) utilizando a evapotranspiração de referência obtida pelos três modelos teóricos. Outros três lisímetros receberam irrigações esporádicas e obtiveram-se outros valores de evapotranspiração, a fim de comparar o comportamento da evapotranspiração sob três disponibilidades de água no solo. A análise estatística de correlação indica que as estimativas da ET_o por equações teóricas comparadas à ET_{oLis} medida em lisímetro de drenagem não apresentaram bons índices de comparação e erro. Admitindo que a operação dos lisímetros não permitiu a determinação da ET_o com boa confiabilidade, comparou-se os métodos com a equação de Penman Monteith FAO 56 utilizando todas as variáveis observadas. Observou-se ótima correlação entre a equação de Penman Monteith FAO 56 com os modelos utilizando a radiação solar global observada e estimada e com o Tanque Classe A. No tocante à evapotranspiração real, houve boas correlações entre os valores medidos pelos lisímetros e os valores estimados pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather. Melhor correlação foi verificada quando se utilizou o valor da CAD calculada em função dos parâmetros físicos do

solo. Os valores de ETr obtidos através do balanço hídrico utilizando a ETo estimada por Penman Monteith utilizando a radiação solar global observada apresentou a melhor correlação com os dados lisimétricos. Com relação à variação de umidade do solo, verificou-se um comportamento distinto entre as evapotranspirações observando um aumento da ET de acordo com o aumento do número de irrigações.

Palavras-Chave: Lisímetro, Evapotranspiração real, Balanço hídrico, Thornthwaite e Mather, Penman-Monteith

ABSTRACT

PERUCHI, F. Actual evapotranspiration from lysimetric data and under different conditions of water availability. 2009. 141f. Dissertation (Master of Science in Hydraulics and Sanitary Engineering). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

The evapotranspiration can be responsible for more than the half of the water that leaves a watershed, being an important variable for the water balance and for estimating the recharge. In this direction, the objective of this study was to analyse the reference (ET_o) and actual (ET_r) evapotranspiration for the region of Jaboticabal-SP, Brazil, as well as to verify the influence of the soil water content in the evapotranspiration. The variation of the reference evapotranspiration was studied based on data of a battery of six drainage lysimeters (ET_oLis) and three different theoretical models were used (Tanque Classe A, Thornthwaite and Penman Monteith FAO 56 using the estimated and observed global solar radiation and all the variables observed). The actual evapotranspiration data were obtained from a battery of three lysimeters operating in real field conditions and from the water balance of Thornthwaite and Mather (1955), using as reference evapotranspiration the values from the three theoretical models. Others three lysimeters received irrigation sporadically and others values of evapotranspiration were measured, in order to compare the behavior of the evapotranspiration under three availabilities soil water content. The statistical correlation analysis indicates that the estimates of ET_o from theoretical equations compared to the ET_oLis measured in lysimeter of draining did not present good indices of comparison and error. Aware that the operation of the lysimeters did not allow the determination of the ET_o with good trustworthiness, one compared the methods with the equation of Penman Monteith FAO 56 using all the observed variables. An excellent correlation was observed between the equation of Penman Monteith FAO 56 with the models using observed global solar radiation and estimated and with Tanque Classe A. Regarding actual evapotranspiration, there were good correlations between the values measured for the lysimeters and the estimated values for water balance of Thornthwaite and Mather. The values of ET_r through the water balance using the ET_o esteem for Penman Monteith using the observed global solar radiation presented the best correlation with the lysimeters data. Regarding to the variation of soil water

content, a distinct behavior was verified between the evapotranspirations in accordance with observing an increase of the ET the increase of the irrigation number.

Keywords: Lysimeter, actual evapotranspiration, water balance, Thornthwaite and Mather, Penman-Monteith

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Componentes do ciclo hidrológico para o balanço hídrico.	39
Figura 2 - Localização e vista da Estação Agroclimatológica da UNESP – Jaboticabal.....	44
Figura 3 - Esquematização de um lisímetro de drenagem livre.	45
Figura 4 – Galões de coleta do percolado.	46
Figura 5 – Tensiômetros instalados nos lisímetros de drenagem livre por gravidade.	46
Figura 6 – Lisímetro com os quatro tensiômetros instalados.	47
Figura 7 – Curva de retenção de água no solo ajustada através do software SWRC.	61
Figura 8 – Profundidades de influência de cada tensiômetro.	62
Figura 9 - Relação entre a evapotranspiração de referência medida no lisímetro (EToLis) e a soma entre precipitação e irrigação (P+I), em período mensal.	67
Figura 10 - Relação entre a evapotranspiração de referência medida no lisímetro (EToLis) e a soma entre precipitação e irrigação (P+I), em período quinzenal.	67
Figura 11 - Relação entre a evapotranspiração de referência medida e estimada e a umidade relativa média (UR _{média}), em período mensal.	68
Figura 12 - Relação entre a evapotranspiração de referência medida e estimada e a temperatura média (T _{média}), em período mensal.	69
Figura 13 - Relação entre a evapotranspiração de referência medida e estimada e a radiação solar global (R _{so}), em período mensal.....	69
Figura 14 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToTca e medidos por lisímetros, em período mensal.	72
Figura 15 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToTca e medidos por lisímetros, em período quinzenal.	73
Figura 16 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToTho e medidos por lisímetros, em período mensal.	74
Figura 17 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToTho e medidos por lisímetros, em período quinzenal.	74
Figura 18 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPMrse e medidos por lisímetros, em período mensal.	75
Figura 19 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPMrse e medidos por lisímetros, em período quinzenal.	75
Figura 20 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPMrso e medidos por lisímetros, em período mensal.	76
Figura 21 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPMrso e medidos por lisímetros, em período quinzenal.	76
Figura 22 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e medidos por lisímetros, em período mensal.	77
Figura 23 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e medidos por lisímetros, em período quinzenal.	77
Figura 24 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToTca, em período mensal.	80
Figura 25 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToTca, em período quinzenal.	80
Figura 26 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToTho, em período mensal.	81
Figura 27 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por	

EToPM e EToTho, em período quinzenal.	81
Figura 28 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToPMrse, em período mensal.	82
Figura 29 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToPMrse, em período quinzenal.	82
Figura 30 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToPMrso, em período mensal.	83
Figura 31 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToPMrso, em período quinzenal.	83
Figura 32 - Relação entre a precipitação menos a drenagem do lisímetro (P-D) e a precipitação (P), em período mensal.	85
Figura 33 - Relação entre a precipitação menos a drenagem do lisímetro (P-D) e a precipitação (P), em período quinzenal.	86
Figura 34 - Relação entre a evapotranspiração real medida e estimada e a umidade relativa média (UR _{média}), em período mensal.	87
Figura 35 - Relação entre a evapotranspiração real medida e estimada e a temperatura média (T _{média}), em período mensal.	88
Figura 36 - Relação entre a evapotranspiração real medida e estimada e a radiação solar global observada (R _{so}), em período mensal.	88
Figura 37 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrTca, ETrTcac e medido por ETrLis, em período mensal.	90
Figura 39 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrTho e medido por ETrLis, em período mensal.	92
Figura 40 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrTho e medido por ETrLis, em período quinzenal.	93
Figura 41 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrPMrse e medido por ETrLis, em período mensal.	94
Figura 42 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrPMrse e medido por ETrLis, em período quinzenal.	95
Figura 43 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrPMrso e medido por ETrLis, em período mensal.	96
Figura 44 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrPMrso e medido por ETrLis, em período quinzenal.	97
Figura 45 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrPM e medido por ETrLis, em período mensal.	98
Figura 46 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrPM e medido por ETrLis, em período quinzenal.	99
Figura 47 - Variação da umidade média dos perfis (m ³ .m ⁻³) para os lisímetros sempre irrigados, irrigados esporadicamente e não irrigados.	102
Figura 48 - Variação da umidade (m ³ .m ⁻³) das quatro camadas analisadas para os lisímetros não irrigados.	102
Figura 49 - Variação da umidade (m ³ .m ⁻³) das quatro camadas analisadas para os lisímetros irrigados esporadicamente.	103
Figura 50 - Evapotranspiração potencial, real e evapotranspiração obtida através dos lisímetros irrigados esporadicamente, em milímetros, para o período mensal medidas através de lisímetros.	104
Figura 51 - Evapotranspiração de referência, real e evapotranspiração obtida através dos lisímetros irrigados esporadicamente, em milímetros, para o período quinzenal medidas através de lisímetros.	104
Figura 52 - Evapotranspiração de referência, precipitação e irrigação, em milímetros, para o	

período mensal.....	105
Figura 53 - Evapotranspiração obtida pelos lisímetros irrigados esporadicamente, precipitação e irrigação, em milímetros, para o período mensal.	106
Figura 54 - Evapotranspiração real e precipitação, em milímetros, para o período mensal.	106
Figura 55 - Evapotranspiração de referência (EToLis), precipitação – drenagem dos lisímetros não irrigados (ETrLis) e precipitação + irrigação – drenagem dos lisímetros irrigados esporadicamente (ETriLis), em milímetros, para o período mensal.	107
Figura 56 - Evapotranspiração de referência (EToLis), precipitação – drenagem dos lisímetros não irrigados (ETrLis) e precipitação + irrigação – drenagem dos lisímetros irrigados esporadicamente (ETriLis), em milímetros, para o período quinzenal.	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Balanço hídrico climatológico de Thornthwaite – Mather para o município de Posse, Goiás.....	58
Tabela 2 - Propriedades físicas do solo e profundidade do sistema radicular da grama batatais (<i>Paspalum notatum</i>), presentes nos lisímetros da Estação Agroclimatológica.....	59
Tabela 3 - Critérios de interpretação do coeficiente <i>c</i> de Camargo.....	64
Tabela 4 - Coeficiente de correlação (<i>r</i>) entre as estimativas de ETo e as variáveis climáticas umidade relativa média, temperatura e radiação solar global, em período mensal.....	70
Tabela 5 – Saldo de radiação observado em campo, saldo de radiação estimado utilizando a radiação solar global (Rso) observada em campo e o saldo de radiação estimado utilizando a radiação solar global estimada, em MJ.m ⁻² , para o período mensal.....	71
Tabela 6 - Coeficiente de correlação (<i>r</i>), índice de concordância (<i>d</i>) e de desempenho (<i>c</i>), classificação segundo índice <i>c</i> , erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM), entre EToLis e demais estimativas de ETo, em período mensal.	78
Tabela 7 - Coeficiente de correlação (<i>r</i>), índice de concordância (<i>d</i>) e de desempenho (<i>c</i>), classificação segundo índice <i>c</i> , erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM), entre EToLis e demais estimativas de ETo, em período quinzenal.....	78
Tabela 8 - Coeficiente de correlação (<i>r</i>), índice de concordância (<i>d</i>) e de desempenho (<i>c</i>), classificação segundo índice <i>c</i> , erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM), entre EToPM e demais estimativas de ETo, em período mensal.	84
Tabela 9 - Coeficiente de correlação (<i>r</i>), índice de concordância (<i>d</i>) e de desempenho (<i>c</i>), classificação segundo índice <i>c</i> , erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM), entre EToPM e demais estimativas de ETo, em período quinzenal.	84
Tabela 10 - Coeficiente de correlação (<i>r</i>) entre as estimativas de ETr e as variáveis climáticas umidade relativa média, temperatura e radiação solar global, em período mensal.....	89
Tabela 11 - Coeficiente de correlação (<i>r</i>), índice de concordância (<i>d</i>) e de desempenho (<i>c</i>), classificação segundo índice <i>c</i> , erro máximo (EM), erro absoluto médio (EAM), entre ETrLis e demais estimativas de ETr (utilizando CAD = 100 mm e CAD calculada), em período mensal.....	100

Tabela 12 - Coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e de desempenho (c), classificação segundo índice c, erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM), entre ETrLis e demais estimativas de ETr (utilizando CAD = 100 mm e CAD calculada), em período quinzenal.....	100
---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS

CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
FAO	Food and Agriculture Organization
SMA	Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo

LISTA DE SIMBOLOS

λET	densidade de fluxo de calor latente J/m ² .s,
ρ_a	massa específica do ar (kg.m ⁻³)
Δ	declividade da curva de pressão de vapor em função da temperatura (kPa.°C ⁻¹)
ΔS	variação do armazenamento subterrâneo (mm)
Δt	intervalo de tempo (dia)
Δz	profundidade efetiva do solo (m)
γ	constante psicrométrica (kPa.°C ⁻¹)
α	albedo ou coeficiente de reflexão
α_s, β_s	fração da radiação extraterrestre em dias claros
ε	relação entre o peso molecular do vapor da água e do ar seco
λ	calor latente de evaporação (MJ.mm ⁻¹)
ω_s	ângulo horário do pôr do sol (radianos)
φ	latitude local (radianos)
δ	declinação solar (radianos)
σ	constante de Stefan-Boltzmann (MJ.K ⁻⁴ .m ⁻² .d ⁻¹)
a	coeficiente para a equação de Thornthwaite
θ	umidade do solo (m ³ .m ⁻³)
θ_r	umidade residual (m ³ .m ⁻³)
θ_s	umidade de saturação (m ³ .m ⁻³)
$\bar{\theta}$	umidade média do solo (m ³ .m ⁻³)
$a, n \text{ e } m$	parâmetros de ajuste da curva de van Genutchen
A_1	armazenamento de água no solo (mm)
ARM	armazenamento de água no solo (mm)
ALT	alteração de água no solo (mm)
CAD	capacidade de água disponível no solo (mm)
CC	umidade do solo à capacidade de campo % peso (kg.kg ⁻¹)
c_p	calor específico do ar a pressão constante (MJ.kg ⁻¹ .°C ⁻¹)
c_s	capacidade calorífica do solo (MJ.m ⁻² .d ⁻¹)
d_e	deslocamento do plano zero na altura da vegetação (m)
D	drenagem (mm)

Da	densidade aparente do solo (g.cm^{-3})
DEF	deficiência de evapotranspiração (mm)
d_r	distância relativa do Sol à Terra (radianos)
$e^\circ(T_{max})$	pressão de saturação de vapor à temperatura máxima (kPa)
$e^\circ(T_{min})$	pressão de saturação de vapor à temperatura mínima (kPa)
e_a	pressão parcial de vapor (kPa)
e_s	pressão de saturação de vapor (kPa)
$e_s - e_a$	déficit de pressão de vapor do ar para a altura de referência medida (kPa)
ECA	evaporação medida no Tanque Classe A (mm)
ET	evapotranspiração (mm.d^{-1})
ETP	evapotranspiração potencial (mm.d^{-1})
ETo	evapotranspiração de referência (mm.d^{-1})
EToLis	evapotranspiração de referência medida em Lisímetro (mm.d^{-1})
EToLis	média da EToLis para estimativas mensais e quinzenais (mm.d^{-1})
EToPM	evapotranspiração de referência estimada por Penman Monteith FAO 56 utilizando todos os parâmetros observados (mm.d^{-1})
EToPMrse	evapotranspiração de referência estimada por Penman Monteith FAO 56 utilizando a radiação solar global estimada (mm.d^{-1})
EToPMrso	evapotranspiração de referência estimada por Penman Monteith FAO 56 utilizando a radiação solar global observada (mm.d^{-1})
EToTca	evapotranspiração de referência estimada pelo Tanque Classe A (mm.d^{-1})
EToTho	evapotranspiração de referência estimada por Thornthwaite (mm.d^{-1})
ETr	evapotranspiração real (mm.d^{-1})
ETriLis	evapotranspiração intermediária medida em Lisímetro irrigado esporadicamente (sem operar em capacidade de campo e condição real) (mm.d^{-1})
ETrLis	evapotranspiração real medida em Lisímetro (mm.d^{-1})
ETrTca	evapotranspiração real estimada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a ETo estimada pelo Tanque Classe A (mm.d^{-1})
ETrTcac	evapotranspiração real estimada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando CAD calculada e a ETo estimada pelo Tanque Classe A (mm.d^{-1})
ETrTho	evapotranspiração real estimada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a ETo estimada por Thornthwaite (mm.d^{-1})
ETrThoc	evapotranspiração real estimada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather

	utilizando CAD calculada e a ETo estimada por Thornthwaite (mm.d^{-1})
ETrPM	evapotranspiração real estimada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a ETo estimada por Penman Monteith FAO 56 utilizando todos os parâmetros observados (mm.d^{-1})
ETrPMc	evapotranspiração real estimada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando CAD calculada e a ETo estimada por Penman Monteith FAO 56 utilizando todos os parâmetros observados (mm.d^{-1})
ETrPMrse	evapotranspiração real estimada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a ETo estimada por Penman Monteith FAO 56 utilizando a radiação solar global estimada (mm.d^{-1})
ETrPMrsec	evapotranspiração real estimada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando CAD calculada e a ETo estimada por Penman Monteith FAO 56 utilizando a radiação solar global estimada (mm.d^{-1})
ETrPMrso	evapotranspiração real estimada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a ETo estimada por Penman Monteith FAO 56 utilizando a radiação solar global observada (mm.d^{-1})
ETrPMrsoc	evapotranspiração real estimada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando CAD calculada e a ETo estimada por Penman Monteith FAO 56 utilizando a radiação solar global observada (mm.d^{-1})
EXC	excedente de água (mm)
F	distância (tamanho) da área de bordadura do Tanque Classe A (m)
G	densidade do fluxo de calor no solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
Gsc	constante solar ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
h	tensão de sucção (kPa)
H	profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (cm)
i	índice de calor
I_n	interceptação (mm)
I_t	índice de eficiência de temperatura anual
I	irrigação (mm)
J	ordem dos dias no ano
K	constante de von Karman
Kc	coeficiente de cultura (mm)
Kp	coeficiente do tanque

n	insolação diária (h)
N	fotoperíodo ou horas de brilho solar (h)
ND	número de dias
NEG-AC	negativo acumulado (mm)
P	precipitação (mm)
P_a	pressão atmosférica (kPa)
PMP	umidade do solo ao ponto de murcha permanente % peso (kg.kg^{-1})
Q_b	escoamento de base (mm)
r_a	resistência aerodinâmica (s.m^{-1})
R_a	radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
R_n	saldo de radiação líquida total ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
R_{nl}	saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
R_{ns}	saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
R_p	recarga profunda (mm)
R_{so}	radiação solar em dias de céu claro ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
r_s	resistência da superfície (s.m^{-1})
R_s	radiação solar global ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
$T_{o,max}$	temperatura absoluta máxima (K)
$T_{o,min}$	temperatura absoluta mínima (K)
T_i	temperatura do ar no dia i ($^{\circ}\text{C}$)
T_{i-1}	temperatura no dia i-1 ($^{\circ}\text{C}$)
T_{max}	temperatura máxima do dia ($^{\circ}\text{C}$)
T_{med}	temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$)
T_{min}	temperatura mínima do dia ($^{\circ}\text{C}$)
U_2	velocidade média do vento medida a 2 m de altura do solo (m.s^{-1})
UR_{max}	umidade relativa máxima do ar (%)
UR_{med}	umidade relativa média do ar (%)
UR_{min}	umidade relativa mínima do ar (%)
z	altitude local (m)
z_m	altura de medição da velocidade do vento (m)
z_h	altura de medição da umidade (m)
z_{om}	altura da rugosidade da vegetação (m) (cultura de referência)
z_{oh}	altura para transferência de vapor (m)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	28
2. OBJETIVOS	30
2.1 Objetivo geral.....	30
2.2 Objetivos específicos.....	30
3. REVISÃO DE LITERATURA	31
3.1 Evapotranspiração	31
3.2 Fatores que afetam a evapotranspiração	33
3.3 Lisimetria	34
3.4 Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração de referência.....	36
3.5 Importância da evapotranspiração no balanço hídrico	38
3.6 Balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather	41
4. MATERIAL E MÉTODOS	43
4.1 Localização da Estação Agroclimatológica	43
4.2 Descrição dos lisímetros	44
4.3 Dados climatológicos e lisimétricos.....	47
4.4 Evapotranspiração potencial ou de referência	49
4.4.1 Método de Penman Monteith FAO-56 (1998).....	49
4.4.2 Método do Tanque Classe A	54
4.4.3 Método de Thornthwaite	55
4.4.4 Lisimetria	56
4.5 Evapotranspiração real	57
4.5.1 Evapotranspiração real estimada	57
4.5.2 Evapotranspiração real observada	60
4.6 Análises estatísticas	63
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
5.1 Evapotranspiração potencial ou de referência (ET _o)	65
5.1.1 Dados Lisimétricos	65
5.1.2 Análise dos dados meteorológicos.....	68
5.1.3 Saldo de radiação estimado e observado	70
5.1.4 Comparação entre a evapotranspiração de referência medida e estimada	71
5.1.5 Avaliação de outros métodos de estimativa de ET _o	79
5.2 Evapotranspiração real (ET _r).....	84
5.2.1 Dados Lisimétricos.....	84
5.2.2 Análise dos dados meteorológicos.....	86
5.2.3 Comparação entre a evapotranspiração real medida e estimada	89
5.3 Variação de umidade no solo	101
5.4 Variação de umidade no solo x evapotranspiração.....	103
6. CONCLUSÕES	109
6.1 Observações para trabalhos futuros.....	110
REFERÊNCIAS	111
APÊNDICES	117

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que no mundo existam 1.400 milhões de km³ de água, dos quais 35 milhões (2,53%) são de água doce e 1351 milhões (97,47%) de água salgada (FAO, 2002). Do total do volume de água doce, cerca de 30,2% (10,5 milhões de km³) pode ser utilizada pela flora, fauna e humanos, já que 69,8% encontram-se nas calotas polares, geleiras e solos gelados. Dos 10,5 milhões de km³ de água doce, cerca de 98,7% (10,34 milhões de km³) correspondem à parcela de água subterrânea, e apenas 92,2 mil km³ (0,9%) corresponde ao volume de água doce superficial (rios e lagos), que corresponde a 0,008% do total de água no mundo (BORGHETTI; BORGHETTI ; ROSA FILHO, 2006).

O acesso à água potável é essencial à manutenção da fauna, segurança humana e ao desenvolvimento sustentável. No entanto, 1,2 bilhão de pessoas continuam sem acesso a água potável e 2,4 bilhões não dispõem de serviços de purificação de água (SMA, 2004).

As interferências no ciclo de renovação, principalmente das águas superficiais, têm diminuído a quantidade e qualidade de água disponível para consumo. Essas interferências são: extração excessiva e uso inadequado da água, lançamento de efluentes domésticos e industriais nos corpos de água, ausência de práticas conservacionistas de solo aumentando a compactação do solo e diminuindo a infiltração, assim como a ausência de matas ciliares, bem como ao crescente aumento de custo no seu tratamento (CETESB, 2004).

Dentro deste contexto, o uso das águas subterrâneas vem sendo uma alternativa ao uso das águas superficiais (rios, açudes e lagos). As águas subterrâneas acham-se naturalmente melhor protegidas dos agentes causadores de poluição que atingem rios e lagos, tendo em vista ocorrerem sob uma faixa de solo não-saturado através do qual as águas de recarga são filtradas (CUNHA, 2003).

Mais da metade da água de abastecimento público no Brasil provém das reservas subterrâneas (CETESB, 2004). O acelerado crescimento do uso da água subterrânea se deve a vários fatores como: o baixo custo de captação da água subterrânea em relação à água superficial, por dispensar a construção de obras de barramento, adutora de recalque e estação de tratamento.

De acordo com levantamento realizado pela CETESB (2004), 72% dos municípios do Estado de São Paulo (462), eram total ou parcialmente abastecidos por água subterrânea. Atualmente, considerando-se o aumento do número de poços outorgados pelo DAEE, estima-

se que essa porcentagem de uso seja muito maior. A cidade de Bauru - SP apresenta 29 poços de captação de água sendo responsável pelo abastecimento de 60% da população (REZENDE, 2007). São Carlos - SP conta com 18 poços que suprem a demanda de 49% da população (COTRIM, 2007).

Para um manejo adequado dos recursos hídricos subterrâneos, é necessário estimar a disponibilidade e a demanda de água. Um dos métodos mais utilizados para estimativa da recarga de águas subterrâneas é o método do balanço hídrico do solo.

A evapotranspiração é uma variável do balanço hídrico de grande importância e complexidade. Ela pode ser responsável por mais da metade da saída de água de uma bacia hidrográfica, sendo uma variável também importante para a estimativa da recarga.

De acordo com Tucci (2007), as variáveis do balanço hídrico que normalmente apresentam maior dificuldade de estimativa são a evaporação e a evapotranspiração. Segundo o mesmo autor, por ser um processo complexo e extremamente dinâmico, que envolve fatores bióticos (plantas e outros organismos vivos) e abióticos (solo), é muito difícil estabelecer um valor exato de evapotranspiração real.

A irrigação pode interferir na evapotranspiração, pois modifica as condições microclimáticas locais resfriando o ar, deixando-o mais úmido e reduzindo a turbulência das massas de ar (ALLEN; PRUITT, 1986).

Atualmente os estudos utilizando os lisímetros são a ferramenta mais precisa para reproduzir as condições reais de campo (LOOS; GAYLER; PRIESACK, 2007). Entretanto, este método é trabalhoso e caro.

Há métodos empíricos para a estimativa da evapotranspiração real como a relação complementar de Morton e o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather, sendo este último método o mais conhecido e utilizado, principalmente para a área de irrigação.

Assim, este trabalho propõe estabelecer uma análise da estimativa da evapotranspiração real com base em dados de lisímetros de drenagem e através do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather, verificando a eficiência do método empírico mais utilizado de estimativa da evapotranspiração real.

Pretende-se também analisar a variação da evapotranspiração real sob diferentes condições de umidade, verificando a influência da irrigação na evapotranspiração e, conseqüentemente, na recarga das águas subterrâneas, uma vez que a evapotranspiração real está diretamente ligada à saída de água de uma bacia.

2.OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Objetivou-se com este trabalho, determinar a evapotranspiração real com base no balanço hídrico empírico e em dados de lisímetro de drenagem, verificar a acurácia de métodos de estimativa de evapotranspiração real e avaliar se há variação da evapotranspiração real sob diferentes condições de disponibilidade hídrica.

2.2 Objetivos específicos

- Comparar os valores de evapotranspiração real observados através de lisímetros e os valores estimados através do balanço hídrico sequencial de Thornthwaite e Mather verificando a acurácia dos métodos empíricos;
- Estimar a evapotranspiração de referência através de métodos empíricos, de base física e através de lisímetros;
- Comparar os valores de evapotranspiração de referência através do método de Penman-Monteith FAO 56;
- Avaliar a variação de umidade do solo em lisímetros irrigados e de lisímetros não irrigados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Evapotranspiração

De acordo com Villa Nova e Reichardt (1989), excetuando-se a atmosfera, tem-se três reservatórios naturais de água na superfície da Terra, sendo:

- Os reservatórios de água livre, entre eles, os lagos, canais e rios denominados de “superfície d’água livre”;
- Os poros capilares e não capilares que caracterizam a capacidade de contenção ou armazenamento do solo;
- Os tecidos das plantas.

A perda de água dos vegetais por evaporação é denominada de transpiração. O processo inicia-se nas raízes do vegetal, onde a água é absorvida. Essa água é transferida para a parte aérea da planta através dos vasos condutores (xilema), passando pelo mesófilo até chegar aos estômatos. A evaporação ocorre através dos estômatos, estruturas que existem nas folhas e, que permitem a comunicação entre a parte interna da planta e a atmosfera (VILLA NOVA; REICHARDT, 1989). Segundo os autores, os estômatos permanecem abertos durante o dia e fechados durante a noite e nas condições de estresse hídrico. Esse estresse pode ocorrer quando o solo não contém água disponível para as plantas ou quando há água, porém a planta não consegue absorvê-la em quantidade e velocidade suficiente para atender a demanda atmosférica.

Em solos vegetados ocorre a evaporação de água do solo para a atmosfera, assim como da água liberada através da transpiração das plantas. A ocorrência destes dois processos de forma simultânea é denominada de evapotranspiração, sendo este conceito introduzido em 1944 por Thornthwaite (CAMARGO; CAMARGO, 2000). Quase que simultaneamente, Penman em 1948, na Inglaterra, também definiu evapotranspiração de referência (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

Sediyama (1996), apresenta uma tradução da definição de evapotranspiração potencial de Penman como “a quantidade de água evapotranspirada, na unidade de tempo, por uma

vegetação rasteira, de altura uniforme, em crescimento ativo, que cobre completamente a superfície e sem limitação de água no solo”.

Tucci (2007), apresenta as seguintes definições:

Evapotranspiração potencial (ETp): quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade de tempo, de uma superfície extensa completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água;

Evapotranspiração real (ETr): quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais (existentes) de fatores atmosféricos e umidade do solo. A evapotranspiração real é igual ou menor que a evapotranspiração potencial.

Como alternativa aos conflitos que surgiram do uso da definição de evapotranspiração potencial, criou-se o termo evapotranspiração de referência (ETo), definido pelo Boletim 24 da FAO como “a taxa de evapotranspiração para uma extensa superfície, com cobertura de vegetação padronizada, de altura uniforme, mantida entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo, com o solo completamente sombreado e sem déficit de água” (DOORENBOS; PRUITT, 1977). Os autores recomendam o cálculo da evapotranspiração das culturas, em três estádios como segue: 1) determinação do efeito do clima no requerimento de água pelas culturas, dados pela evapotranspiração de referência (ETo), 2) o efeito das características da cultura no requerimento de água, dado pelo coeficiente da cultura (Kc) e 3) o efeito das condições locais e práticas agrícolas no requerimento de água pelas culturas, advecção (o transporte lateral de calor por deslocamento da massa de ar (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007), dimensão do campo, disponibilidade de água, salinidade e métodos de cultivo e irrigação.

No Brasil, a cultura adotada predominantemente como cultura de referência é a grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), conhecida como grama forquilha ou “bahia grass”. Essa forrageira tem origem na América do Sul e Central e apresenta a vantagem de adaptar-se bem a quase todo tipo de solo, desenvolvendo-se bem em solos férteis e com boa umidade, mas apresentando características xeromorfas em solos pobres e sob condições de seca.

Em 1998, a FAO publicou o Boletim 56 (Allen et al., 1998), atualizando os procedimentos de cálculo de evapotranspiração de referência (ETo), analisando aspectos relacionados à determinação do coeficiente das culturas (Kc) e recomendando procedimentos de avaliação dos dados empregados nas estimativas de ETo.

3.2 Fatores que afetam a evapotranspiração

A evapotranspiração depende da demanda evaporativa da atmosfera, determinada por quatro componentes meteorológicos: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. No tocante à vegetação, outros fatores são importantes como: área foliar, estágio de desenvolvimento, arquitetura foliar e resistência do dossel (MEDEIROS, 2002).

Uma das principais variáveis meteorológicas que afeta a evaporação da água do solo e a transpiração das plantas é a radiação solar, fator condicionante para a temperatura do ar e do solo (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

A radiação depende do local (latitude), da topografia da região e época do ano. A disponibilidade de energia é controlada pelo poder refletor da superfície (coeficiente de reflexão-albedo) onde superfícies mais claras refletem mais e, conseqüentemente, têm menos energia disponível (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

Na indisponibilidade de dados de radiação solar incidente (R_s) medidos em determinado local, pode-se determiná-la através de estimativas a partir de dados de insolação (n), considerando-se ainda, valores de N (fotoperíodo) e dados de radiação no topo da atmosfera (R_a) (SMITH¹, 1991 apud SALES, 2008, p.10).

De acordo com Allen et al. (1998), quando não há dados de radiação solar, essa variável pode ser obtida a partir da diferença de temperatura, sendo a diferença entre temperatura máxima e mínima um indicador da fração de radiação no topo da atmosfera (R_a) que alcança a superfície da terra.

A temperatura do ar é uma variável importante pelo fato de ser um dos elementos climáticos mais disponíveis em estações meteorológicas. Na ausência de dados de radiação, esse elemento meteorológico pode ser usado como indicativo de energia no sistema estudado. A radiação absorvida pela superfície aquece a mesma e passa a aquecer o ar, ocorrendo assim, o transporte de calor sensível aumentando a temperatura do ar e contribuindo para o aumento do processo de evapotranspiração.

O processo de transferência de vapor depende do aumento da velocidade do vento e da turbulência do ar, a qual transfere grandes quantidades de ar sobre a superfície evaporante. O vento remove a camada logo acima da superfície evaporante, criando uma condição favorável

¹ SMITH, M. Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements: Rome: FAO, 1991. 54 p.

ao aparecimento de um gradiente de pressão de vapor, aumentando dessa forma o poder evaporante no local.

Em climas úmidos de regiões tropicais, apesar da elevada quantidade de energia, a alta umidade relativa reduz a evapotranspiração, pois o ar está sempre próximo da saturação. A umidade relativa local e a temperatura determinam o déficit de pressão de vapor.

A irrigação pode ser um fator de interferência na evapotranspiração, pois modifica as condições microclimáticas locais resfriando o ar, deixando-o mais úmido e reduzindo a turbulência das massas de ar (ALLEN; PRUITT, 1986). De acordo com os autores há uma redução de 2°C a 5°C na temperatura média do ar e aumento da umidade relativa média.

3.3 *Lisimetria*

Estudos com lisímetros instalados em campo representam uma ferramenta sustentável para a determinação de componentes do balanço hídrico para o sistema solo-planta-atmosfera (LOOS; GAYLER; PRIESACK, 2007). Segundo os autores, vários problemas existiam nos dados obtidos em estudos lisimétricos, devido aos efeitos do fluxo pela parede dos lisímetros, problemas nas medições e efeitos microclimáticos. Entretanto, atualmente os estudos utilizando os lisímetros são a ferramenta mais precisa para reproduzir as condições reais de campo.

De acordo com Aboukhaled, Alfaro e Smith (1982) no Boletim FAO-39, lisímetros são “grandes contêineres preenchidos com solo (ou incluso um bloco de solo) localizados no campo, para representar o ambiente local, com superfície vegetada (cultura ou gramínea) ou solo nu, para determinação da evapotranspiração de uma cultura em crescimento ou de uma cobertura de referência ou, ainda, a evaporação de um solo não vegetado”.

De acordo com Machado (1996), o primeiro relato da utilização de um lisímetro ocorreu na França, em 1688, quando De La Hire usou recipientes de chumbo preenchidos com solo argilo-arenoso e observou que nos lisímetros cobertos com grama a perda de água é maior do que em outros com solo nu.

Silva, Folegatti e Maggiotto (1999), classificam os tipos de lisímetro em categorias:

- Não-pesáveis, com lençol freático de nível constante;
- Não-pesáveis, com drenagem livre;

- Pesáveis, em que a variação de massa do sistema é determinada por um mecanismo de pesagem.

Inicialmente, os lisímetros tinham como função avaliar a percolação. Porém passaram a ser chamados de evapotranspirômetros, após serem utilizados para calcular os valores de evapotranspiração.

Segundo Tucci (2007), as variáveis controladas no lisímetro (precipitação, escoamento, infiltração, armazenamento e percolação) permitem estabelecer a evapotranspiração real e/ou potencial. Para determinação da ETr, mantêm-se as condições naturais de umidade do solo. Para determinar a ETp, promove-se a irrigação da cultura implantada no lisímetro, mantendo-se o solo em capacidade de campo.

Diversos trabalhos vêm sendo realizados comparando os valores de ETo estimados por métodos teóricos e medidos por lisímetros.

López-Urrea et al. (2006), compararam sete modelos teóricos de estimativa de ETo (Penman Monteith FAO 56, Penman FAO 24 (I) e (II), Penman (1963), Blaney Criddle, Radiação FAO 24 e Hargreaves) aos valores encontrados por um lisímetro de pesagem. Os autores concluíram que o método de Penman Monteith FAO 56 foi o método que apresentou os melhores resultados.

Santos et al. (2008), compararam os valores obtidos por um lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo com os métodos de Penman Monteith, Blaney Criddle FAO, Jensen-Haise e do Tanque Classe A FAO e encontraram medidas bem correlacionadas às do lisímetro para o período de estudo, sendo que o Tanque Classe A apresentou o melhor desempenho entre os métodos avaliados.

Camargo² (1962) apud Pereira, Villa Nova e Sediya (1997), utilizou uma bateria de evapotranspirômetros de drenagem feitos de caixas retangulares de cimento-amianto para determinar a evapotranspiração potencial mensal de um gramado, em três localidades do estado de São Paulo. De acordo com os autores, este tipo de lisímetro é de baixo custo, mas requer alguns cuidados especiais com irrigações periódicas para manter a variação do armazenamento igual a zero e para provocar alguma drenagem.

Allen, Pruitt e Jensen (1991) afirmam que, quando as medidas do lisímetro diferem muito das estimativas feitas por modelos com forte base física, como o de Penman-Monteith FAO 56, é possível que o dispositivo lisimétrico não esteja representando as condições

² CAMARGO, A.P. contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, **Bragantia**, v.21, p. 163-213, 1962.

ambientais de estudo.

3.4 Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração de referência

Devido ao grande número de métodos de estimativa de evapotranspiração e na tentativa de se encontrar o método que melhor represente a condição local, vários pesquisadores vêm comparando as diversas equações existentes, assim como verificando suas vantagens e desvantagens.

O Tanque Classe A foi desenvolvido pelo serviço Meteorológico Norte Americano (U.S.W.B.) e é bastante utilizado e recomendado pela FAO (DOORENBOS e PRUITT, 1997), principalmente para projetos de irrigação. É um método simples e de baixo custo, porém apresenta algumas desvantagens.

O nível de água é medido num poço tranqüilizador de 0,25 m de altura e 0,10 m de diâmetro, em cuja borda se assenta um parafuso micrométrico de gancho com capacidade para medir variações de 0,01 mm (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997). De acordo com os autores, para se evitar derramamento pela ação do vento, a água deve ser mantida sempre entre 0,05 e 0,0075 metros abaixo da borda do tanque. Esse equipamento apresenta ainda dificuldade de operação em períodos chuvosos, podendo ocorrer erros na estimativa da ET.

Chiew et al. (1995), avaliaram o desempenho de estimativas de ETo com dados obtidos de 16 estações espalhadas por toda Austrália. Os métodos comparados foram o de Penman Monteith, Penman FAO-24, Radiação FAO-24, Blaney-Criddle FAO-24, Tanque Classe A. Os autores observaram uma satisfatória correlação entre os dados do Tanque Classe A e do método de Penman Monteith para evaporação total de três dias ou mais.

O método de Thornthwaite foi baseado em balanços hídricos de bacias hidrográficas e em medidas de evapotranspiração observadas em lisímetros, utilizando apenas a temperatura do ar como variável independente, sendo esta a sua principal vantagem e também sendo bastante criticado por isso. Foi desenvolvido para condições de clima úmido e, por isso, normalmente apresenta sub-estimativa da ETo em condições de clima seco.

Pereira e Camargo (1989), concluíram que ele é adequado se as condições de bordadura forem consideradas. Em condições de oásis, este método subestima a ET e essa

condição ocorre com frequência em condições experimentais. De acordo com Camargo (1962), o método apresenta boas estimativas para o Estado de São Paulo.

Barreto (2006), estimou a evapotranspiração pelos métodos de Penman-Monteith FAO- 56, de Thornthwaite (1948), do Tanque Classe A (FAO-24), de Hargreaves e Samani (1985), de Blaney-Criddle FAO-24 e de Makkink (1957) com base em dados da estação meteorológica do CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Universidade de São Paulo) localizada no município de Brotas. A estimativa pelo método de Penman Monteith FAO-56 neste estudo não diferiu muito dos valores encontrados pelo método de Thornthwaite (1948) e concluiu que o método de Thornthwaite (1948) é o mais indicado para a região.

O método de Penman Monteith é considerado como padrão para o cálculo da evapotranspiração pela ICID - Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem e pela FAO- Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (SMITH, 1991, ALLEN et al., 1998).

A equação de Penman Monteith é mais precisa quando usada em base horária e os valores somados para se obter a estimativa diária de ETo. Algumas simplificações empíricas são necessárias para se obterem as estimativas diárias de ETo usando somente totais diários ou valores médios dos elementos climáticos. Exemplos de cálculos mostram claramente que, quando se usa valores médios diários climáticos, a equação de Penman-Monteith pode proporcionar estimativas muito confiáveis de ETo (SEDIYAMA, 1996).

A dificuldade de aplicação deste método se dá pela falta de dados de algumas variáveis nas estações climatológicas.

Apesar da equação de Penman Monteith ser indicada como padrão, todos os métodos possuem alguma imprecisão, dificuldade ou desvantagem.

De acordo com Sentelhas e Angelocci (2009), para a escolha do método a ser utilizado, deve-se levar em consideração:

a) Disponibilidade de dados meteorológicos – este aspecto define o tipo de método que poderá ser empregado em determinado local. Os métodos empíricos que usam a temperatura do ar são os mais empregados, em função da temperatura ser uma variável facilmente disponível. Já o método de Penman-Monteith tem sua aplicação restrita às localidades que dispõe de todas as variáveis meteorológicas;

b) Condição climática do local – este aspecto deve ser considerado quando se optar pelos métodos empíricos já que normalmente esses têm sua aplicação restrita para climas secos ou

climas úmidos. Já os métodos de Penman-Monteith, Priestley-Taylor e Tanque Classe A têm aplicação mais universal;

c) Escala temporal das estimativas – o método de Thornthwaite foi concebido para estimativas mensais, não tendo sensibilidade para estimativas diárias. Por outro lado, os métodos físicos e o do Tanque Classe A se aplicam bem à escala diária.

3.5 Importância da evapotranspiração no balanço hídrico

Entende-se por balanço hídrico do solo, a contabilidade de entrada e saída de água, cuja interpretação possibilita informações sobre ganho, perda e armazenamento da água pelo solo.

O balanço hídrico para um volume de controle pode ser descrito como:

$$R_p = P - (I + ET + ES + \Delta S) \quad (1)$$

em que: R_p é a recarga profunda, P é a precipitação, I é a interceptação, ET é a evapotranspiração, ES é o escoamento superficial direto, ΔS é a variação do armazenamento subterrâneo.

A grande vantagem dos métodos de balanço hídrico do solo está embasada na utilização de dados que estão geralmente disponíveis (**Figura 1**). Entretanto, uma limitação do balanço hídrico é que a precisão da estimativa da recarga depende da precisão da medição ou estimativa dos dados utilizados (SCANLON; HEALY; COOK, 2002).

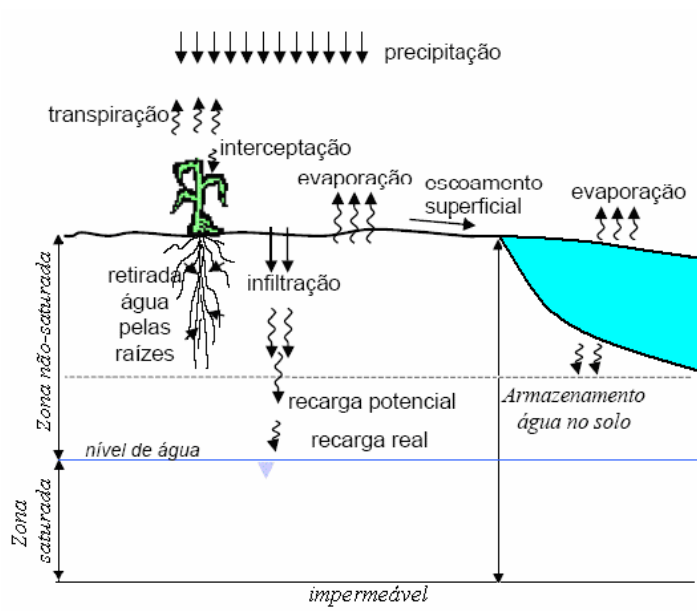


Figura 1 – Componentes do ciclo hidrológico para o balanço hídrico.

A evapotranspiração pode ser responsável por mais da metade da saída de água de uma bacia hidrográfica, sendo uma variável importante para o balanço hídrico e para a estimativa da recarga. Em regiões de clima seco onde a precipitação é menor, praticamente toda saída de água se deve à evapotranspiração (SAXTON; MCGUINNESS³, 1982 apud MAGALHÃES, 2008, p.9). De acordo com Loos, Gayler e Priesack (2007), a evapotranspiração é uma das variáveis mais críticas e com maior impacto na perda de água.

Vários trabalhos vêm relacionando a evapotranspiração à recarga de aquíferos.

Wattenbach et al (2007), simulando a variação da evapotranspiração pela mudança do uso do solo, verificaram que a substituição do *Pinus sp* para floresta decídua diminuiu a evapotranspiração em 3,44% e aumentou a recarga em 4,8%.

No Brasil, os estudos vêm sendo desenvolvidos principalmente para a área de afloramento do Aquífero Guarani.

Cunha (2003), com o auxílio de um lisímetro de drenagem instalado na Bacia do Ribeirão do Lobo – Brotas, verificou que a ETr foi de 651,04 mm para uma gramínea não especificada e que a taxa de recarga direta potencial foi estimada em 788,40 mm.

FIPAI (1996), estimou para a região de Ribeirão Preto (zona de afloramento do Aquífero Guarani), uma taxa de infiltração de 20,3 % da precipitação (298,2 mm/a) e uma

³ SAXTON, K.E.; MCGUINNESS, J.L. Evapotranspiration. In: HANN, C.T.; JOHNSON, H.P.; BRAKENSIEK, D.L. **Hydrologic Modeling of Small Watersheds**. St. Joseph: ASAE. Cap 6, p. 229, 279, 1982.

taxa de recarga de 4,7 % da precipitação (69,0 mm/a). Esses valores foram estimados através de balanço hídrico realizado com base em dados hidroclimatológicos de 1985 a 1994. A evapotranspiração foi estimada pelo método de Thornthwaite.

A evapotranspiração potencial pode ser obtida através de métodos físicos ou empíricos de forma rápida e com boa precisão. Entretanto, esses modelos de estimativa e medidas de campo variam amplamente. Diversos trabalhos vêm sendo realizados com o intuito de encontrar métodos mais simples e eficientes para cada região.

Camargo e Sentelhas (1997), avaliaram o desempenho de vinte métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado de São Paulo e concluíram que os melhores métodos foram o de Camargo, Thornthwaite e Priestley-Taylor.

Medeiros (2002), comparou os valores obtidos pelos métodos de Thornthwaite (1948), Thornthwaite modificado por Camargo et al. (1999), Tanque de evaporação Classe A (1998), Hargraves e Samani (1985) e Priestley e Taylor (1972) com dados de Penman Monteith para uma região semi árida do Ceará e concluiu que para aquela região, os valores de Priestley e Taylor e Thornthwaite modificado por Camargo apresentaram as melhores correlações com o método recomendado pela FAO.

Douglas et al. (2009), coletaram dados de 18 estações distribuídas no Estado da Flórida, de forma a contemplar a variedade de uso do solo no Estado, e estimaram a ETo através dos métodos de Turc, Priestley-Taylor e Penman-Monteith. Concluíram que o melhor modelo para estimativa da ETo para aquele Estado é o modelo de Priestley-Taylor.

Informações confiáveis acerca da evapotranspiração real são escassas e de difícil obtenção, já que demandam muito tempo de observação e alto custo. Os métodos diretos de obtenção da evapotranspiração real de determinada área requerem inúmeras medições, sendo necessários tempo, mão-de-obra, infra estrutura e nem sempre é possível contar com todos esses fatores para elaboração de medições (LIMA; SILVA; OLIVEIRA, 2001).

Bezerra, Silva e Ferreira (2008), estimaram a ETr utilizando imagens digitais TM – LandSat 5. O método foi validado comparando-se com dados de ETr calculados através de uma relação entre a ETo estimada pelo método de Penman Monteith e ETr horária calculada em função da densidade do fluxo de calor latente do solo. Os autores encontraram boa correlação entre os valores obtidos através da imagem digital e pelo valor de ETr calculado.

Xu e Chen (2005), compararam sete modelos de estimativa de evapotranspiração e recarga de aquíferos usando dados medidos por lisímetros na Alemanha. Três modelos (CRAE de Morton, Adveccção – Aridez de Brutsaert e Stricker e o modelo GG de Granger e

Gray) calculavam a ETr diretamente usando a relação complementar de Morton e quatro modelos (Thornthwaite, Hargreaves, Makking e Priestley-Taylor) calculavam a evapotranspiração potencial primeiramente e posteriormente a ETr considerando a condição de umidade do solo. Os autores concluíram que os modelos de Granger e Gray e Makking comparados a medidas lisimétricas, podem prever com boa acurácia os valores da evapotranspiração real, recarga de água subterrânea e umidade do solo.

Observa-se que há uma diversidade de estudos acerca da evapotranspiração e sua importância no balanço hídrico.

3.6 Balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather

Um método mais simples para estimar a evapotranspiração real é o balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather (1955). Partindo-se do suprimento natural de água ao solo representado pela precipitação (P) e pela evapotranspiração potencial (ETp) ou de referência (ETo) e com uma CAD (capacidade de água disponível), este balanço fornece estimativas de evapotranspiração real (ETr), deficiência (DEF), excedente (EXC) e o armazenamento de água no solo, para escala diária até mensal (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

O Balanço Hídrico Climatológico foi desenvolvido inicialmente com o objetivo de se caracterizar o clima de uma região, de modo a ser empregado na classificação climática desenvolvida por Thornthwaite na década de 40 (SENTELHAS e ANGELOCCI, 2009). Posteriormente, esse método começou a ser empregado para fins agrônomo devido à inter-relação da agricultura com as condições climáticas e para estimar o armazenamento de água no solo e a evapotranspiração real.

Kolka e Wolf (1998), estimaram a evapotranspiração real para 29 locais ocupados por florestas, na região dos Grandes Lagos – USA, entre 1900 e 1993 utilizando o balanço hídrico de Thornthwaite. Os autores verificaram um erro de 8% nos dados estimados de ETr. Observaram também que a variabilidade climática anual gerou erros no armazenamento de água no solo e conseqüentemente a erros no cálculo da ETr.

Gao et al (2007), utilizaram o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather para calcular a evapotranspiração real para 686 estações na China durante os anos de 1960 a 2002. Os

autores utilizaram a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman Monteith. Verificou-se que a evapotranspiração real e de referência apresentaram uma distribuição similar na região úmida do sul da China, enquanto que para a região norte e noroeste, a evapotranspiração real seguiu as mudanças da precipitação.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da Estação Agroclimatológica

Os dados meteorológicos utilizados neste trabalho foram obtidos na Estação Agroclimatológica da área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP de Jaboticabal – SP, situada nas seguintes coordenadas geográficas: 21°14'05" de latitude sul, 48°17'09" de longitude oeste e a 615,01 metros de altitude média (**Figura 2**).

De acordo com os registros da Estação Agroclimatológica, no período de 1971-2000, a temperatura média anual é de 22,2°C e a umidade relativa média anual de 70,8%. O total médio anual de precipitação foi de 1424,6 mm, sendo o primeiro trimestre (janeiro, fevereiro e março) o mais chuvoso com 607,0 mm, correspondendo a 43% do total anual. O mês mais chuvoso é dezembro, com o total médio de precipitação de 255,2 mm, e o mês menos chuvoso é julho, com total médio de precipitação de 25,3 mm. Resenha disponível em http://www.exatas.fcav.unesp.br/estacao/est_resanha.htm (Último acesso em 14/12/2008).



Figura 2 - Localização e vista da Estação Agroclimatológica da UNESP – Jaboticabal

4.2 Descrição dos lisímetros

Para a realização do estudo, foram utilizados dados de 12 lisímetros de drenagem livre por gravidade. Os lisímetros foram construídos de concreto armado com $1,0 \text{ m}^2$ de superfície, com paredes de espessura de $0,025 \text{ m}$ e $1,50 \text{ m}$ de profundidade. O sistema de drenagem, em forma de “espinha de peixe”, é construído de tubulação de plástico de alta pressão, de diâmetro de $1 \frac{1}{2}$ ”, sendo que em cada metro de tubulação foram distribuídos de 30 a 40 furos de $\frac{1}{4}$ ” nas partes superiores e laterais. Esse sistema localiza-se no fundo de cada lisímetro, sendo ligado por uma tubulação subterrânea de plástico de alta pressão de $1 \frac{1}{2}$ ”, para a coleta da água que é drenada dos aparelhos. Sobre o sistema de dreno de plástico foram colocadas uma camada de $0,125 \text{ m}$ de pedra britada nº2, outra de $0,125 \text{ m}$ de pedra britada nº1, uma manta de bidin nº30 e uma camada de $0,10 \text{ m}$ de areia grossa, constituindo assim o sistema de drenagem (**Figura 3**). O percolado de cada lisímetro foi coletado por galões de 11 L onde se

faz a medição do volume drenado (**Figura 4**).

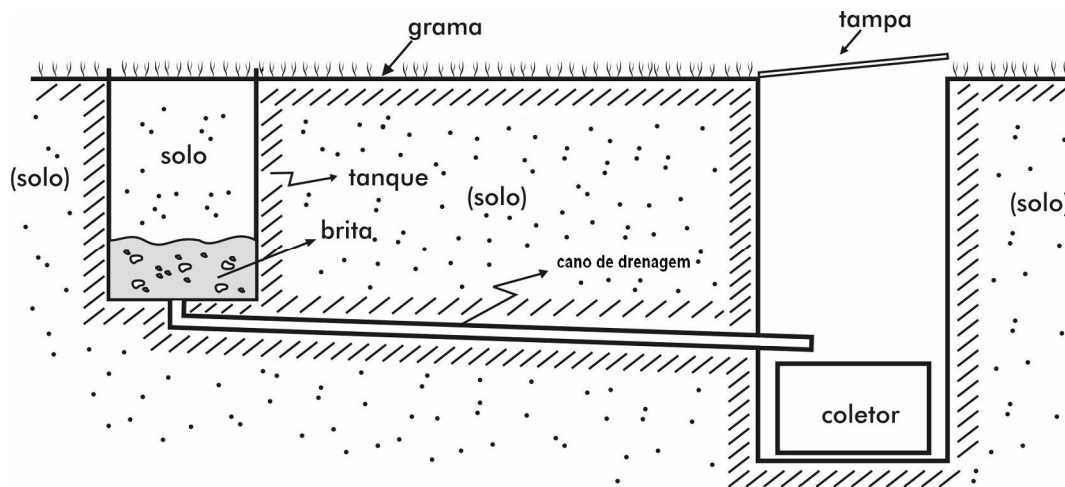


Figura 3 - Esquemática de um lisímetro de drenagem livre.

As caixas foram preenchidas com Latossolo Vermelho-Escuro, distrófico, A moderado e textura argilosa, obedecendo ao perfil de solo encontrado em campo. Posteriormente, foram vegetadas com grama batatais (*Paspalum notatum Flüge*) que vem sendo mantida com altura de 0,08 a 0,12 m em consonância com as condições de toda estação.

Os lisímetros foram operados de formas distintas: seis foram mantidos em condições de evapotranspiração de referência; três lisímetros foram irrigados esporadicamente e três lisímetros não foram irrigados. Ressalta-se que o entorno dos lisímetros não recebeu irrigação.

De forma a auxiliar na determinação da variação do armazenamento de água em cada lisímetro e, posteriormente, determinar a evapotranspiração real, conforme será descrito mais a frente, a partir de maio de 2008 foram instalados quatro tensiômetros digitais de punção em cada lisímetro irrigado esporadicamente e em cada lisímetro não irrigado, nas profundidades de 25, 50, 75 e 90 cm (**Figuras 5 e 6**).



Figura 4 – Galões de coleta do percolado.



Figura 5 – Tensiômetros instalados nos lisímetros de drenagem livre por gravidade.



Figura 6 – Lisímetro com os quatro tensiômetros instalados.

4.3 Dados climatológicos e lisimétricos

Para a estimativa da evapotranspiração de referência (E_{To}) e real (E_{Tr}) por meio dos métodos a serem descritos posteriormente, foram utilizados dados climatológicos diários registrados na Estação Agroclimatológica, no período de maio de 2008 a abril de 2009. Os dados utilizados foram: temperatura máxima (T_{max}), mínima (T_{min}), temperatura média (T_{med}); umidade relativa máxima (UR_{max}), mínima (UR_{min}) e média do ar (UR_{med}); precipitação (P), insolação (n), velocidade média do vento a 2 m de altura (U_2), radiação solar global (R_s), saldo de radiação (R_n), fluxo de calor no solo (G) e pressão atmosférica (P_a), medidos pelos seguintes instrumentos:

- Temperatura do ar: Termistor (Estação Meteorológica Automática).
- Umidade relativa do ar: Sensor capacitivo (Estação Meteorológica Automática).
- Precipitação: Pluviômetro tipo Ville-de-Paris (Estação Meteorológica Convencional).
- Insolação: Esfera de cristal. Fabricante: R. Fuess. Tipo: Campbell e Stockes (Estação Meteorológica Convencional).
- Velocidade do vento a 2 m de altura: Conjunto de canecas. Fabricante: METONE.

Modelo: 014AL34 (Estação Meteorológica Automática).

- Radiação solar global: Piranômetro LI-COR, modelo LI-200SZ (Estação Meteorológica Automática).

- Saldo de radiação: Saldo radiômetro sem cúpula (termoelétrico) (Estação Meteorológica Automática).

- Fluxo de calor do solo: Fluxímetro (termoelétrico) (Estação Meteorológica Automática).

- Pressão atmosférica: Barômetro de Hg, Barógrafo (cápsula aneróide) (Estação Meteorológica Convencional).

Para a obtenção dos valores observados das evapotranspirações de referência e real, foram utilizadas as leituras do percolado dos 12 lisímetros para o mesmo período dos dados climatológicos, bem como o volume irrigado no período. Antes de submeter os dados à análise, os mesmos foram tratados objetivando-se preencher as falhas ocorridas no monitoramento.

A irrigação para os lisímetros operando em capacidade de campo era realizada sempre que a drenagem atingisse um volume crítico mínimo de 1000 ml, porém há períodos em que o valor do percolado chegou a 500 ml. De acordo com Camargo (1962), a percolação não deve ser menor que 1 litro e a irrigação deve ser distribuída nos dias para evitar a alta percolação nos dias posteriores ao ingresso de água no sistema.

As leituras do percolado foram realizadas várias vezes ao dia, porém, mesmo assim houve quatro transbordamentos, já que o volume drenado foi superior ao volume do galão. Os transbordamentos ocorreram nos dias 10 de fevereiro, 10 e 11 de março e no dia 15 do mês de abril, ambos no ano de 2009.

A partir dos dados climatológicos estimou-se a evapotranspiração de referência em períodos mensais e quinzenais utilizando três equações de estimativa, descritas posteriormente nos tópicos 4.4.1, 4.4.2 e 4.4.3 e, através do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955), estimou-se a evapotranspiração real, conforme será descrito mais a frente.

Os dados dos lisímetros irrigados esporadicamente e não irrigados foram utilizados para comparar a evapotranspiração sob diferentes disponibilidades hídricas.

4.4 Evapotranspiração potencial ou de referência

4.4.1 Método de Penman Monteith FAO-56 (1998)

Em 1990, uma reunião de especialistas e pesquisadores promovida pela FAO para revisar o Irrigation and Drainage Paper 24 – Crop water requirements feito por Doorenbos e Pruitt (1977), recomendou a adoção do método combinado de Penman-Monteith como padrão para o cálculo da evapotranspiração de referência, por não ser necessário o uso do K_c - coeficiente de cultura (ALLEN et al., 1998; PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997). A equação de Penman – Monteith foi parametrizada adotando uma cultura hipotética de referência.

Das equações de resistência aerodinâmica e de superfície combinadas com o método de Penman-Monteith, referindo-se à cultura de referência, derivou-se o método de estimativa da evapotranspiração denominado Penman-Monteith FAO 56, dado por (ALLEN et al, 1998):

$$ET_{oPM} = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (2)$$

em que ET_{oPM} é a evapotranspiração de referência (mm.dia^{-1}), Rn é o saldo de radiação ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$), G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$), γ a constante psicrométrica ($\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$), T_{med} é a temperatura média diária do ar ($^\circ\text{C}$), U_2 é a velocidade média do vento medida a 2m (m.s^{-1}), 0,408 corresponde a λ^{-1} sendo λ o calor latente de evaporação da água, igual a $2,45\text{MJ.kg}^{-1}$ a 20°C , 900 é um coeficiente para a cultura de referência ($\text{kJ}^{-1}.\text{kg.K.d}^{-1}$), que inclui os valores constantes da equação.

Para estimar a ET_o por meio da equação (2), segue a sequência de cálculos. A inclinação da curva de pressão é dada por:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot \left[0.6108 \exp\left(\frac{17,27T_{med}}{T_{med} + 237,3}\right) \right]}{(T_{med} + 237,3)^2} \quad (3)$$

em que T_{med} é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), dada pela média aritmética, diária, da T_{max} e da T_{min} (Eq. 4) e e_s é a pressão de saturação de vapor:

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (4)$$

$$e_s = \left[\frac{e^{\circ}(T_{max}) + e^{\circ}(T_{min})}{2} \right] \quad (5)$$

sendo $e^{\circ}(T_{max})$ a pressão de saturação de vapor à temperatura máxima e $e^{\circ}(T_{min})$ a pressão de saturação de vapor à temperatura mínima, as quais são expressas por:

$$e^{\circ}(T_{max}) = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot T_{max}}{T_{max} + 237,3}\right)} \quad (6)$$

$$e^{\circ}(T_{min}) = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot T_{min}}{T_{min} + 237,3}\right)} \quad (7)$$

A pressão parcial de vapor e_a , para o cálculo do déficit de pressão de vapor ($e_s - e_a$), é dada pela equação:

$$e_a = \left[\frac{e^{\circ}(T_{min}) \cdot \left(\frac{UR_{max}}{100}\right) + e^{\circ}(T_{max}) \cdot \left(\frac{UR_{min}}{100}\right)}{2} \right] \quad (8)$$

em que UR_{max} e UR_{min} são a umidade relativa máxima e mínima do ar, respectivamente.

A constante psicrométrica ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$) é estimada por:

$$\gamma = \frac{c_p \cdot P_a}{\varepsilon \cdot \lambda} \quad (9)$$

em que c_p é o calor específico à pressão constante, igual a $1,013 \times 10^{-3} \text{ MJ.kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$, $\varepsilon = 0,622$ é a relação entre o peso molecular do vapor da água e do ar seco. A pressão atmosférica (P_a) dada em kPa foi medida na Estação Agroclimatológica não sendo necessária sua estimativa.

O calor latente de evaporação da água pode ser encontrado pela equação 16 ou pode-se utilizar o valor dado por ALLEN et al. (1998) de $2.45 \text{ MJ.kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$. Neste trabalho utilizou-se o valor proposto por ALLEN et al. (1998).

$$\lambda = 2,501 - (2,361 \cdot 10^{-3}) T_{med} \quad (10)$$

Os dados de velocidade do vento medida a 2 m de altura foram obtidos pela estação automática localizada na estação agroclimatológica, não sendo necessário estimar estes dados em função da velocidade a 10 m.

O saldo de radiação (R_n) pode ser medido pela estação automática ou estimado por:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (11)$$

em que R_{ns} é o saldo de radiação de ondas curtas e R_{nl} é o saldo de radiação de ondas longas ambos em $\text{MJ.m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. R_{ns} é dado por:

$$R_{ns} = (1 - a) \cdot R_s \quad (12)$$

em que a é o albedo ou coeficiente de reflexão, cujo valor recomendado para cultura padrão é 0,23, e R_s é a radiação solar global que chega à superfície $\text{MJ.m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, dada por:

$$R_s = \left(a_s + b_s \cdot \frac{n}{N} \right) \cdot R_a \quad (13)$$

em que a_s e b_s são constantes de valores 0,25 e 0,5 para o local de estudo, respectivamente, n é a insolação diária e N é o máximo de horas de brilho solar calculada pela equação:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (14)$$

sendo ω_s o ângulo horário do pôr do sol, em radianos:

$$\omega_s = \arccos[-tg(\varphi) \cdot tg(\delta)] \quad (15)$$

em que φ é a latitude local em radianos e δ é a declinação solar em radianos, dada por:

$$\delta = 0,409 \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J - 1,39\right) \quad (16)$$

em que J é o número de dia do ano (1 – 365).

A radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) pode ser calculada pela equação:

$$R_a = \frac{24 \cdot (60)}{\pi} G_{sc} \cdot d_r [\omega_s \cdot \text{sen}(\varphi) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\omega_s)] \quad (17)$$

em que G_{sc} é a constante solar igual a $0,0820 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$ e d_r é a distância relativa do Sol à Terra em radianos dada pela equação:

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J\right) \quad (18)$$

O saldo de radiação de ondas longas (R_{nl}) $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ é dado por:

$$R_{nl} = \sigma \left(\frac{T_o \max^4 + T_o \min^4}{2} \right) \cdot (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (19)$$

em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ.K}^{-4}.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$), $T_o \max$ e $T_o \min$, a temperatura absoluta máxima e mínima diárias durante o período de 24 horas, respectivamente, encontradas pelas equações 20 e 21 e R_{so} é a radiação solar em dias de céu claro ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) calculada pela equação 22.

$$T_o \text{ max} = T \text{ max} + 273,16 \quad (20)$$

$$T_o \text{ min} = T \text{ min} + 273,16 \quad (21)$$

$$R_{so} = (\alpha_s + \beta_s) R_a \quad (22)$$

sendo α_s e β_s a fração da radiação extraterrestre em dias claros ($n = N$).

Quando não se dispõe dos coeficientes anteriores, como é o caso deste trabalho, a radiação solar em dias de céu claro é estimada por:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z) R_a \quad (23)$$

sendo z a altitude local em metros.

Neste trabalho será realizada uma comparação entre a equação de Penman - Monteith FAO 56 utilizando o saldo de radiação estimado (EToPMrse) obtido pela equação (11) e o saldo de radiação utilizando o valor de radiação solar global medido (EToPMrso), assim como utilizando o saldo de radiação medido diretamente (EToPM).

O fluxo de calor no solo (G) pode ser medido ou estimado diariamente pela equação:

$$G = c_s \cdot \left(\frac{T_i + T_{i-1}}{\Delta_t} \right) \cdot \Delta_z \quad (24)$$

sendo c_s a capacidade calorífica do solo ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), T_i a temperatura do ar no dia i ($^{\circ}\text{C}$), T_{i-1} a temperatura no dia $i-1$, Δ_t o intervalo de tempo (dia) e Δ_z a profundidade efetiva do solo (m). O boletim da FAO (*Food and Agriculture Organization*) 56 recomenda, entretanto, que G pode ser desprezível para períodos diários. Porém, neste trabalho utilizou-se o fluxo de calor no solo medido na Estação Agroclimatológica.

O termo $(1+0,34U_2)$ na equação reduzida de Penman-Monteith FAO 56 (Eq. 2) envolve as resistências de superfície e aerodinâmica, sendo $r_s = 70 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ e r_a calculada por:

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z_m - d}{z_{om}}\right) \cdot \ln\left(\frac{z_h - d_e}{z_{oh}}\right)}{(k)^2 \cdot U_2} \quad (25)$$

em que r_a é a resistência aerodinâmica à transferência turbulenta de vapor e calor sensível a partir de superfície da planta ($s \cdot m^{-1}$), z_m , a altura de medição da velocidade do vento (m), em metros, z_h , a altura de medição da umidade (m), z_{om} , a altura da rugosidade da vegetação, em metros (cultura de referência), z_{oh} a altura para transferência de vapor, em metros, d_e , o deslocamento do plano zero na altura da vegetação (m), k a constante de von Karman e U_2 é a velocidade do vento medida a 2m.

A equação para um gramado hipotético foi simplificada para (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997):

$$r_a = \frac{208}{U_2} \quad (26)$$

4.4.2 Método do Tanque Classe A

Para determinar a evapotranspiração de referência, a evaporação medida no Tanque Classe A (ECA) deve ser corrigida por um coeficiente (K_p):

$$ET_{oTca} = K_p \cdot ECA \quad (27)$$

em que ET_{oTca} é a evapotranspiração (mm).

O nível de água é medido num poço tranqüilizador de 0,25 m de altura e 0,10 m de diâmetro, em cuja borda se assenta um parafuso micrométrico de gancho com capacidade para medir variações de 0,01 mm (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

Geralmente, assume-se um valor fixo para o coeficiente K_p igual a 0,66; sendo arredondado para 0,7 frequentemente (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997). Esse

valor fixo foi encontrado por Sleight (1917)⁴ apud Pereira; Villa Nova; Sedyama (1997), que definiu que a evaporação de um tanque com diâmetro menor que 3,66 m deve ser corrigida por um fator denominado coeficiente de tanque. Porém, neste trabalho adotou-se a equação proposta por Allen et al. (1998) para estimativa do coeficiente do tanque K_p para condições onde a bordadura é vegetada, como é o caso da Estação Agroclimatológica.

(28)

$$K_p = 0,108 - 0,0286U_2 + 0,0422 \ln(F) + 0,1434 \ln(UR_{med}) - 0,000631[\ln(F)]^2 \ln(UR_{med})$$

em que U_2 é a velocidade do vento ($m.s^{-1}$), F é a distância (tamanho) da área de bordadura (m) e UR_{med} é a umidade relativa média do dia (%) e calculada pela seguinte equação:

$$UR_{med} = \left(\frac{UR_{max} + UR_{min}}{2} \right) \quad (29)$$

4.4.3 Método de Thornthwaite

Em 1948, Thornthwaite apresentou uma metodologia para estimativa da evapotranspiração potencial, tendo como variáveis a temperatura média diária e a duração do dia (fotoperíodo).

O método tem por base um índice de eficiência de temperatura anual I , definido como a soma de 12 valores mensais de índice de calor i . Cada índice i é uma função da temperatura média mensal T_{med} ($^{\circ}C$), como segue (THORNTHWAITE, 1948):

$$i = \left(\frac{T_{med}}{5} \right)^{1,514} \quad (30)$$

$$I_t = \sum_1^{12} i$$

A evapotranspiração de referência, em mm, é dada por:

⁴ SLEIGHT, R.B. Evaporation from the surfaces of water and river-bed materials. Journal of Agricultural Resources, v.10, p. 209-262, 1917.

$$ETp = 16 \cdot \left(\frac{10T}{I_t} \right)^a \quad (31)$$

sendo o coeficiente a dado pela equação:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I_t^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I_t^2 + 0,01791 \cdot I_t + 0,49239 \quad (32)$$

O método foi desenvolvido considerando como padrão um mês com 30 dias e, cada dia com 12 horas de fotoperíodo. Sendo assim, é necessário corrigir a ETo para o número de dias do período consideradi e para o respectivo fotoperíodo, utilizando-se para isto a equação:

$$EToTho = ETo \frac{N}{12} \frac{ND}{30} \quad (33)$$

em que EToTho é a evapotranspiração de referência (mm.dia^{-1}), para um mês de ND dias e com dado fotoperíodo.

4.4.4 Lisimetria

Os dados de evapotranspiração de referência observados em campo foram determinados por lisímetros instalados na Estação Agroclimatológica, empregando-se a da seguinte equação:

$$EToLis = (P + I) - D \quad (34)$$

em que EToLis é a evapotranspiração de referência, P é a precipitação, I é a irrigação e D é a drenagem do lisímetro, todas em mm.

O valor da drenagem foi definido através da média dos valores de drenagem dos seis lisímetros instalados na estação e que operam em condição de evapotranspiração de referência,

$$D = \left(\frac{D1 + D2 + D3 + D4 + D5 + D6}{6} \right) \quad (35)$$

em que D é a média dos valores de drenagem dos lisímetros em mm e D1, D2, D3, D4, D5 e D6 são os valores de drenagem de cada lisímetro em mm.

Para que o lisímetro fosse operado em condição potencial, foi necessário que o solo fosse mantido em condições de capacidade de campo. Sendo assim, a variação do armazenamento foi desconsiderada ($\Delta A_l \cong 0$).

4.5 Evapotranspiração real

4.5.1 Evapotranspiração real estimada

A evapotranspiração real é utilizada para cálculo do balanço hídrico do solo, sendo estimada através do Balanço Climatológico desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955).

O balanço climatológico de Thornthwaite e Mather (**Tabela 1**), parte do suprimento natural de água ao solo, simbolizada pela precipitação (P) e demanda atmosférica representada pela evapotranspiração potencial (ETo). Com uma CAD (capacidade de água disponível no solo) apropriada para a cultura e para as propriedades físicas do solo, este balanço hídrico fornece estimativas de evapotranspiração real (ETr), assim como do armazenamento de água no solo (ARM), em escalas variando da diária até a mensal (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

Tabela 1 - Balanço hídrico climatológico de Thornthwaite – Mather para o município de Posse, Goiás.

Mês	ETo (mm)	P (mm)	P-ETo (mm)	NEG-AC	ARM (mm)	ALT (mm)	ETr (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	116	271	155	0	100	0	116	0	155
Fev	97	215	118	0	100	0	97	0	118
Mar	104	230	126	0	100	0	104	0	126
Abr	88	119	31	0	100	0	88	0	31
Mai	78	20	-58	-58	56	-44	64	14	0
Jun	63	9	-54	-112	33	-23	32	31	0
Jul	62	5	-57	-169	18	-15	20	42	0
Ago	90	12	-78	-247	8	-10	22	68	0
Set	94	30	-64	-311	4	-4	34	60	0
Out	109	123	14	-171	18	14	109	0	0
Nov	106	223	117	0	100	82	106	0	35
Dez	106	280	174	0	100	0	106	0	174

Antes de iniciar os cálculos das colunas, é necessário saber a quantidade de água que o solo pode reter. Esta grandeza denomina-se capacidade máxima de água disponível (CAD), em milímetros, e pode ser encontrada pela expressão (COSTA, 1994):

$$CAD = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) Da \cdot H \quad (36)$$

em que CC é a umidade do solo à capacidade de campo (% peso), PMP é a umidade do solo ao ponto de murcha permanente (% peso), Da é a densidade aparente do solo ($\text{g}\cdot\text{cm}^3$) e H é a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (cm).

De acordo com Sentelhas e Angelocci (2007), para fins climatológicos, ou seja, para o cálculo do balanço hídrico apenas para caracterização da disponibilidade hídrica regional, é comum a adoção de valores de CAD variando de 75 a 125 mm.

Neste trabalho utilizou-se a CAD estimada de 100 mm e a CAD calculada através das propriedades físicas do solo fornecidos pelo Departamento de Solos da UNESP de Jaboticabal. (**Tabela 2**).

Embora o valor de 100 mm seja utilizado para fins climatológicos, testou-se esse valor intermediário (75 a 125 mm) com o intuito de verificar se há diferenças consideráveis quando não se dispõe de propriedades físicas do solo para cálculo da CAD.

Tabela 2 - Propriedades físicas do solo e profundidade do sistema radicular da grama batatais (*Paspalum notatum*), presentes nos lisímetros da Estação Agroclimatológica.

θ_{cc}	θ_{pmp}	D_a (g.cm ³)	H (cm)
18,6	13,6	1,48	15

O termo P se refere ao valor de precipitação e ETo a evapotranspiração potencial ou de referência no mês em questão. Os valores de ETo podem ser estimados por vários métodos e não apenas pelo de Thornthwaite (1948). Neste trabalho foram utilizados os métodos de Penman-Monteith FAO 56, Tanque Classe A e Thornthwaite detalhados no tópico 4.4.

O termo P-ETo representa a diferença entre os valores de P e ETo. Os valores positivos indicam que a disponibilidade de água no mês (precipitação) foi superior à demanda (evapotranspiração).

O cálculo dos valores do negativo acumulado e do armazenamento é realizado concomitantemente. O balanço hídrico inicia-se somente quando houver uma seqüência de períodos com $(P-ETo) > 0$ que seja suficiente para garantir $ARM = CAD$.

Sempre que P-ETo for menor que zero o armazenamento é calculado através da seguinte forma:

$$ARM = CAD \cdot e^{-\left(\frac{|NEG-AC|}{CAD}\right)} \quad (37)$$

Quando o valor de P-ETo for maior que zero, soma-se o valor de P-ETo ao ARM_{i-1} e em função desse novo armazenamento (ARM_i), calcula-se o novo negativo acumulado pela equação:

$$NEG - AC = CAD \cdot Ln\left(\frac{ARM}{CAD}\right) \quad (38)$$

O valor da alteração (ALT) é encontrado pela diferença entre o armazenamento o mês em questão (ARM_i) e o mês anterior (ARM_{i-1}). Se $ALT > 0$, então houve reposição de água, caso contrário, houve retirada de água do solo (SENTELHAS e ANGELOCCI, 2007).

A ETr é a evapotranspiração real calculada como (COSTA, 1994):

$$\text{Se } (P-ETo) < 0, \text{ então a } ETr = P + |ALT| \quad (39)$$

$$\text{Se } (P-ETo) > 0, \text{ então } ETr = ETo \quad (40)$$

A deficiência (DEF) é a deficiência hídrica, ou seja, a diferença entre ETo e ETr.

O excedente de água (EXC), que é a água que não pôde ser retirada, sendo drenada em profundidade (SENTELHAS e ANGELOCCI, 2007), é calculado por:

$$\text{Se } ARM < CAD, \text{ então o } EXC = 0. \quad (41)$$

$$\text{Se } ARM = CAD, \text{ então o } EXC = (P - ETo) - ALT \quad (42)$$

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se a metodologia desenvolvida por Thorntwaite e Mather (1955), apresentada anteriormente, para a estimativa da evapotranspiração real.

O cálculo foi realizado utilizando uma planilha em MS-Excel desenvolvida por Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998).

4.5.2 Evapotranspiração real observada

Assim como para a evapotranspiração potencial ou de referência, utilizaram-se dados de três lisímetros para aquisição do valor medido da evapotranspiração real.

Porém, neste caso se faz necessária a obtenção do valor da variação do armazenamento de água no solo. Para isto, foram instalados em cada lisímetro não irrigado, quatro tensiômetros nas seguintes profundidades: 25 cm, 50 cm, 75 cm e 90 cm.

O tensiômetro permite a determinação direta da tensão da água no solo. Este equipamento é constituído por uma cápsula porosa na extremidade inferior. Quando colocado no solo, a água contida na cápsula tende a entrar em equilíbrio com a pressão da água no solo, o que permite a leitura desta através de um vacuômetro (TUCCI, 2007). Os valores de tensão (kPa) encontrados para cada lisímetro e para cada profundidade, são apresentados no Apêndice AA.

De posse dos dados de tensão matricial e da curva de retenção de água no solo determinou-se a umidade no solo. Os dados da curva de retenção (**Figura 7**) para os lisímetros foram fornecidos pela Estação Agroclimatológica da UNESP. Com o auxílio do

software SWRC (Dourado Neto et al., 2000) ajustou-se a curva de retenção ao modelo de van Genuchten (Eq. 43) e obteve-se a equação para o cálculo de umidade do solo (Eq. 44):

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[\frac{1}{1 + (ah)^n} \right]^m \quad (43)$$

em que a , m e n são parâmetros de ajuste da curva, θ_s é umidade de saturação, θ_r é umidade residual e h é tensão de sucção (potencial matricial), assumindo-se valor positivo.

A equação com os parâmetros ajustados é escrita como:

$$\theta = 0,134 + \frac{(0,265 - 0,134)}{\left[1 + (0,4007 \cdot h)^{1,5894} \right]^{0,4}} \quad (44)$$

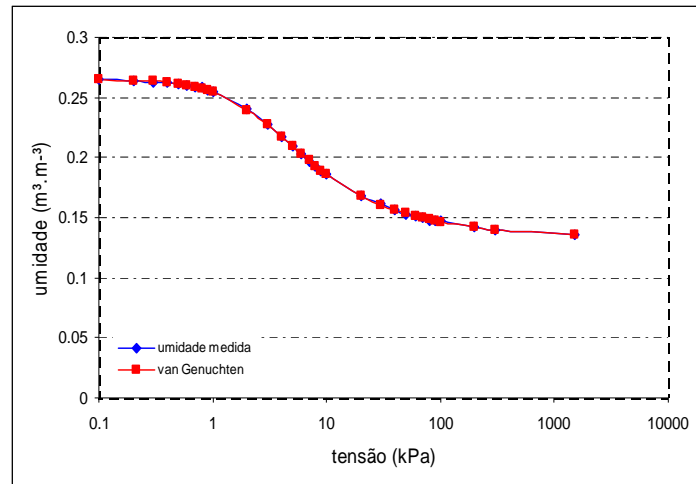


Figura 7 – Curva de retenção de água no solo ajustada através do software SWRC.

Com os valores de umidade conhecidos, é possível encontrar a variação do armazenamento de água no solo. De acordo com Reichardt e Timm (2004), o armazenamento de água no solo A_1 , em mm, é dado pela expressão:

$$A_1 = \int_0^L \theta dz \quad (45)$$

em que z é a variável que representa a profundidade no solo e varia de 0 (superfície do solo) até L (profundidade de interesse). Neste trabalho há quatro profundidades de interesse, sendo 0-25; 25-50; 50-75 e 75-90 cm. Cada tensiômetro possui faixa área de influência conforme apresentado na **Figura 8**.

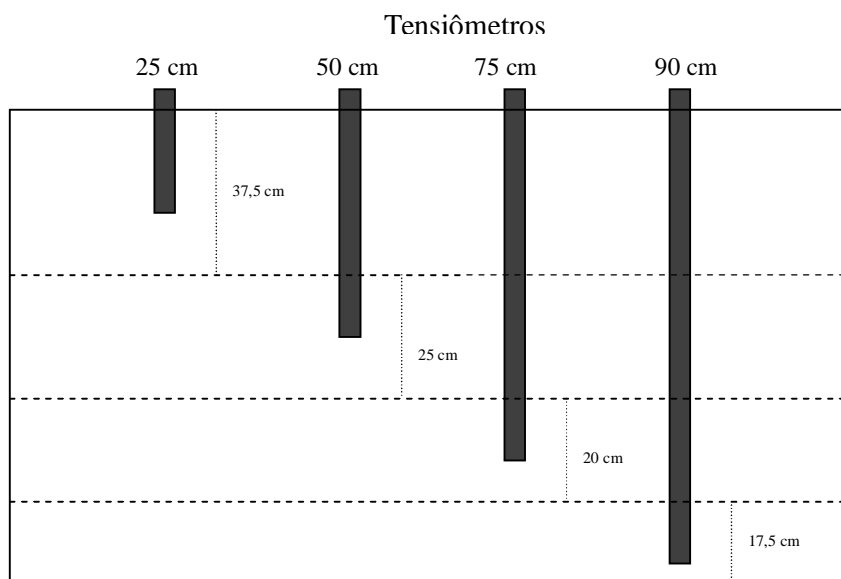


Figura 8 – Profundidades de influência de cada tensiômetro.

Dessa forma, determinou-se a umidade média ($\bar{\theta}$) nos lisímetros pela equação:

$$\bar{\theta} = \frac{37,5\theta_{25} + 25\theta_{50} + 20\theta_{75} + 17,5\theta_{90}}{37,5 + 25 + 20 + 17,5} \quad (46)$$

O armazenamento de água nos lisímetros foi obtido por:

$$A_l = \bar{\theta} \cdot 1000 \quad (47)$$

A evapotranspiração real, em mm, foi determinada pela equação:

$$ETr = P - D \pm \Delta A_l \quad (48)$$

em que P é a precipitação (mm), D é a média da drenagem dos três lisímetros (mm) e ΔA_1 é a variação do armazenamento de água no solo, no período analisado.

Vale ressaltar que houve uma falha na operação dos lisímetros não irrigados no mês de maio de 2008, já que o lisímetro n° 1 recebeu 22 litros de água no dia 09 de maio e o lisímetro n° 2 recebeu 36 litros no dia 12 de maio.

4.6 Análises estatísticas

Os resultados foram analisados por meio da análise de regressão e pelos índices de Willmott (d) e confiança ou desempenho (c), propostos por Camargo e Sentelhas (1997).

O índice que representa a precisão (r), chamado de índice de correlação de Pearson, pode ser calculado pela equação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - O) \cdot (P_i - P)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - O)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - P)^2}} \quad (49)$$

onde P_i é o valor estimado, P é a média dos valores estimados, O_i é o valor observado e O é a média dos valores observados.

A exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Esta exatidão é dada por um índice denominado concordância. Este índice é representado pela letra “ d ” e varia de 0 a 1, em que o valor 1 significa uma concordância perfeita entre dados observados e estimados, enquanto que o valor 0, significa não haver concordância entre os valores analisados. Esse índice é calculado da seguinte forma:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N [(P_i - O) + (O_i - O)]^2} \right] \quad (50)$$

onde P_i é o valor estimado, O_i o valor observado e O a média dos valores observados.

O índice proposto por Camargo e Sentelhas (1997) para expressar a confiança ou desempenho é dado pela equação:

$$c = r \cdot d \quad (51)$$

Utilizou-se o critério adotado por Camargo e Sentelhas (1997) para interpretar o desempenho dos métodos pelo índice “c” para as médias mensais de ETo e ETr, apresentado na **Tabela 3**.

Tabela 3 - Critérios de interpretação do coeficiente *c* de Camargo.

Valor de "c"	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: (CAMARGO e SENTELHAS, 1997).

Além dos índices estatísticos anteriormente descritos, utilizaram-se outros dois índices, sendo o erro médio (*EM*) e o erro absoluto médio (*EAM*), estimados por:

$$EM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \quad (52)$$

$$EAM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \quad (53)$$

5.RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados de evapotranspiração de referência (E_{To}), determinados pelos métodos do Tanque Classe A, Thornthwaite e Penman Monteith FAO 56, foram analisados e comparados com os valores medidos pelo lisímetro. Posteriormente, esses dados de E_{To} foram utilizados no balanço hídrico climatológico para determinação da evapotranspiração real.

Os dados de evapotranspiração real (E_{Tr}), determinados através dos lisímetros foram analisados e comparados com os dados de E_{Tr} estimados pelo balanço hídrico climatológico utilizando a CAD igual a 100 mm e a CAD calculada por meio das propriedades físicas do solo, de forma a verificar a eficiência deste método.

Os dados de evapotranspiração determinados pelos lisímetros foram comparados com os dados de umidade do solo, de forma a verificar a variação da ET sob diferentes disponibilidades hídricas.

5.1 Evapotranspiração potencial ou de referência (E_{To})

5.1.1 Dados Lisimétricos

As leituras do percolado dos lisímetros foram realizadas várias vezes ao dia, porém, mesmo assim houve quatro transbordamentos, já que o volume drenado foi superior ao volume do galão.

Para preencher as falhas por transbordamento dos galões dos lisímetros sempre irrigados e irrigados esporadicamente, primeiramente avaliou-se a correlação entre os valores de E_{To} estimados pela equação de Penman-Monteith FAO 56 e os valores de E_{To} medidos nos lisímetros considerando os períodos em que não ocorreram falhas. Porém a correlação

encontrada não foi muito boa ($r = 0,68$; $r = 0,26$ para o período mensal e quinzenal, respectivamente para os lisímetros sempre irrigados e $r = 0,57$; $r = 0,26$ para os lisímetros irrigados esporadicamente). Entretanto, verificou-se melhor correlação entre os dados de precipitação mais irrigação (P+I) e a ETo medida em períodos sem falhas ($r = 0,96$ para os períodos mensal e quinzenal) para os lisímetros sempre irrigados e uma boa correlação ($r = 1$ e $r = 0,97$) entre os valores de precipitação – drenagem (P-D) e precipitação + irrigação (P+I) para os lisímetros irrigados esporadicamente.

Assim, estabeleceu-se uma regressão linear entre essas variáveis, que resultaram em:

$$EToLis = 0,6021(P + I) + 7,3052 \text{ (mensal)} \quad (54)$$

$$EToLis = 0,6351(P + I) + 0,9652 \text{ (quinzenal)} \quad (55)$$

para preenchimento mensal e para preenchimento quinzenal dos lisímetros sempre irrigados (**Figuras 09 e 10**),

$$P - D = 0,8025(P + I) + 0,4701 \text{ (mensal)} \quad (56)$$

$$P - D = 0,7621(P + I) + 0,25847 \text{ (quinzenal)} \quad (57)$$

para preenchimento mensal e para preenchimento quinzenal dos lisímetros irrigados esporadicamente.

Para encontrar a evapotranspiração para os lisímetros irrigados esporadicamente, após serem encontrados os valores de P-D para os meses onde ocorreram falhas no monitoramento do percolado, subtraiu-se dos valores de P-D os valores de armazenamento de água no solo para cada mês ou cada quinzena.

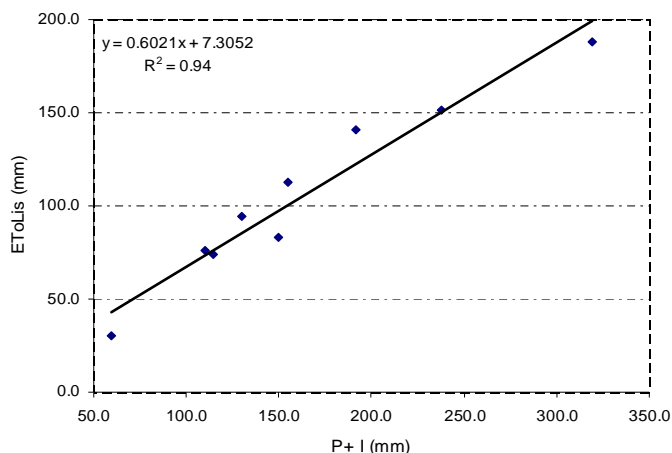


Figura 9 - Relação entre a evapotranspiração de referência medida no lisímetro (EToLis) e a soma entre precipitação e irrigação (P+I), em período mensal.

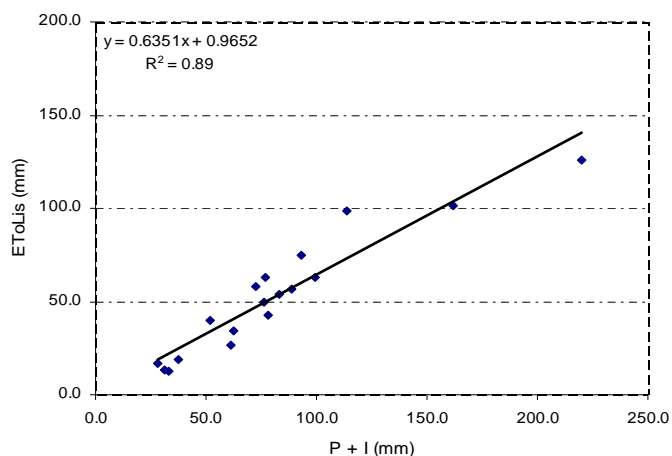


Figura 10 - Relação entre a evapotranspiração de referência medida no lisímetro (EToLis) e a soma entre precipitação e irrigação (P+I), em período quinzenal.

Os valores mensais de evapotranspiração de referência medidos nos lisímetros apresentaram-se melhores com relação aos dados quinzenais, já que há uma diferença visível entre uma quinzena e outra, conforme pode ser observado nos gráficos que mostram a distribuição da ETo no período quinzenal. Houve uma diferença grande nos valores de precipitação entre as quinzenas do mês de dezembro (1ª 59,2 mm e a 2ª 219,7 mm), de fevereiro (1ª 171,6 mm e a 2ª 19 mm), de março (1ª 168,5 e a 2ª 49,4 mm) e de abril (1ª 70,8 mm e a 2ª 0 mm), fato que poderia explicar a variação entre uma quinzena e outra, já que esta diferença não deveria ocorrer em períodos curtos, devido à pequena variação dos dados meteorológicos para o mesmo período.

5.1.2 Análise dos dados meteorológicos

Dentre os elementos climáticos mais relacionados à evapotranspiração, estão a radiação solar, responsável pelo aporte de energia necessária para que o processo físico ocorra, a temperatura e a umidade do ar, que juntas definem o déficit de pressão de vapor próximo à superfície evaporante.

Dessa forma, verificou-se a correlação entre os dados de umidade relativa média, temperatura média e radiação solar com os dados de evapotranspiração (**Figuras 11, 12 e 13**).

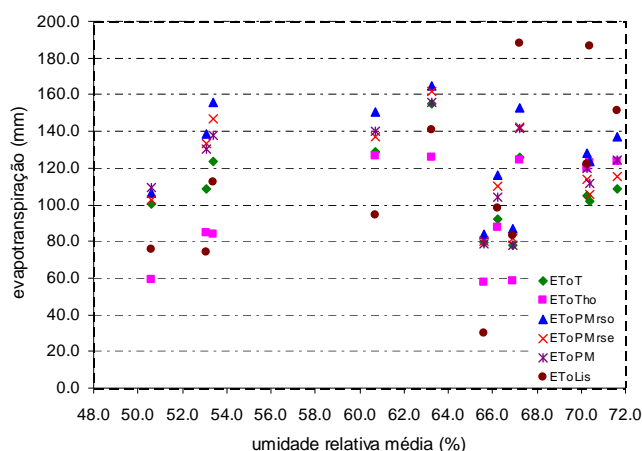


Figura 11 - Relação entre a evapotranspiração de referência medida e estimada e a umidade relativa média ($UR_{m\acute{e}dia}$), em período mensal.

Com relação à umidade, os únicos métodos que apresentaram correlação positiva com a umidade relativa média ($r = 0,46$ e $r = 0,47$) foram os de Thorthwaite ($EToTho$) e do Lisímetro ($EToLis$), respectivamente. Os métodos do Tanque Classe A ($EToTca$) e Penman Monteith FAO 56 utilizando a radiação solar global estimada ($EToPMrse$), observada ($EToPMrso$) e a equação utilizando todas as variáveis observadas ($EToPM$) apresentaram correlação negativa ($r = -0,19$; $r = -0,29$; $r = -0,15$; $r = -0,22$; respectivamente) com a umidade. Isso indica que a evapotranspiração de referência é inversamente proporcional aos valores de umidade relativa média.

A transpiração ocorre desde as raízes até as folhas, pelo sistema condutor e pelo estabelecimento de um gradiente de potencial desde o solo até o ar. Assim, quanto mais seco estiver o ar (menor umidade relativa), maior será esse gradiente.

Comparando os valores de temperatura média com os valores de evapotranspiração,

pode-se observar uma boa correlação entre os dados. O método que apresentou maior correlação conforme esperado foi o de Thornthwaite ($r = 0,98$), já que este método foi baseado em balanços hídricos de bacias hidrográficas e em medidas de evapotranspiração observadas através de lisímetros, utilizando apenas a temperatura do ar como variável independente (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

O Lisímetro ($r = 0,74$), Penman Monteith utilizando a radiação solar global observada ($r = 0,73$) e Penman Monteith utilizando todas as variáveis observadas ($r = 0,70$) apresentaram bons valores de correlação. A equação de Penman Monteith utilizando a radiação solar global estimada apresentou o menor valor ($r = 0,60$) seguido do Tanque Classe A ($r = 0,64$).

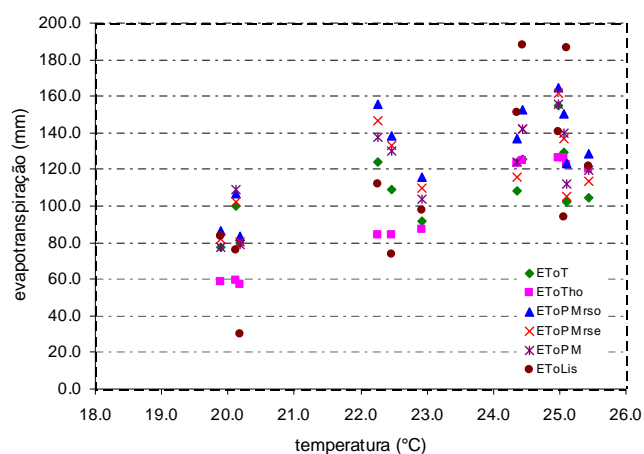


Figura 12 - Relação entre a evapotranspiração de referência medida e estimada e a temperatura média ($T_{média}$), em período mensal.

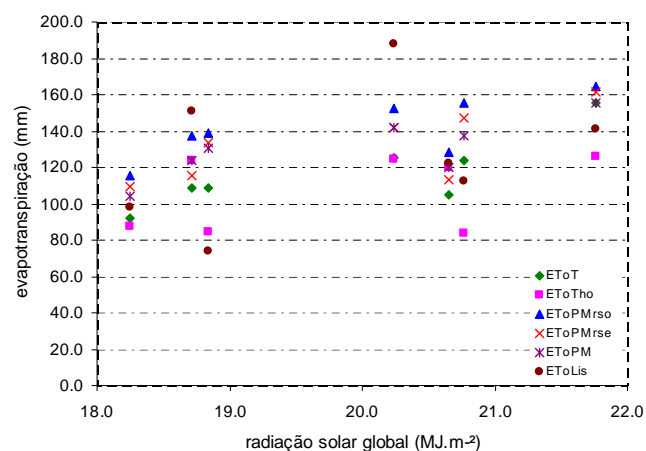


Figura 13 - Relação entre a evapotranspiração de referência medida e estimada e a radiação solar global (R_{so}), em período mensal.

Com relação à radiação solar global, os métodos de Penman Monteith utilizando a radiação solar global estimada, Penman Monteith com todas as variáveis medidas e Penman Monteith utilizando a radiação solar global observada apresentaram valores muito próximos estatisticamente ($r = 0,86$, $r = 0,85$, $r = 0,84$, respectivamente). Os valores obtidos pelos lisímetros apresentaram a menor correlação ($r = 0,44$), seguido do método de Thornthwaite ($r = 0,54$) e do Tanque Classe A ($r = 0,79$). A equação de Penman Monteith utiliza algumas variáveis e parâmetros físicos, dentre eles a radiação solar global, o que explica as melhores correlações entre os dados observados.

A **Tabela 4** apresenta os índices estatísticos que relacionam os dados de ETo estimados pelos métodos e observado nos lisímetros e as variáveis climáticas umidade relativa média, temperatura e radiação solar global observada em campo, para o período mensal.

Tabela 4 - Coeficiente de correlação (r) entre as estimativas de ETo e as variáveis climáticas umidade relativa média, temperatura e radiação solar global, em período mensal.

Métodos	Umidade	Temperatura	Radiação Solar Global
	r	r	r
EToTca	-0,19	0,64	0,79
EToTho	0,46	0,98	0,54
EToPMrse	-0,29	0,6	0,86
EToPMrso	-0,15	0,73	0,85
EToPM	-0,22	0,7	0,84
EToLis	0,47	0,74	0,44

5.1.3 Saldo de radiação estimado e observado

Para estimar a evapotranspiração de referência através da equação de Penman-Monteith, utilizou-se algumas variações deste método fazendo uso do saldo de radiação coletado em campo, do saldo estimado utilizando a radiação solar global observada em campo e estimada através da equação 11.

A **Tabela 5** apresenta os valores coletados em campo e estimados por equações, em MJ.m^{-2} .

Tabela 5 – Saldo de radiação observado em campo, saldo de radiação estimado utilizando a radiação solar global (Rso) observada em campo e o saldo de radiação estimado utilizando a radiação solar global estimada, em MJ.m⁻², para o período mensal.

Ano	Mês	Saldo de radiação observado	Saldo de radiação estimado utilizando Rso observada	Saldo de radiação estimado utilizando Rso estimada
2008	Mai	6,0	7,2	6,5
	Jun	5,7	6,3	5,9
	Jul	7,3	6,9	6,4
	Ago	7,7	8,8	8,1
	Set	8,2	10,7	9,5
	Out	9,3	10,6	9,0
	Nov	12,1	13,2	12,9
	Dez	11,3	12,6	11,3
2009	Jan	10,4	12,0	9,3
	Fev	11,7	12,9	11,0
	Mar	9,7	11,0	8,9
	Abr	8,2	9,7	9,0

O saldo de radiação estimado utilizando a Rso observada apresentou melhor correlação com o saldo de radiação observado em campo ($r = 0,97$) em comparação com o saldo de radiação estimado utilizando a Rso estimada ($r = 0,93$).

Mesmo apresentando menor correlação, o resultado obtido é importante, uma vez que muitas estações agroclimatológicas não possuem aparelhos para medição do saldo de radiação ou até mesmo da radiação solar global.

5.1.4 Comparação entre a evapotranspiração de referência medida e estimada

A medida lisimétrica é uma medida direta e tida como a medida mais precisa para a evapotranspiração. Por ser um método mais trabalhoso, comparou-se os valores de evapotranspiração de referência obtidos nos lisímetros com outros métodos, de forma a verificar a eficiência de métodos de estimativa.

De acordo com a **Figura 14**, verifica-se que os valores obtidos pelo Tanque Classe A subestimam a EToLis no período chuvoso e superestimam no período seco. Esse método apresentou um péssimo desempenho ($c = 0,26$) de acordo com a classificação de Camargo e Sentelhas (1997). Os valores de correlação e exatidão ($r = 0,49$; $d = 0,54$) apresentaram

valores medianos para o período mensal. Os índices estatísticos foram ainda menores ($r = 0,20$; $d = 0,21$ e $c = 0,04$) para o período quinzenal (**Figura 15**).

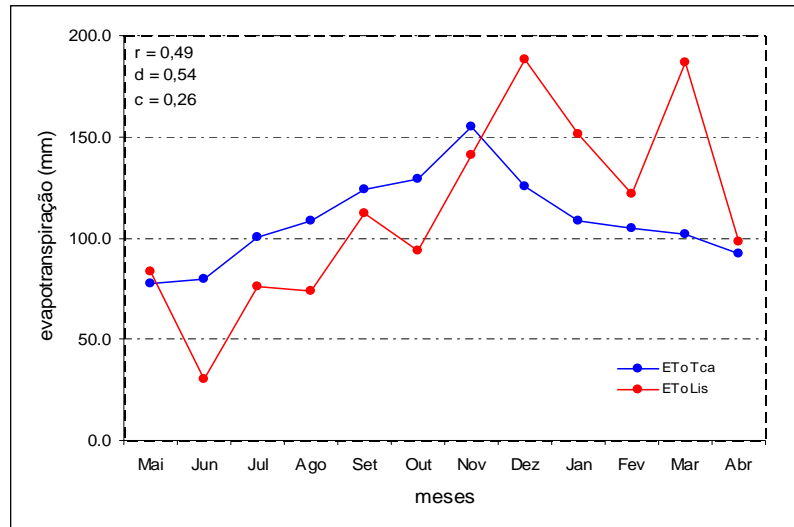


Figura 14 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToTca e medidos por lisímetros, em período mensal.

Observa-se uma grande variação entre a primeira e a segunda quinzena de março (**Figura 15**). Os dois transbordamentos no mês de março ocorrem na primeira quinzena e possivelmente embutiam um erro de estimativa da evapotranspiração para esse período e, conseqüentemente, uma diferença entre uma quinzena e outra. Outro fator que pode ter gerado essa grande diferença entre as quinzenas foi a quantidade de chuva em cada período (1ª quinzena 168,5 mm e a 2ª quinzena 49,4 mm) .

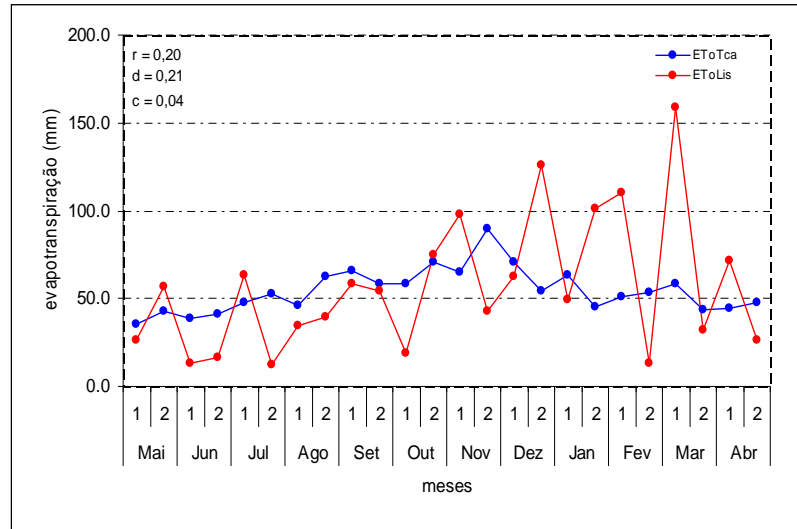


Figura 15 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToTca e medidos por lisímetros, em período quinzenal.

O método de Thornthwaite foi classificado como “mediano” e foi o método que apresentou o melhor valor de desempenho ($c = 0,62$), assim como os valores de correlação ($r = 0,79$) e exatidão ($d = 0,79$). Camargo e Sentelhas (1997) comparando métodos de estimativa de ETo com valores lisimétricos encontraram o valor de 0,79 para o índice de desempenho. Entretanto, podemos verificar na **Figura 16**, que há uma grande diferença entre a EToTho e a EToLis nos meses em que ocorrem os maiores valores de precipitação.

Para o período quinzenal, este método teve o melhor desempenho ($c = 0,32$) em comparação com os outros métodos. Porém, assim mesmo, o desempenho foi classificado como “péssimo” (**Figura 17**).

Doorenbos e Pruitt (1977), comparando a ETo estimada por equações, em Davis, CA/EUA; com dados medidos em lisímetro de 30m² de área, encontraram subestimativas do método de Thornthwaite e boas estimativas com os métodos de Penman, Makkink e Jensen & Haise.

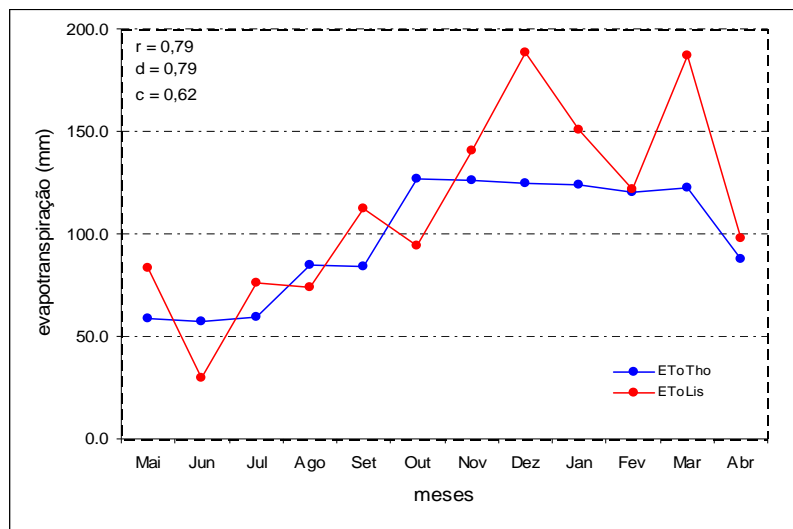


Figura 16 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToTho e medidos por lisímetros, em período mensal.

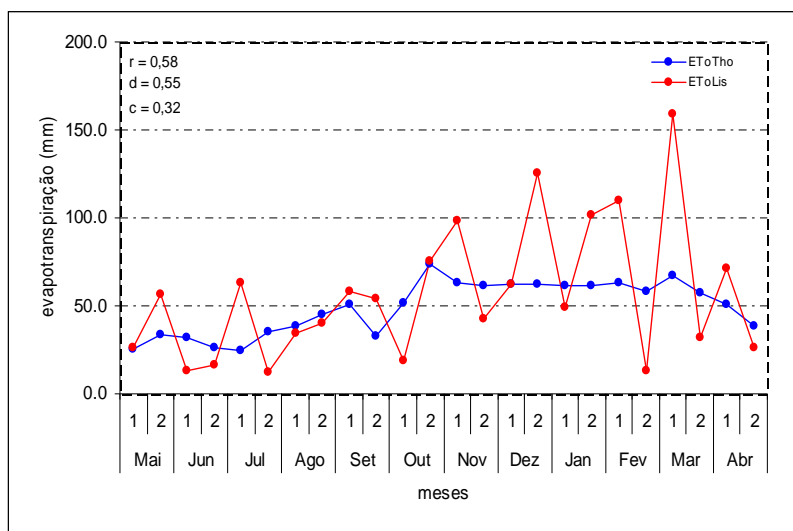


Figura 17 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToTho e medidos por lisímetros, em período quinzenal.

O método de Penman Monteith utilizando a radiação solar global estimada apresentou valor mediano de exatidão ($d = 0,53$) e baixos valores de correlação ($r = 0,44$) e de desempenho ($c = 0,24$). Conforme a **Figura 18**, no período seco, este método superestimou a evapotranspiração e subestimou no período chuvoso. Para o período quinzenal, obtiveram-se índices piores ($r = 0,13$; $d = 0,16$; $c = 0,02$) como mostra a **Figura 19**.

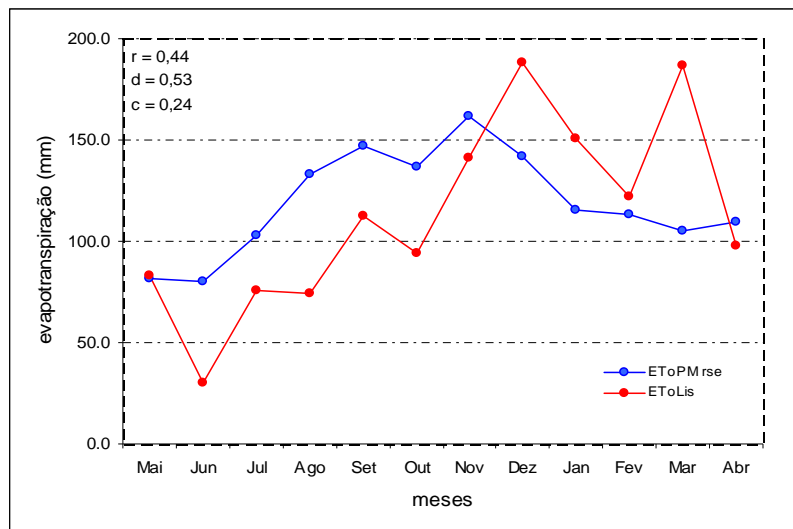


Figura 18 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPMrse e medidos por lisímetros, em período mensal.

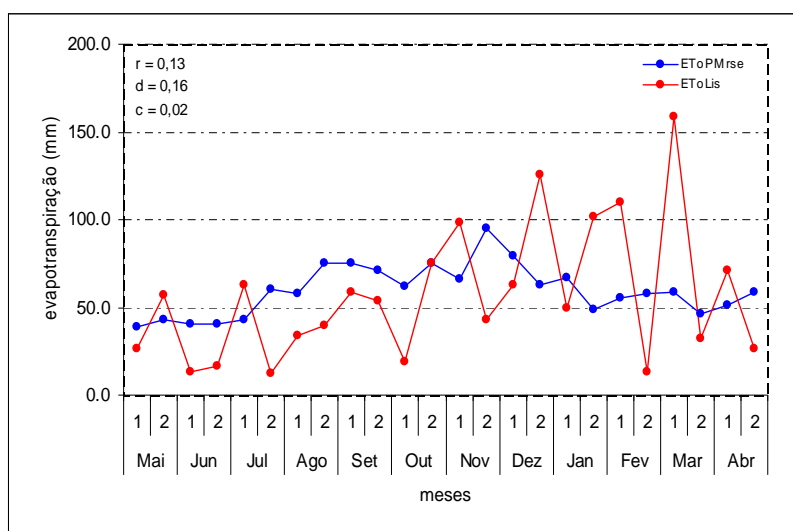


Figura 19 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPMrse e medidos por lisímetros, em período quinzenal.

O método de Penman Monteith utilizando a radiação solar global observada apresentou desempenho “péssimo” ($c = 0,36$) e razoável correlação ($r = 0,58$) e exatidão ($d = 0,62$) com os valores de EToLis. Verifica-se na **Figura 20** que este método apresenta resultados semelhantes aos outros, superestimando a EToLis nos períodos secos e subestimando a EToLis nos períodos chuvosos. Da mesma forma que os outros métodos, para o período quinzenal (**Figura 21**), os índices apresentaram piores valores ($r = 0,25$; $d = 0,27$; $c = 0,07$).

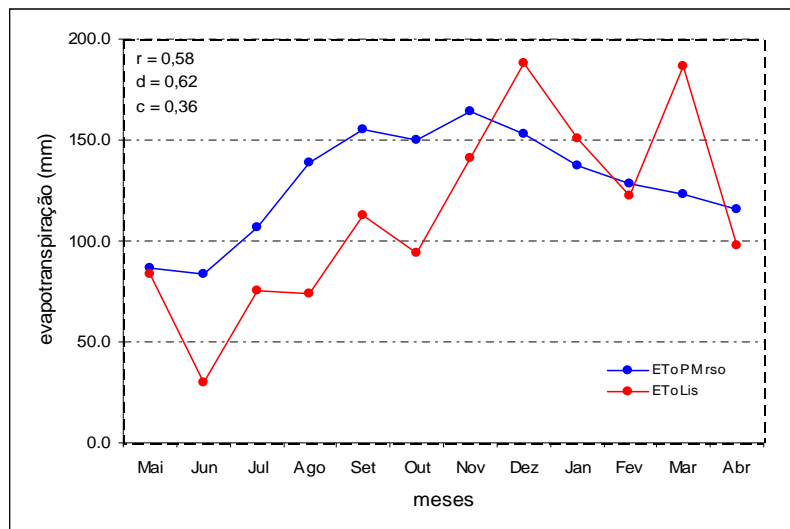


Figura 20 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPMrso e medidos por lisímetros, em período mensal.

Esse método vem sendo testado em diferentes partes do mundo e apresentando bons resultados. Isso pode indicar falha na operação dos lisímetros.

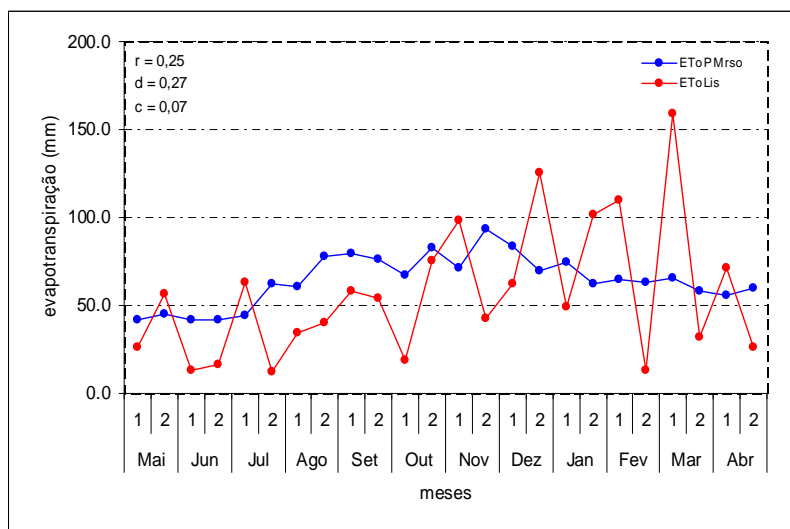


Figura 21 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPMrso e medidos por lisímetros, em período quinzenal.

O método de Penman Monteith utilizando todas as variáveis medidas apresentou um desempenho “péssimo” ($c = 0,32$) e uma correlação média ($r = 0,53$). De acordo com a **Figura 22**, observa-se que este método superestimou a EToLis nos períodos secos e subestimou nos períodos chuvosos. Para o período quinzenal o desempenho desse método foi

ainda pior ($r = 0,20$; $d = 0,22$; $c = 0,04$) como mostra a **Figura 23**. Camargo e Sentelhas (1997) comparando 20 métodos de estimativa de ETo com dados lisimétricos encontraram um bom desempenho ($r = 0,73$) para o método de Penman Monteith.

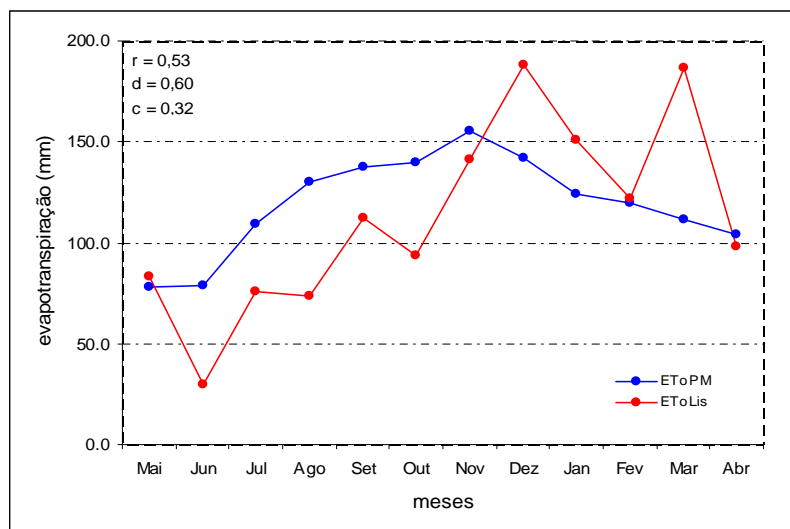


Figura 22 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e medidos por lisímetros, em período mensal.

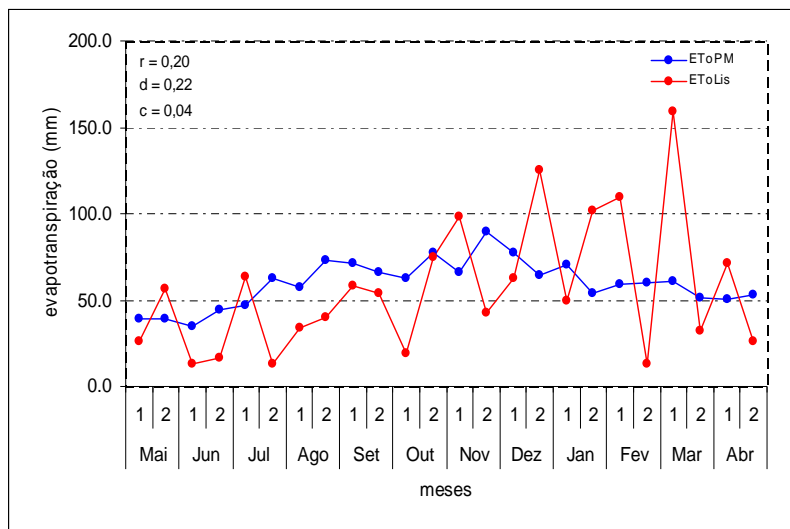


Figura 23 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e medidos por lisímetros, em período quinzenal.

Medeiros (2008), avaliando os dados dos lisímetros operando em capacidade de campo da mesma estação agroclimatológica deste estudo, para os anos de 2002 a 2006,

encontrou os seguintes valores para EToPMrso ($r = 0,65$; $d = 0,72$; $c = 0,47$), para EToPMrse ($r = 0,57$; $d = 0,55$; $c = 0,31$) e para Thornthwaite ($r = 0,69$; $d = 0,60$; $c = 0,41$) para o período mensal. O autor observou ainda que para o período quinzenal, os valores dos índices estatísticos foram ainda mais baixos, em consonância com o observado neste trabalho. Vale ressaltar que o autor não utilizou o método do Tanque Classe A e o método de Penman Monteith com o saldo de radiação observado em campo e teve como objetivo calibrar algumas equações de estimativa de Eto.

Verificou-se uma baixa correlação entre os valores de ETo medidos pelos lisímetros e estimados pelas equações. As **Tabelas 6 e 7** apresentam os índices estatísticos que relacionam os dados de EToLis e as demais estimativas da ETo, para o período mensal e quinzenal. As metodologias receberam classificação “péssimo” pelo índice c de Camargo, exceto a estimativa pelo método de Thornthwaite ($c = 0,62$) que apresentou uma classificação “mediana”.

Tabela 6 - Coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e de desempenho (c), classificação segundo índice c , erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM), entre EToLis e demais estimativas de ETo, em período mensal.

Métodos	r	d	c	Classificação	EM	EAM	ETo (mm).ano ⁻¹
EToTca	0,49	0,54	0,26	Péssimo	-4,1	32,4	1306,8
EToTho	0,79	0,79	0,62	Mediano	-15,1	26,9	1174,6
EToPMrse	0,44	0,53	0,24	Péssimo	6,1	35,0	1430,0
EToPMrso	0,58	0,62	0,36	Péssimo	0,1	1,0	1542,3
EToPM	0,53	0,6	0,32	Péssimo	6,2	32,2	1431,2
EToLis							1356,3

Tabela 7 - Coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e de desempenho (c), classificação segundo índice c , erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM), entre EToLis e demais estimativas de ETo, em período quinzenal.

Métodos	r	d	c	Classificação	EM	EAM	ETo (mm).ano ⁻¹
EToTca	0,20	0,21	0,04	Péssimo	-2,3	29,5	1306,8
EToTho	0,58	0,55	0,32	Péssimo	-7,7	24,8	1174,6
EToPMrse	0,13	0,16	0,02	Péssimo	2,9	32,5	1430,0
EToPMrso	0,25	0,27	0,07	Péssimo	7,6	33,1	1542,3
EToPM	0,20	0,22	0,04	Péssimo	2,9	31,7	1431,2
EToLis							1356,3

Todos os métodos, exceto o de Thornthwaite, superestimaram a EToLis nos períodos secos e subestimaram nos períodos chuvosos. As dificuldades na operação dos lisímetros em

períodos chuvosos, devido aos transbordamentos do percolado e em períodos secos e em manter o solo em capacidade campo, introduziram falhas nos dados observados.

Apesar da baixa correlação entre os dados, o valor anual de ETo medido pelo lisímetro aproximou-se dos valores obtidos por alguns métodos. Pelo método do Tanque Classe A obteve-se o valor de 1306,8 mm; pelo de Thornthwaite de 1174,6 mm; pelo método de Penman Monteith utilizando a radiação solar global estimada encontrou-se o valor de 1430 mm; por Penman Monteith utilizando a radiação solar global observada 1543,2 mm; pelo método de Penman Monteith utilizando todas as variáveis observadas 1431,2 mm e com os lisímetros encontrou-se o valor de 1356,3 mm.

Observa-se que os métodos que mais se aproximaram dos valores de EToLis foram o Tanque Classe A, subestimando a EToLis em 50,5 mm e Penman Monteith utilizando a radiação solar global estimada, superestimando a EToLis em 73,7 mm.

Entretanto, de acordo com Allen, Pruitt e Jensen (1991), deve-se haver boa concordância entre a estimativa de Penman Monteith e os valores encontrados pelo lisímetro. Caso não haja essa concordância, entende-se que há problemas no monitoramento dos lisímetros. Vale ressaltar que os dados meteorológicos podem acarretar a discordância entre os valores estimados e observados, devido a aparelhos mal calibrados, falhas na coleta de dados e a diferença, muitas vezes observada, entre dados obtidos pela estação convencional e pela estação automática.

5.1.5 Avaliação de outros métodos de estimativa de ETo

Devido ao fato dos valores de evapotranspiração lisimétrica terem apresentado baixos valores de correlação e desempenho com os outros métodos de estimativa de evapotranspiração, optou-se por fazer uma comparação entre os métodos utilizados e o método de Penman Monteith FAO 56. A equação de Penman Monteith é reconhecida pela FAO como o método padrão para estimativa da evapotranspiração de referência por levar em consideração todas as variáveis que afetam os processos físicos e aerodinâmicos relacionados à evapotranspiração.

Verificou-se que o método do Tanque Classe A apresentou ótimos índices estatísticos

tanto para o período mensal ($r = 0,96$; $d = 0,92$; $c = 0,89$) quanto para o quinzenal ($r = 0,95$; $d = 0,93$; $c = 0,89$) e pouco subestimou a EToPM (**Figuras 24 e 25**). Este é um bom resultado, já que o método do Tanque Classe A é um método mais simples para estimar a ETo por utilizar como variável a evaporação do tanque, a umidade relativa média e a temperatura média do ar.

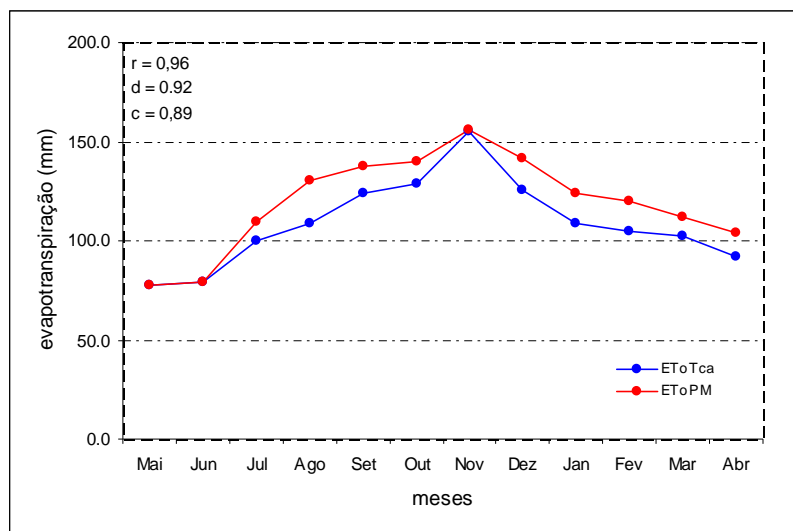


Figura 24 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToTca, em período mensal.

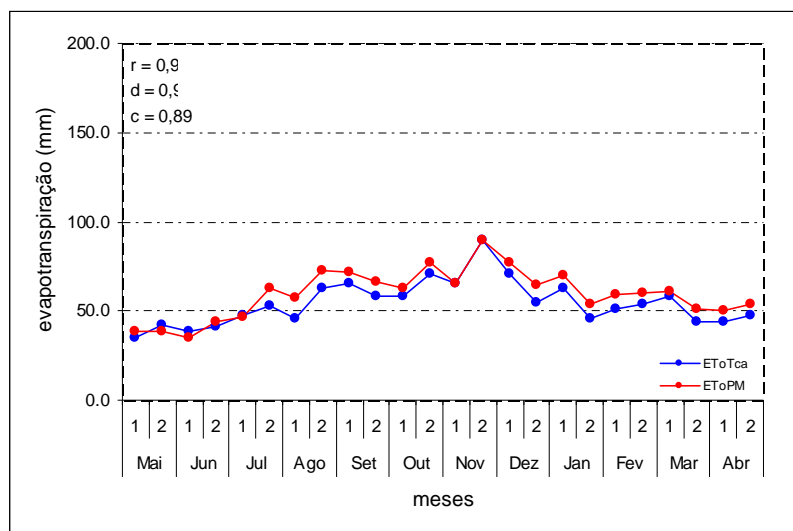


Figura 25 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToTca, em período quinzenal.

O método de Thornthwaite apresentou um desempenho “mau” ($c = 0,50$) e bons valores de correlação e exatidão ($r = 0,72$; $d = 0,69$). Observa-se na **Figura 26** que este

método subestima a EToPM em quase todos os meses. Em consonância com o comportamento dos outros métodos, a EToTho quinzenal apresentou valores mais baixos para os índices estatísticos ($r = 0,64$; $d = 0,66$; $c = 0,43$) como mostra a **Figura 27**.

Esse método quando comparado aos valores dos lisímetros apresentou os melhores valores de correlação, exatidão e desempenho, indicando problemas na operação dos lisímetros de drenagem.

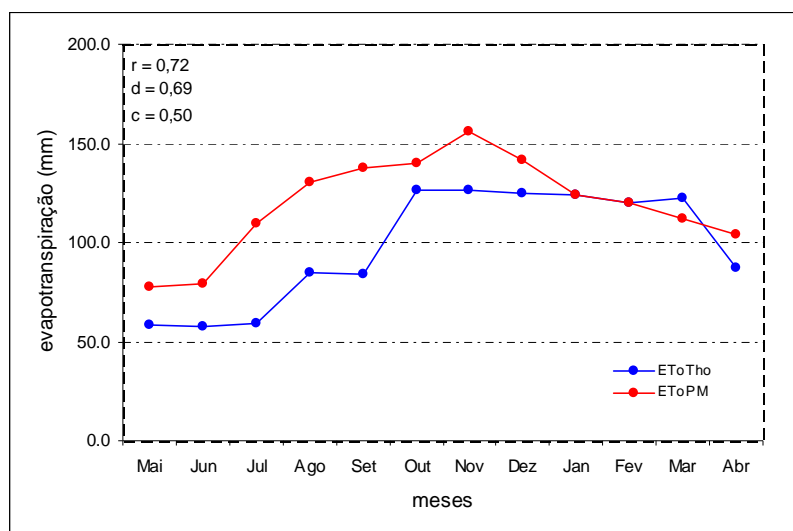


Figura 26 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToTho, em período mensal.

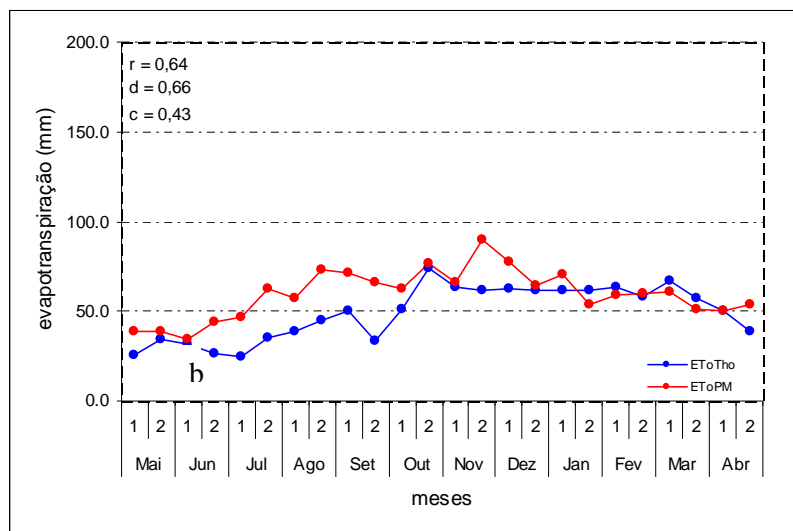


Figura 27 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToTho, em período quinzenal.

O método de Penman Monteith utilizando a radiação solar global estimada apresentou excelentes valores. Os índices de desempenho ($c = 0,96$; $c = 0,95$) para o período mensal e quinzenal, respectivamente foram classificados como “Muito Bom” segundo a classificação de Camargo e Sentelhas (1997). Assim como mostram as **Figuras 28 e 29**, há pouca subestimativa ou superestimativa da EToLis.

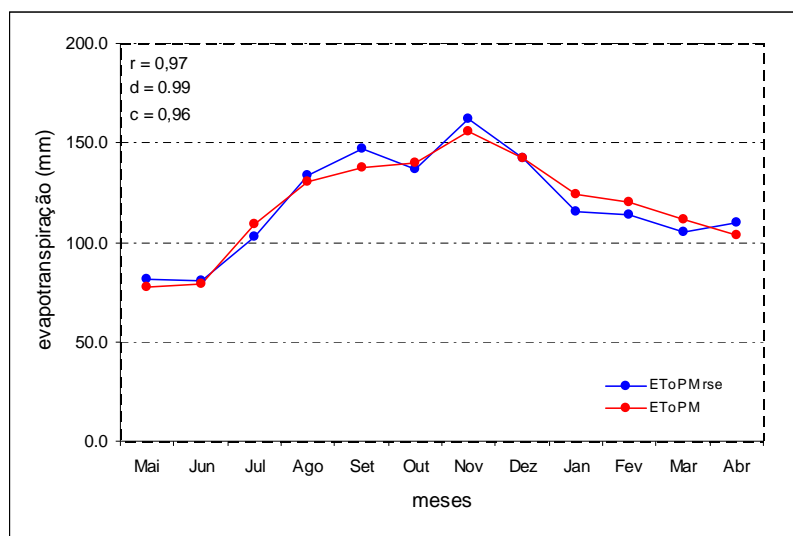


Figura 28 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToPMrse, em período mensal.

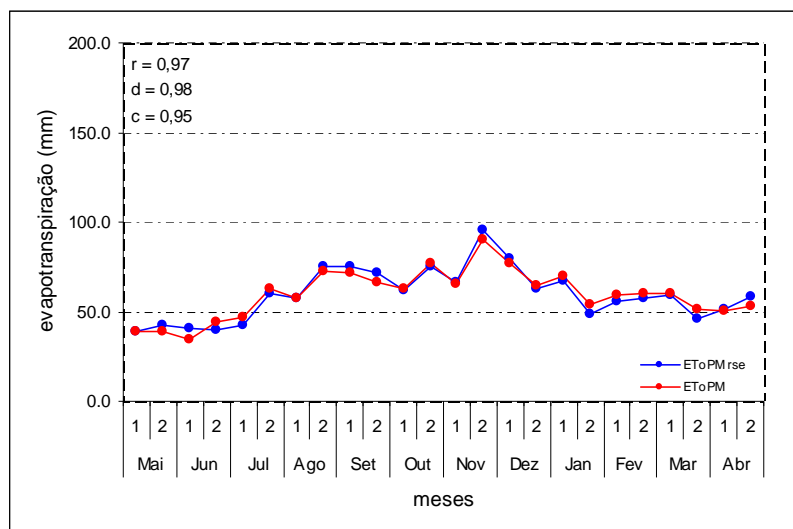


Figura 29 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToPMrse, em período quinzenal.

O método de Penman Monteith utilizando a radiação solar global observada também apresentou excelentes valores para o período mensal e quinzenal, com índice de desempenho “Muito Bom” ($c = 0,94$), correlação ($r = 0,98$) e exatidão ($d = 0,95$; $d = 0,96$). Pode-se verificar nas **Figuras 30 e 31** que os dados têm a mesma variação, com a pequena superestimativa da EToPMrso em todos os meses, exceto entre junho e julho quando as duas curvas se sobrepõem.

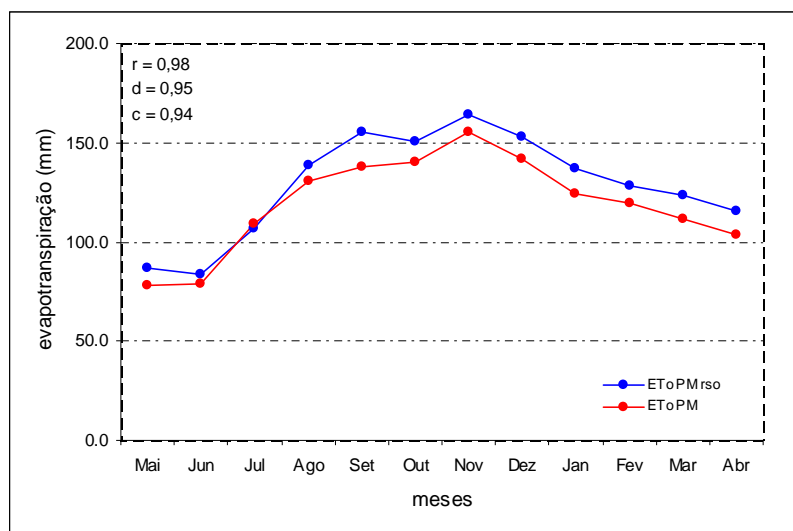


Figura 30 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToPMrso, em período mensal.

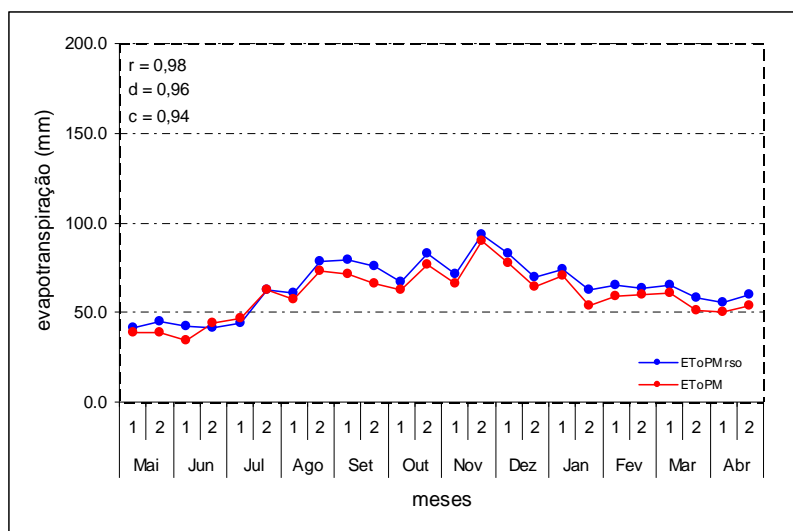


Figura 31 - Comparação dos valores de evapotranspiração de referência (mm) estimados por EToPM e EToPMrso, em período quinzenal.

Verificou-se uma ótima correlação entre os valores de EToPM e da ETo estimados por outras equações. As **Tabelas 8 e 9** apresentam os índices estatísticos que relacionam os dados de EToPM e as demais estimativas da ETo para o período mensal e quinzenal. As metodologias receberam classificação “ótimo” pelo índice *c* de Camargo, exceto a estimativa pelo método de Thornthwaite ($c = 0,50$; $c = 0,43$) que apresentou uma classificação “mau”.

Tabela 8 - Coeficiente de correlação (*r*), índice de concordância (*d*) e de desempenho (*c*), classificação segundo índice *c*, erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM), entre EToPM e demais estimativas de ETo, em período mensal.

Métodos	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	Classificação	EM	EAM	ETo (mm).ano ⁻¹
EToTca	0,96	0,92	0,89	Ótimo	-10,4	10,5	1306,8
EToTho	0,72	0,69	0,50	Mau	-21,4	23,2	1174,6
EToPMrse	0,97	0,99	0,96	Ótimo	-0,1	5,1	1430,0
EToPMrso	0,98	0,95	0,94	Ótimo	9,3	9,8	1542,3
EToPM							1431,2

Tabela 9 - Coeficiente de correlação (*r*), índice de concordância (*d*) e de desempenho (*c*), classificação segundo índice *c*, erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM), entre EToPM e demais estimativas de ETo, em período quinzenal.

Métodos	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	Classificação	EM	EAM	ETo (mm).ano ⁻¹
EToTca	0,95	0,93	0,89	Ótimo	-5,2	5,9	1306,8
EToTho	0,64	0,66	0,43	Mau	-10,6	12,6	1174,6
EToPMrse	0,97	0,98	0,95	Ótimo	0,0	3,0	1430,0
EToPMrso	0,98	0,96	0,94	Ótimo	4,7	5,1	1542,3
EToPM							1431,2

5.2 Evapotranspiração real (ETr)

5.2.1 Dados Lisimétricos

Nos meses de fevereiro, março e abril de 2009 também ocorreram falhas no monitoramento e conseqüentemente nos dados de ETrLis. Para preencher a falhas por transbordamento dos galões dos lisímetros realizou-se uma regressão linear entre os valores

de ETrLis e a precipitação para os períodos em que não houve falhas. Encontrou-se os seguintes valores de correlação ($r = 0,91$ e $1,0$ para período mensal e quinzenal respectivamente) entre a ETrLis e a precipitação (P). Porém melhores resultados ($r = 0,97$; $r = 1$ período mensal e quinzenal) foram encontrados entre a precipitação menos a drenagem (P - D) e a precipitação, justificando o uso dessa regressão para o preenchimento das falhas (**Figuras 32 e 33**).

Assim, estabeleceu-se uma regressão linear entre essas variáveis, resultando nas seguintes equações:

$$P - D = 0,7827(P) - 0,3124 \text{ (mensal)} \quad (58)$$

$$P - D = 0,765(P) + 0,7798 \text{ (quinzenal)} \quad (59)$$

respectivamente para o preenchimento mensal e para preenchimento quinzenal dos lisímetros não irrigados.

Após serem encontrados os valores de P-D para os meses em que ocorreram falhas no monitoramento do percolado, subtraiu-se dos valores de P-D os valores de armazenamento de água no solo para cada mês ou cada quinzena.

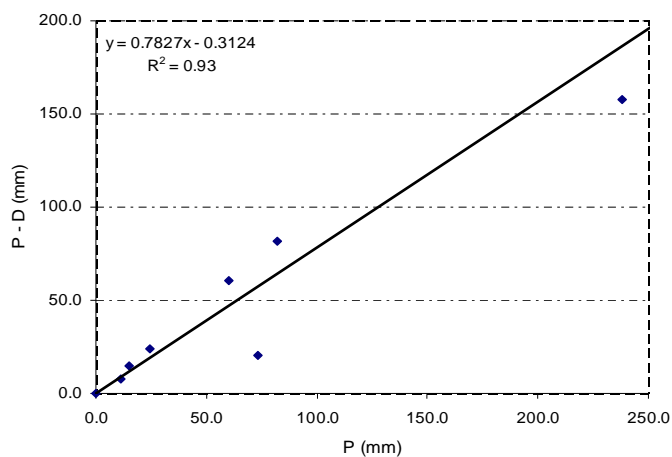


Figura 32 - Relação entre a precipitação menos a drenagem do lisímetro (P-D) e a precipitação (P), em período mensal.

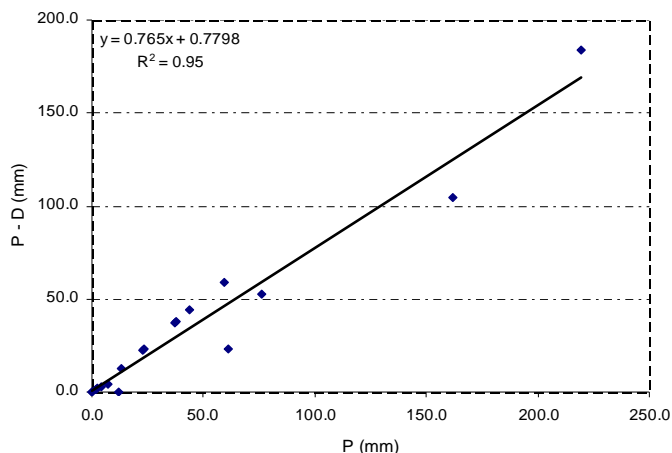


Figura 33 - Relação entre a precipitação menos a drenagem do lisímetro (P-D) e a precipitação (P), em período quinzenal.

Da mesma forma que para a evapotranspiração de referência (ET_o), os dados mensais medidos nos lisímetros operando em evapotranspiração real apresentaram-se melhores em comparação com aos dados quinzenais. Pode ser observado nos gráficos que mostram a distribuição da E_{Tr} no período quinzenal uma diferença visível entre uma quinzena e outra. Conforme já falado no tópico 5.1.1, houve uma diferença grande nos valores de precipitação entre as quinzenas do mês de dezembro (1^a 59,2 mm e a 2^a 219,7 mm), de fevereiro (1^a 171,6 mm e a 2^a 19 mm), de março (1^a 168,5 e a 2^a 49,4 mm) e de abril (1^a 70,8 mm e a 2^a 0 mm), fato que poderia explicar a variação entre uma quinzena e outra.

5.2.2 Análise dos dados meteorológicos

Realizou-se a correlação entre os dados de umidade relativa média, temperatura média e radiação solar com os dados de evapotranspiração real (**Figuras 34, 35 e 36**).

Com relação à umidade, todos os métodos apresentaram ótima correlação, exceto o Lisímetro (E_{TrLis}) ($r = 0,55$). O Tanque Classe A (E_{ToTca}) teve a melhor correlação ($r = 0,90$), seguido pelo método de Penman Monteith utilizando a radiação solar global observada ($r = 0,89$), Penman Monteith utilizando a radiação solar global estimada e Penman Monteith utilizando todas as variáveis observadas ($r = 0,88$) e Thornthwaite ($r = 0,86$).

Observa-se que a correlação entre a umidade relativa média e a evapotranspiração real possui um comportamento diferente em relação à evapotranspiração potencial que apresentou correlação negativa com a umidade. No caso da evapotranspiração potencial, a umidade do solo está em capacidade de campo e pouco sofre a influência da umidade relativa do ar. A evapotranspiração real é perda de água observada por evaporação e transpiração nas condições reais de campo (atmosféricas e de umidade do solo). Assim, quanto maior a umidade do solo, maior será a umidade relativa média do ar e, conseqüentemente, maior será a evapotranspiração real, pois a umidade do ar é proveniente da evapotranspiração. Vale ressaltar que isto acontece para as condições locais.

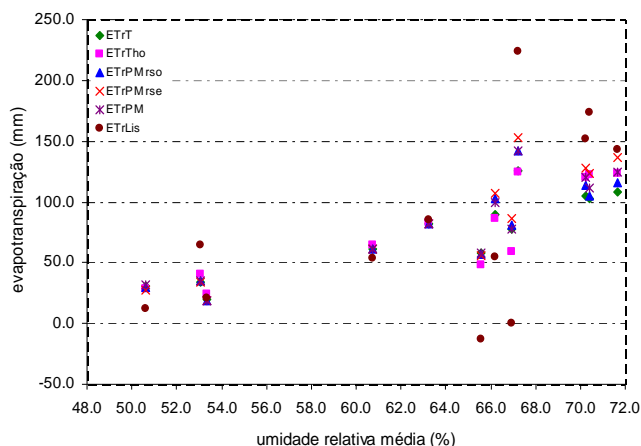


Figura 34 - Relação entre a evapotranspiração real medida e estimada e a umidade relativa média (URmédia), em período mensal.

Comparando os valores de temperatura média com os valores de evapotranspiração real, pode-se observar uma menor correlação. O método que apresentou maior correlação foi o Lisímetro ($r = 0,78$), seguido pelo de Thornthwaite ($r = 0,74$). Os métodos de Penman Monteith utilizando todas as variáveis observadas e do Tanque Classe A tiveram o mesmo nível de correlação ($r = 0,59$). A equação de Penman Monteith utilizando a radiação solar global estimada apresentou o menor valor ($r = 0,57$) precedido da equação utilizando a radiação solar global observada ($r = 0,58$).

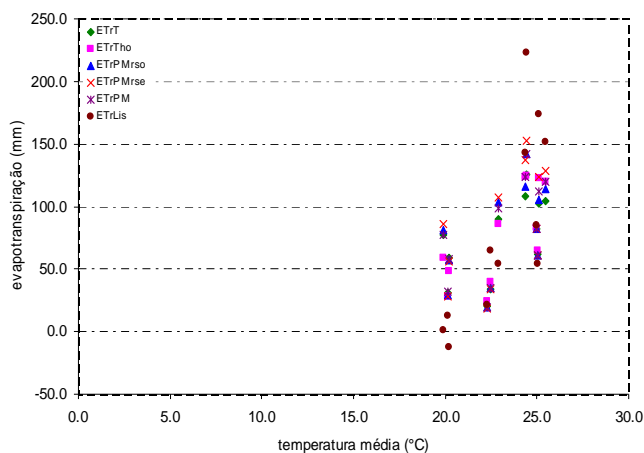


Figura 35 - Relação entre a evapotranspiração real medida e estimada e a temperatura média ($T_{média}$), em período mensal.

A correlação entre a radiação solar global observada e os métodos obteve valores muito baixos. O método que apresentou o melhor resultado foi o Lisímetro ($r = 0,41$). Thornthwaite ($r = 0,19$), Penman Monteith utilizando todas as variáveis observadas e Penman Monteith utilizando a radiação solar global estimada ($r = 0,12$), Penman Monteith utilizando a radiação solar global observada ($r = 0,11$) e Tanque Classe A ($r = 0,09$) tiveram valores próximos entre si e próximos a zero.

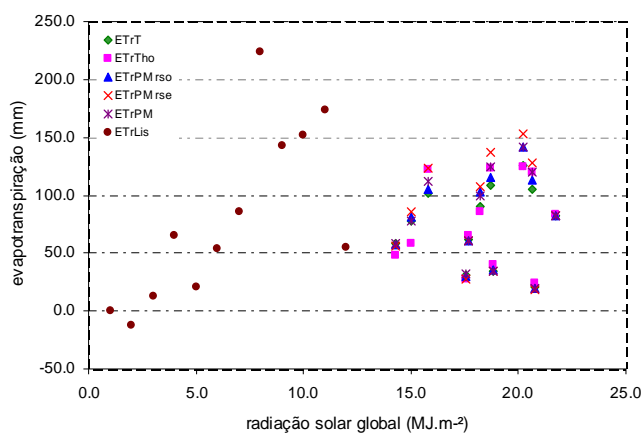


Figura 36- Relação entre a evapotranspiração real medida e estimada e a radiação solar global observada (R_{so}), em período mensal.

A **Tabela 10** apresenta os índices estatísticos que relacionam os dados de ETr estimados através do balanço hídrico e observado nos lisímetros e as variáveis climáticas

umidade relativa média, temperatura e radiação solar global observada em campo, para o período mensal.

Tabela 10 - Coeficiente de correlação (r) entre as estimativas de ETr e as variáveis climáticas umidade relativa média, temperatura e radiação solar global, em período mensal.

Métodos	Umidade	Temperatura	Radiação Solar Global
	r	r	r
ETrTca	0,9	0,59	0,09
ETrTho	0,86	0,74	0,19
ETrPMrse	0,88	0,57	0,12
ETrPMrso	0,89	0,58	0,11
ETrPM	0,88	0,59	0,12
ETrLis	0,55	0,78	0,41

5.2.3 Comparação entre a evapotranspiração real medida e estimada

De acordo com a **Figura 37a**, verifica-se que os valores de ETr obtidos pelo método do Tanque Classe A utilizando a CAD = 100 mm subestimam a ETrLis, no período chuvoso.

Esse método apresentou um “sofrível” desempenho ($c = 0,58$) de acordo com a classificação de Camargo e Sentelhas (1997) e bons valores de correlação e exatidão ($r = 0,79$; $d = 0,74$). Os índices estatísticos foram menores ($r = 0,60$; $d = 0,55$ e $c = 0,33$) para o período quinzenal (**Figura 38a**).

Utilizando o valor da CAD calculada em função das propriedades físicas do solo local, observaram-se melhores resultados tanto para período mensal ($r = 0,82$; $d = 0,81$ e $c = 0,66$) quanto para período quinzenal ($r = 0,70$; $d = 0,66$ e $c = 0,46$) e uma menor superestimativa da ETrLis entre os meses de maio, junho e julho (**Figura 38b**).

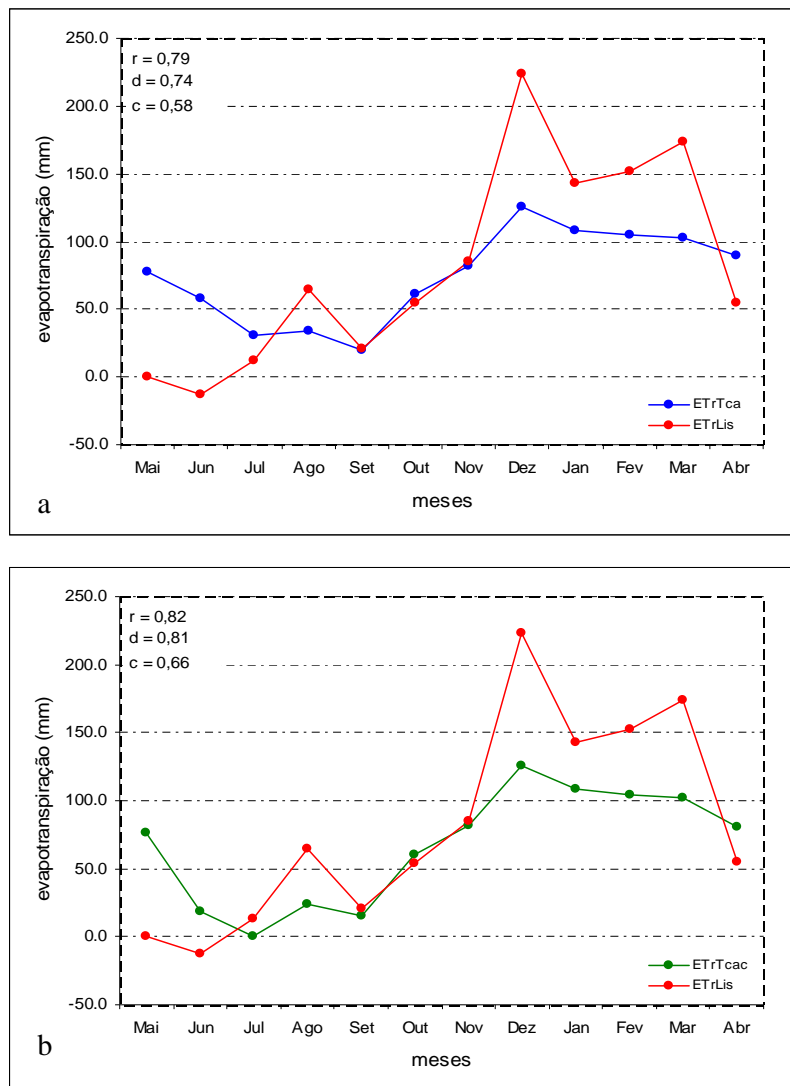


Figura 37 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrTca, ETrTcac e medido por ETrLis, em período mensal.

Observa-se uma grande variação entre a primeira e segunda quinzena do mês de dezembro, janeiro, fevereiro e março. Conforme exposto anteriormente, houve uma diferença grande nos valores de precipitação entre as quinzenas do mês de dezembro (1ª 59,2 mm e a 2ª 219,7 mm), de fevereiro (1ª 171,6 mm e a 2ª 19 mm), de março (1ª 168,5 e a 2ª 49,4 mm) e de abril (1ª 70,8 mm e a 2ª 0 mm). Ocorreram ainda os transbordamentos nos meses de fevereiro, março e abril, fato este que pode ter embutido erro na estimativa da ETr.

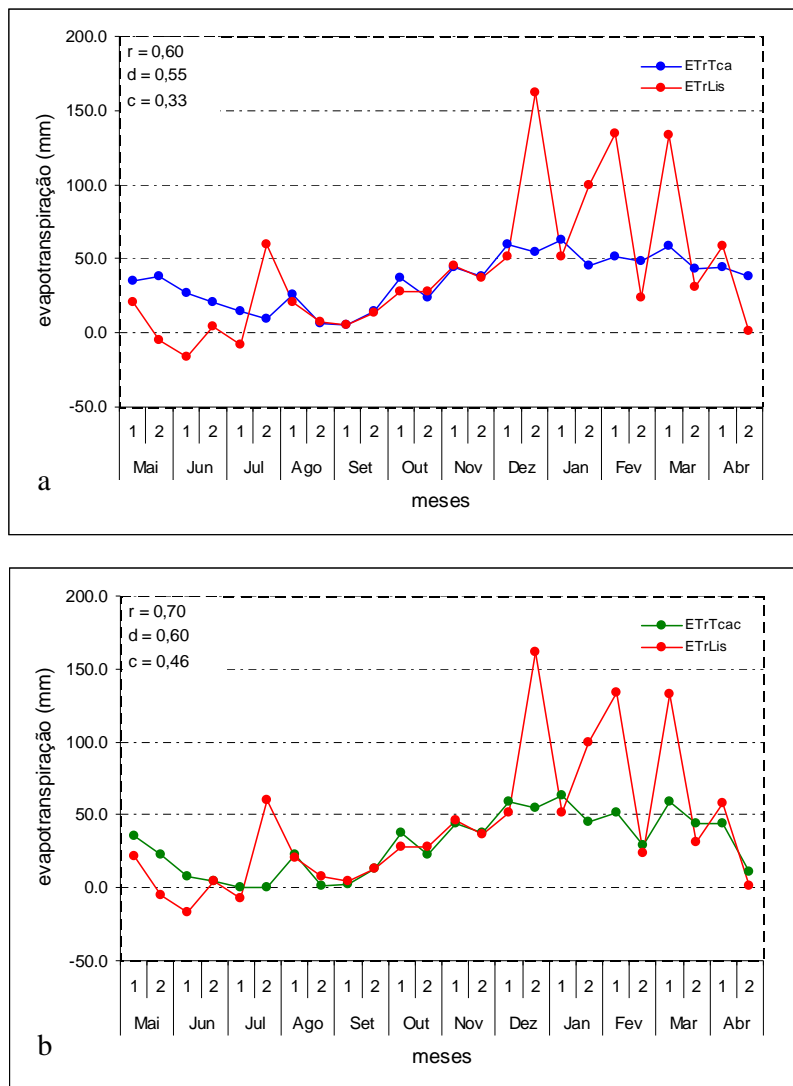


Figura 38 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETRTca, ETRTcac e medido por ETRLis, em período quinzenal.

A correlação entre a ETRLis e a evapotranspiração real obtida pelo balanço hídrico empregando a equação de Thornthwaite para cálculo da ETo apresentou melhor valor em comparação com a ETRT ($r = 0,88$; $d = 0,64$; $c = 0,56$ para período mensal e $r = 0,73$; $d = 0,68$; $c = 0,50$ para período quinzenal) como mostram as **Figuras 39a** e **40a**. Da mesma forma que para a ETRT, quando utilizou-se a CAD calculada, os índices estatísticos indicaram uma maior correlação ($r = 0,87$; $d = 0,87$; $c = 0,76$ para período mensal e $r = 0,77$; $d = 0,75$; $c = 0,57$ para período quinzenal) como mostram as **Figuras 39b** e **40b**.

Observa-se na **Figura 40** que houve menor superestimativa da ETRLis entre os meses de maio a outubro no período quinzenal.

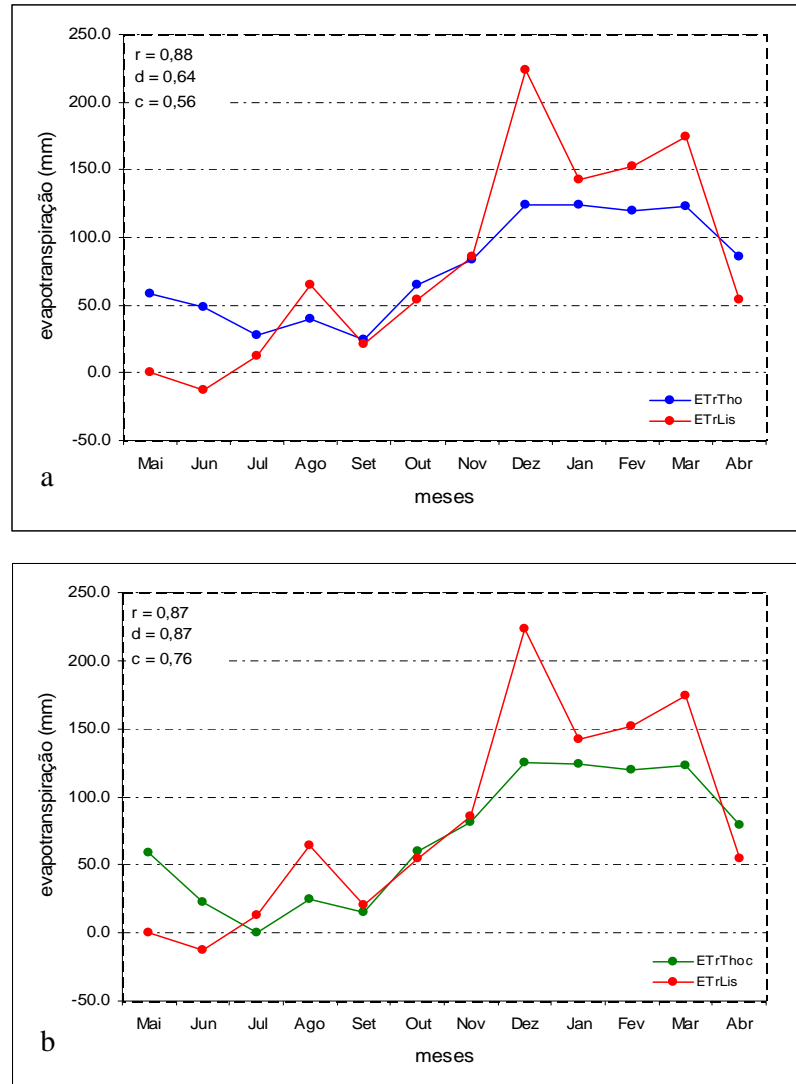


Figura 39 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrTho e medido por ETrLis, em período mensal.

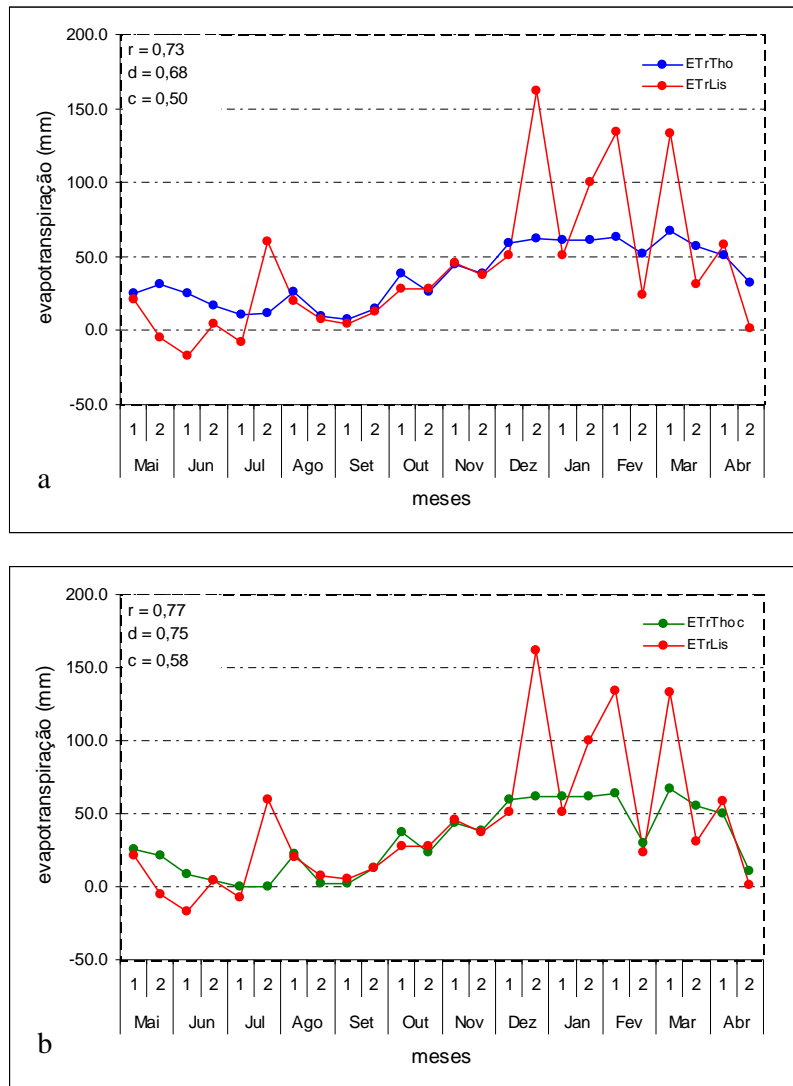


Figura 40 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrTho e medido por ETrLis, em período quinzenal.

Os índices de desempenho ($c = 0,43$ e $c = 0,37$ respectivamente para o período mensal e quinzenal) obtidos pelo método de Penman Monteith utilizando a radiação solar global estimada foram classificados como “mau” segundo a classificação de Camargo (CAMARGO; SENTELHAS, 1997) (**Figuras 41a e 42a**).

Quando se utilizou a CAD calculada, houve uma melhoria perceptível nos índices estatísticos, principalmente para o período mensal ($r = 0,84$; $d = 0,85$ e $c = 0,72$). O índice de desempenho passou de “mau” para “bom”. Houve melhorias também para o período quinzenal com $r = 0,72$; $d = 0,70$ e $c = 0,51$ (**Figuras 41b e 42b**).

Vale ressaltar que todos os valores de ETr obtidos pelo balanço hídrico climatológico,

seja utilizando a CAD calculada (11,1 mm) ou a CAD = 100mm superestimam a ETrLis no período seco e subestimam no período chuvoso.

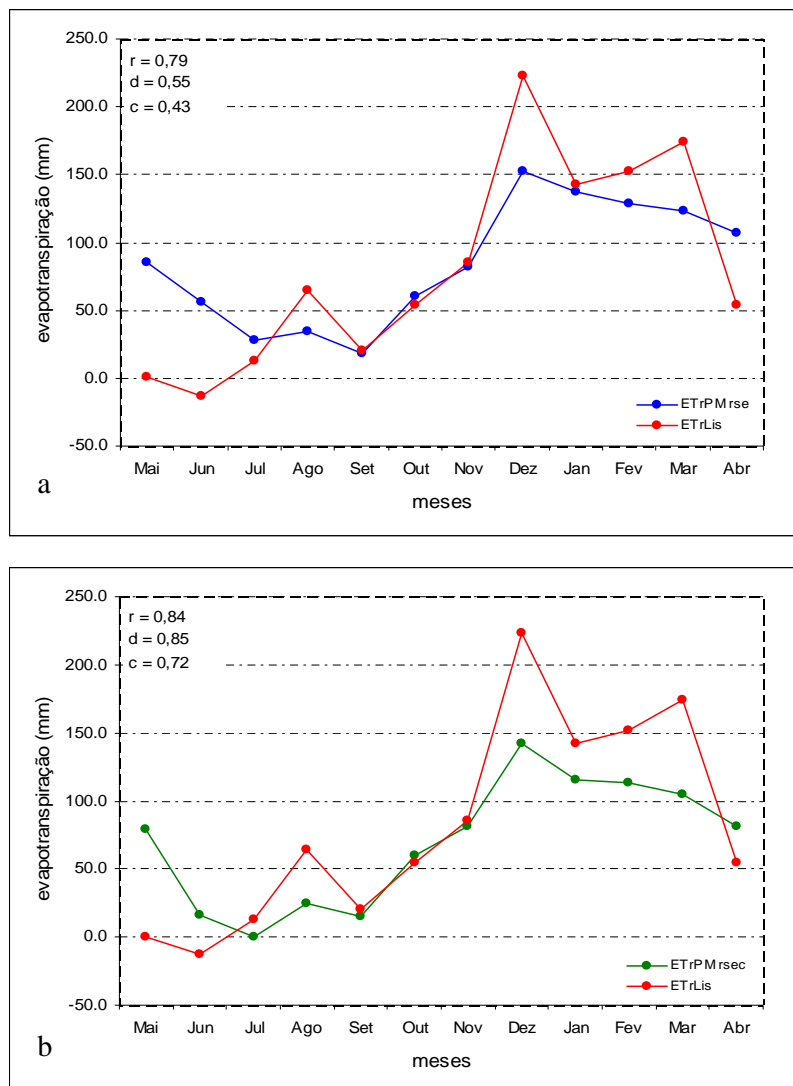


Figura 41 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrPMrse e medido por ETrLis, em período mensal.

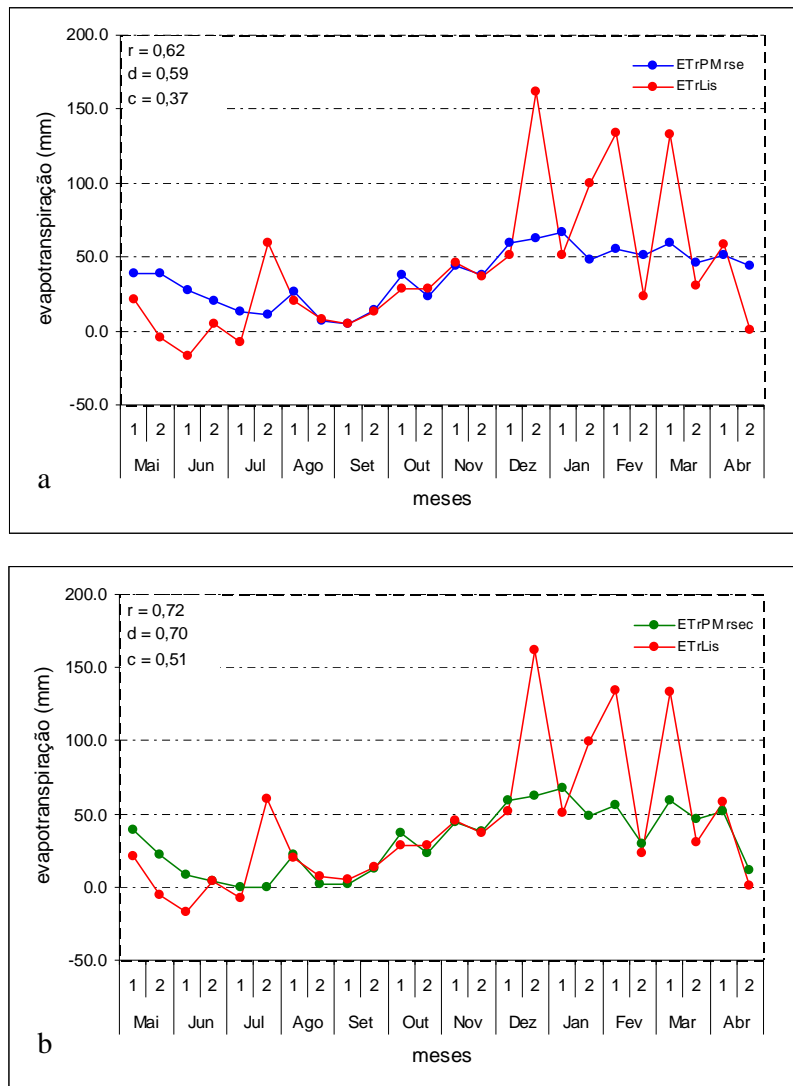


Figura 42 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrPMrse e medido por ETrLis, em período quinzenal.

O balanço hídrico com base em Penman Monteith utilizando a radiação solar global observada apresentou boa correlação ($r = 0,82$) com a ETrLis para o período mensal. Os índices de desempenho iguais a 0,51 e 0,44 respectivamente para os períodos mensal e quinzenal foram classificados como “sofrível” segundo a classificação de Camargo e Sentelhas (1997) como pode se observar nas **Figuras 43a e 44a**.

Em consonância com os outros métodos, quando se utilizou a CAD calculada, houve uma boa melhora nos índices, principalmente para o período mensal ($r = 0,87$; $d = 0,89$ e $c = 0,77$). O índice de desempenho passou de “mau” para “muito bom”, sendo este método o que apresentou o melhor valor de desempenho com a ETrLis. Houve melhorias também para o

período quinzenal ($r = 0,75$; $d = 0,76$ e $c = 0,57$) (Figuras 43b e 44b).

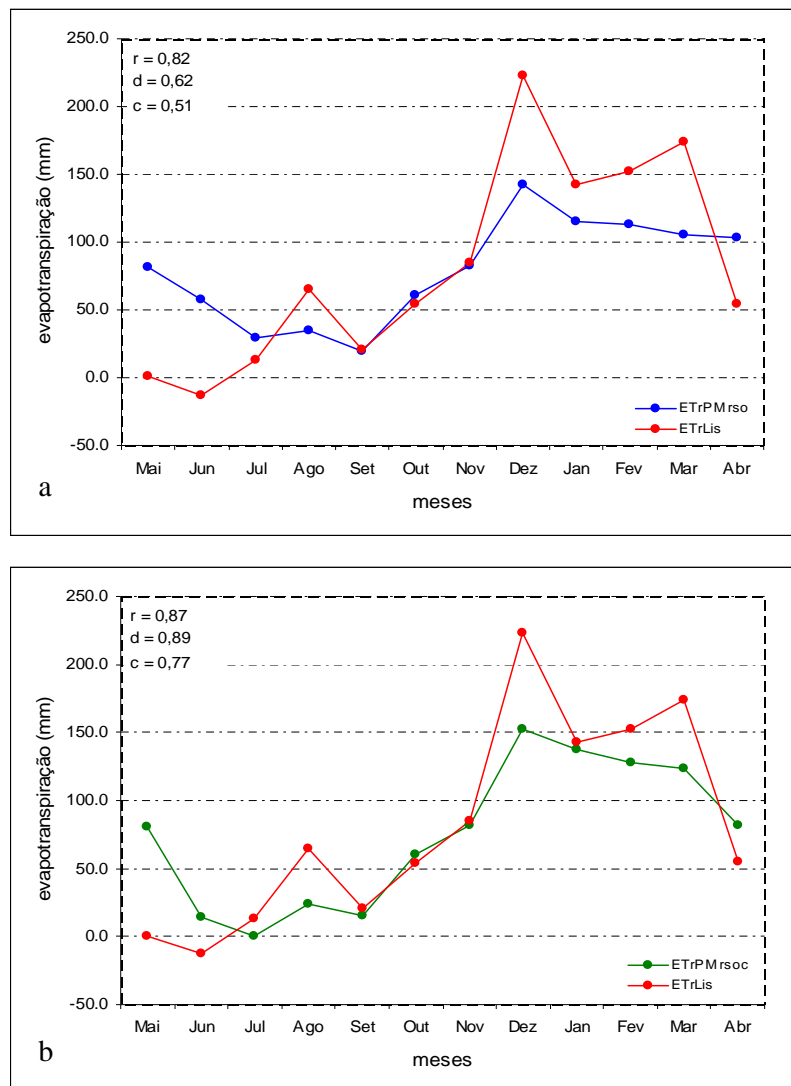


Figura 43 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrPMrso e medido por ETrLis, em período mensal.

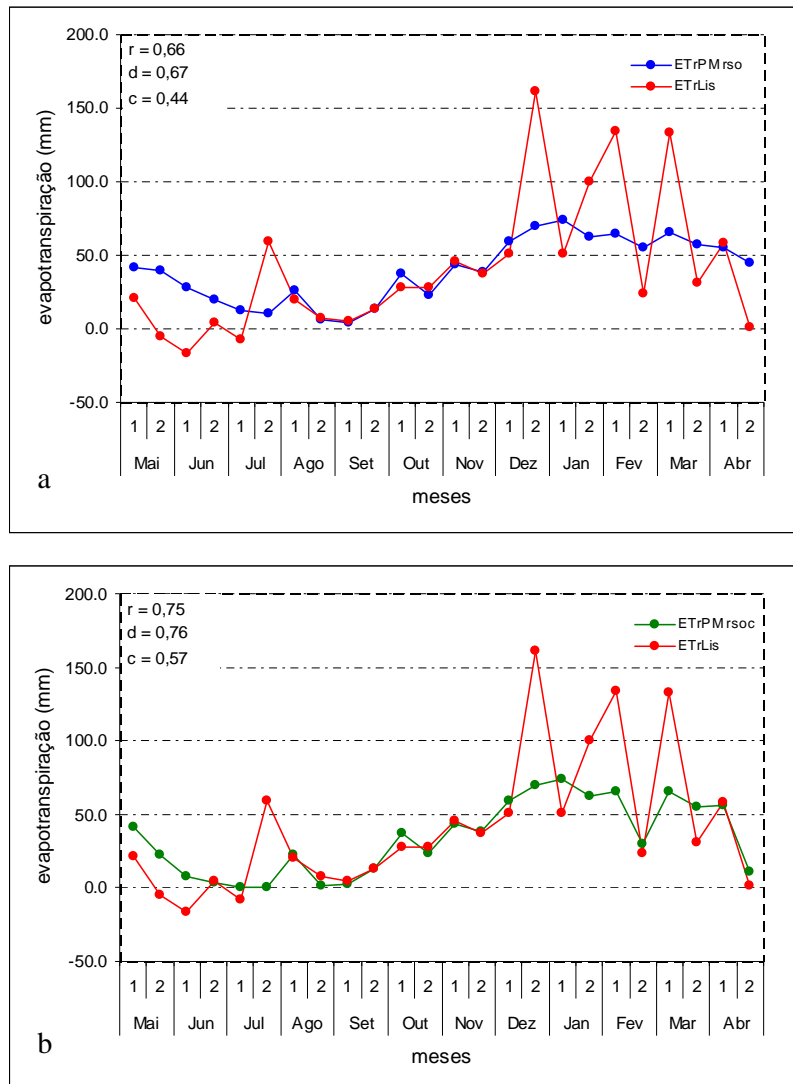


Figura 44 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrPMrso e medido por ETrLis, em período quinzenal.

O balanço hídrico com base em Penman Monteith utilizando todas as variáveis observadas apresentou boa correlação ($r = 0,82$; $r = 0,65$ para período mensal e quinzenal), valores medianos de exatidão ($d = 0,58$; $d = 0,63$ para período mensal e quinzenal) e desempenho “sofrível” ($c = 0,48$; $c = 0,41$), de acordo com a classificação de Camargo e Sentelhas (1997), conforme apresentado nas **Figuras 45a e 46a**.

Conforme verificado para todos os métodos, este método também apresentou índices melhores quando se utilizou a CAD calculada através dos parâmetros físicos do solo ($r = 0,85$; $d = 0,87$; $c = 0,74$ para período mensal e $r = 0,73$; $d = 0,72$; $c = 0,53$ para período quinzenal), (**Figuras 45b e 46b**).

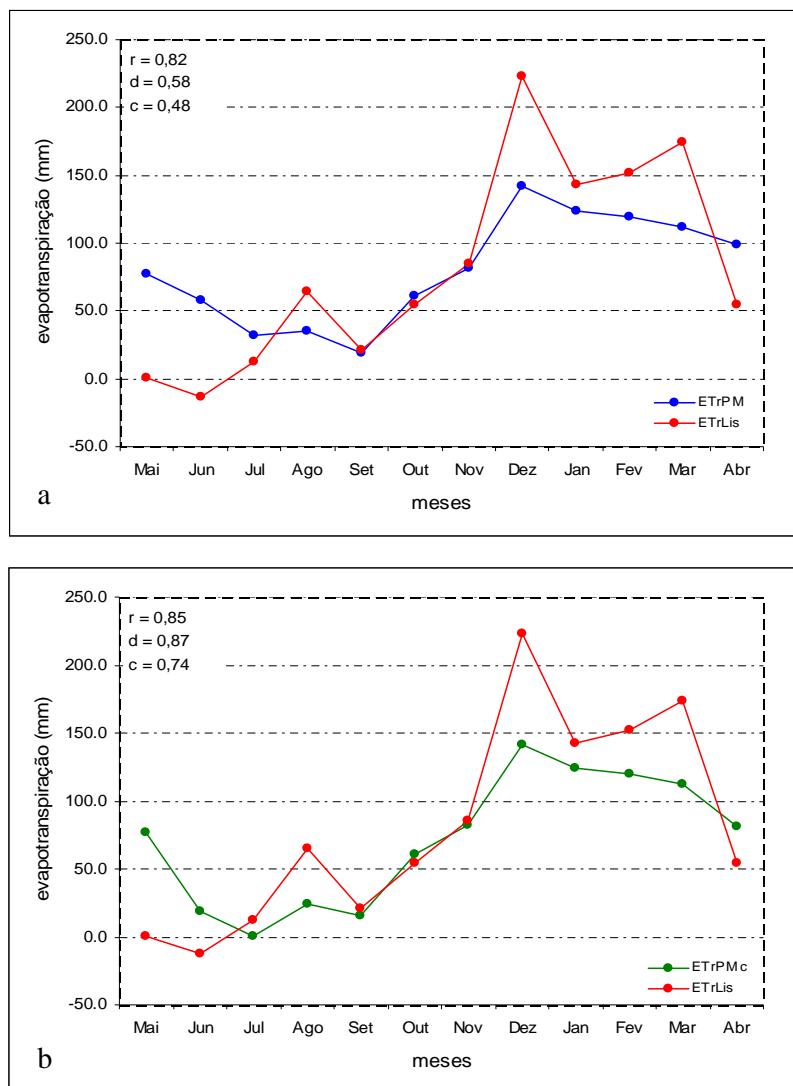


Figura 45 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrPM e medido por ETrLis, em período mensal.

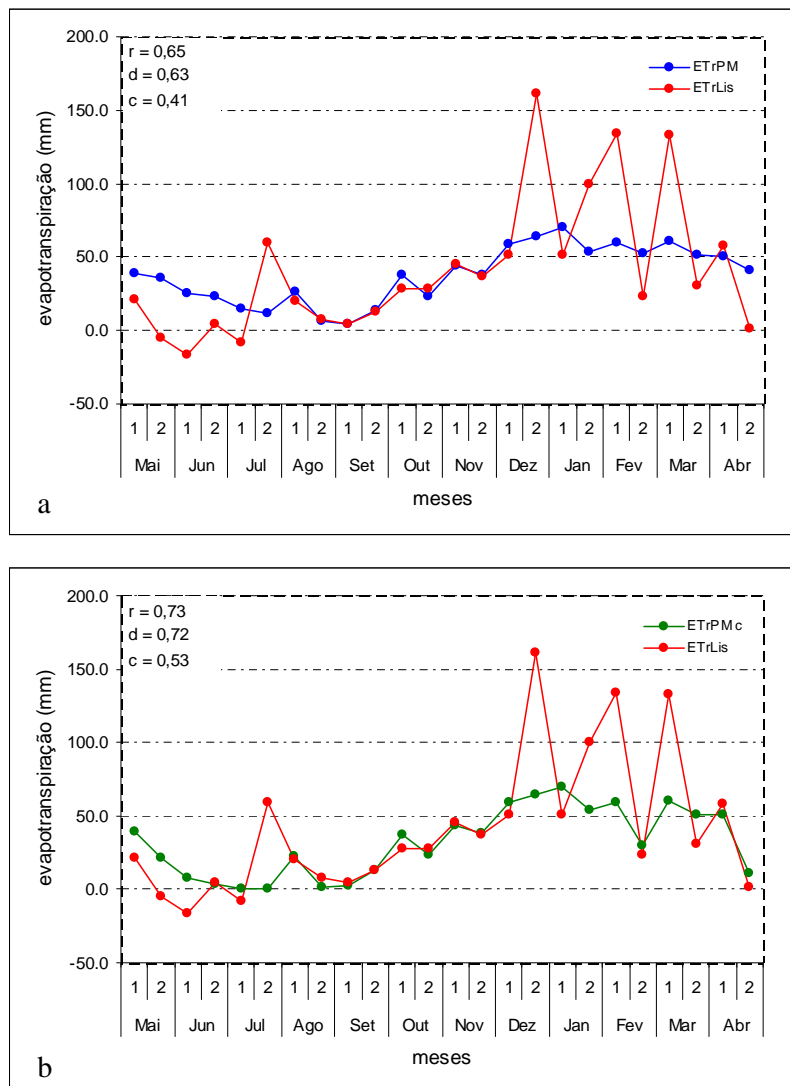


Figura 46 - Comparação dos valores de evapotranspiração real (mm) estimados por ETrPM e medido por ETrLis, em período quinzenal.

De maneira geral, os valores de ETr estimados pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather superestimaram a ETrLis no período seco, subestimaram no período chuvoso e apresentaram boa concordância entre os meses de setembro a novembro.

Verificou-se uma correlação variada entre os valores de ETr medidos pelos lisímetros e estimados pelas equações. As **Tabelas 11** e **12** apresentam os índices estatísticos que relacionam os dados de ETrLis e as demais estimativas da ETr para o período mensal e quinzenal. As metodologias receberam classificação desde “mau” a “muito bom” pelo índice *c* de Camargo para o período mensal e classificação “péssimo” a “sofável” para o período

quinzenal.

Observa-se que o desempenho foi melhor quando se utilizou a CAD calculada por meio dos parâmetros físicos do solo.

Vale ressaltar que a ETrLis foi adotada como a medida padrão de evapotranspiração real, porém apresentou erros devido as falhas que ocorreram no manejo dos lisímetros.

Tabela 11 - Coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e de desempenho (c), classificação segundo índice c, erro máximo (EM), erro absoluto médio (EAM), entre ETrLis e demais estimativas de ETr (utilizando CAD = 100 mm e CAD calculada), em período mensal.

Métodos	r	d	c	Classificação	EM	EAM	ETr (mm).ano⁻¹
ETrTca	0,79	0,74	0,58	Sufrível	-6,4	41,2	896,0
ETrTcac	0,82	0,81	0,66	Bom	-14,5	37,7	797,9
ETrTho	0,88	0,64	0,56	Sufrível	-3,9	34,0	925,0
ETrThoc	0,87	0,87	0,76	Muito Bom	-11,6	32,3	832,5
ETrPMrse	0,79	0,55	0,43	Mau	-2,3	39,4	945,0
ETrPMrsec	0,84	0,85	0,72	Bom	-11,5	34,9	834,7
ETrPMrso	0,82	0,62	0,51	Sufrível	3,5	34,6	1014,1
ETrPMrsoc	0,87	0,89	0,77	Muito Bom	-6,0	29,5	899,9
ETrPM	0,82	0,58	0,48	Mau	-0,8	37,4	962,1
ETrPMc	0,85	0,87	0,74	Bom	-9,7	33,1	855,7
ETrLis							972,3

Tabela 12 - Coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e de desempenho (c), classificação segundo índice c, erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM), entre ETrLis e demais estimativas de ETr (utilizando CAD = 100 mm e CAD calculada), em período quinzenal.

Métodos	r	d	c	Classificação	EM	EAM	ETr (mm).ano⁻¹
ETrTca	0,60	0,55	0,33	Péssimo	-5,9	-5,9	845,2
ETrTcac	0,70	0,60	0,46	Mau	-11,5	-22,5	710,8
ETrTho	0,73	0,68	0,50	Mau	-3,9	-3,9	893,5
ETrThoc	0,77	0,75	0,58	Sufrível	-9,4	20,4	761,7
ETrPMrse	0,62	0,59	0,37	Péssimo	-4,1	-4,1	888,6
ETrPMrsec	0,72	0,70	0,51	Sufrível	-10,1	22,0	745,0
ETrPMrso	0,66	0,67	0,44	Mau	-1,3	-1,3	955,7
ETrPMrsoc	0,75	0,76	0,57	Sufrível	-7,6	21,1	805,5
ETrPM	0,65	0,63	0,41	Mau	-3,3	-3,3	907,1
ETrPMc	0,73	0,72	0,53	Sufrível	-9,3	21,8	764,6
ETrLis							987,2

Os valores anuais de ETr encontrados foram aproximados. Os valores mais próximos da ETrLis foram obtidos pelo balanço hídrico utilizando a CAD igual a 100 mm. Quando utilizou-se a CAD calculada, os valores de ETr subestimaram ainda mais a ETrLis.

Observa-se que o balanço hídrico que mais se aproximou dos valores de ETrLis, para o período mensal, foi o que empregou a equação de Penman Monteith utilizando todas as variáveis observadas e CAD = 100 mm. Apesar deste método ter sido classificado como “mau”, segundo a classificação de Camargo e Sentelhas (1997), este subestimou a ETrLis em 10 mm.

5.3 Variação de umidade no solo

Verifica-se na **Figura 47** que houve uma queda nos valores de umidade para os lisímetros não irrigados e irrigados esporadicamente, entre os meses de julho e novembro.

Houve um aumento da umidade nos lisímetros não irrigados entre maio e junho. Isto pode ter ocorrido devido às duas irrigações realizadas erroneamente nos meses de maio.

Não haviam tensiômetros instalados nos lisímetros operando em evapotranspiração potencial. Sendo assim, adotou-se que estes lisímetros operavam em capacidade de campo ($0,275 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$) e, devido a este fato, não houve variação de umidade ao longo do ano.

Observa-se que a umidade chegou ao valor de $0,15 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$. De acordo com os dados fornecidos pelo Departamento de Solos da UNESP de Jaboticabal, a umidade de ponto de murcha permanente do solo é de $0,201 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$. Abaixo do ponto de murcha permanente do solo, a água retida no solo é conhecida como água higroscópica, ou seja, a água que não está disponível para plantas. Ocorreram falhas nas leituras dos tensiômetros no mês de junho, devido ao entupimento da agulha do leitor digital. De acordo com Reichardt (1988), nos solos característicos das regiões tropicais e úmidas, o critério clássico, que fixa o potencial matricial da capacidade de campo em -33 kPa, deve ser alterado para potenciais maiores, da ordem de -10 a -6 kPa. Pode-se observar no Apêndice AA que houve algumas leituras dos tensiômetros abaixo do valor de -6 kPa. Pode ainda ter ocorrido falhas na determinação da umidade de capacidade de campo e de ponto de murcha permanente do solo, já que os valores fornecidos caracterizam solos mais arenosos e o solo da Estação Agroclimatológica é caracterizado como Latossolo Vermelho-Escuro, distrófico, A moderado e textura argilosa.

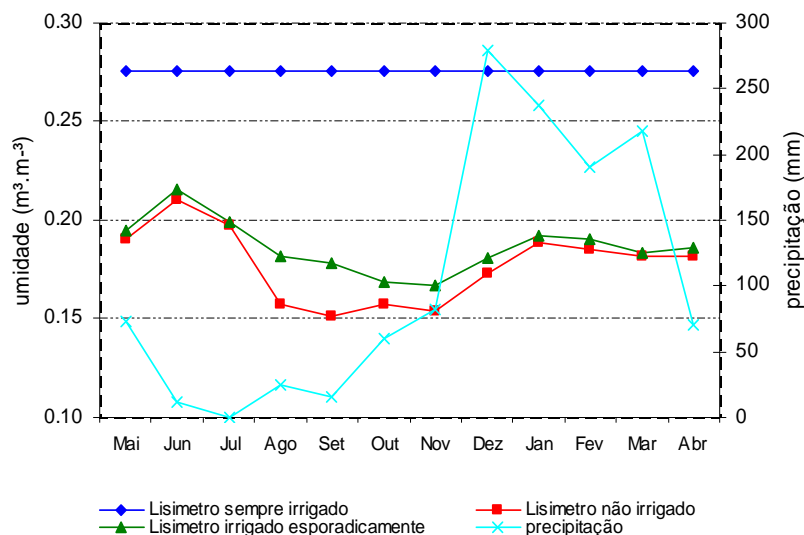


Figura 47 - Variação da umidade média dos perfis ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) para os lisímetros sempre irrigados, irrigados esporadicamente e não irrigados.

Observa-se na **Figura 48** a variação da umidade para cada camada de solo analisada. A umidade entre 0 e 25 cm tem uma queda maior no período seco e uma resposta mais rápida no início das chuvas. Entre os meses de setembro a novembro, as camadas abaixo de 25 cm chegaram ao valor mais baixo de umidade e nota-se um aumento de umidade apenas para a camada superficial. Entre os meses de janeiro e abril, a umidade tende a ser homogênea entre todas as camadas, devido ao período de chuva.

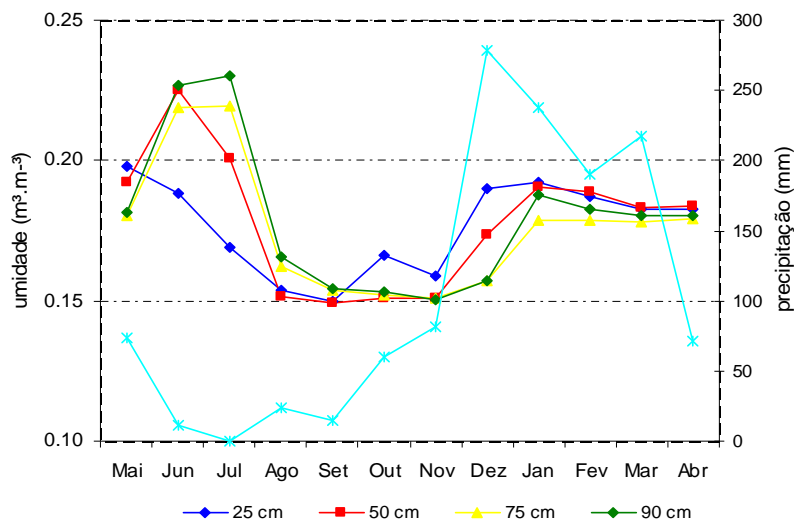


Figura 48 - Variação da umidade ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) das quatro camadas analisadas para os lisímetros não irrigados.

Verifica-se uma variação diferente da umidade para os lisímetros que receberam algumas irrigações (**Figura 49**). A umidade no período seco, para todas as camadas, ficou acima do valor crítico de $0,15 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ e foi maior que a umidade verificada para os lisímetros não irrigados.

Ocorreu uma queda maior na umidade na faixa de 0 a 25 cm entre os meses de maio e junho, em consonância com o observado na **Figura 48**, porém entre os meses de agosto a novembro, a variação da umidade foi semelhante para todas as camadas, não ocorrendo uma resposta mais rápida da camada superficial (0 a 25 cm).

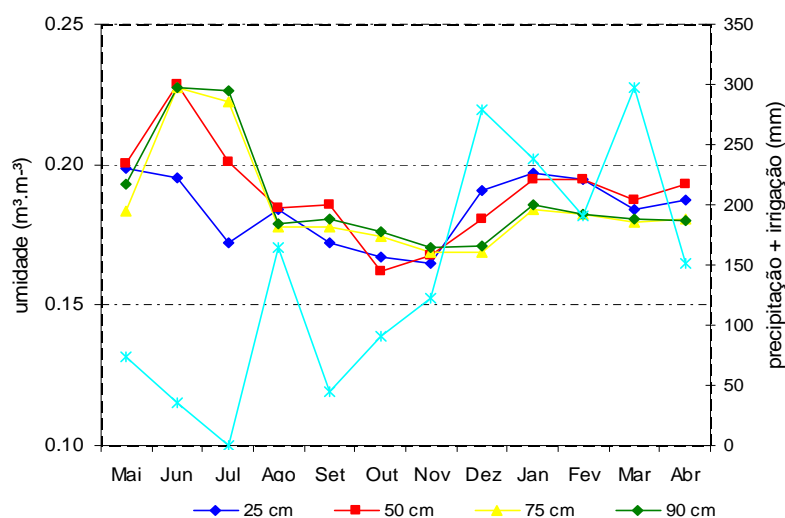


Figura 49 - Variação da umidade ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) das quatro camadas analisadas para os lisímetros irrigados esporadicamente.

5.4 Variação de umidade no solo x evapotranspiração

Por meio dos lisímetros mediu-se a evapotranspiração de referência (ET_{oLis}), a evapotranspiração real (ET_{rLis}) e uma evapotranspiração obtida através dos lisímetros irrigados esporadicamente (ET_{riLis}) para aqueles lisímetros que não trabalhavam em capacidade de campo, mas que receberam algumas irrigações.

Observou-se uma variação distinta da umidade do solo para cada manejo dos lisímetros (em capacidade de campo, esporadicamente irrigados e não irrigados). Verifica-se na **Figura 50** que ocorreu um comportamento distinto para as evapotranspirações. Apesar da

EToLis apresentar o maior valor 1356,3 mm; as evapotranspirações real (972,3 mm) e a evapotranspiração obtida através dos lisímetros irrigados esporadicamente (1347,6 mm) superaram a EToLis no mês de agosto e no período chuvoso. Resultado semelhante foi verificado para o período quinzenal (**Figura 51**).

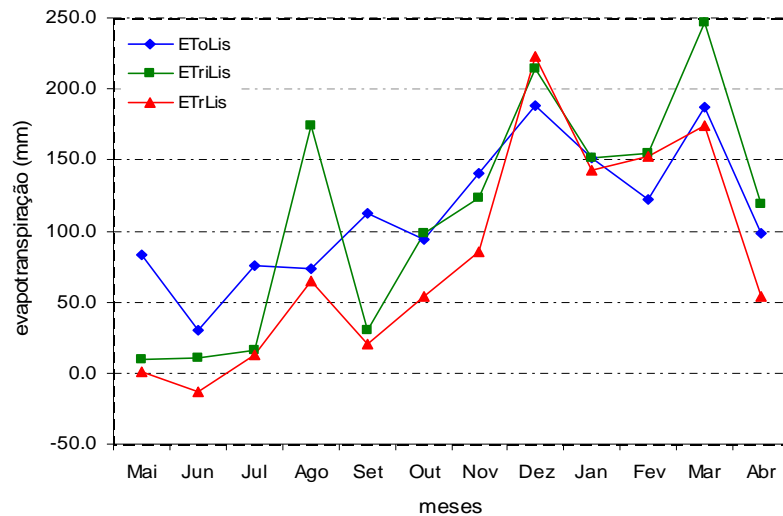


Figura 50 - Evapotranspiração potencial, real e evapotranspiração obtida através dos lisímetros irrigados esporadicamente, em milímetros, para o período mensal medidas através de lisímetros.

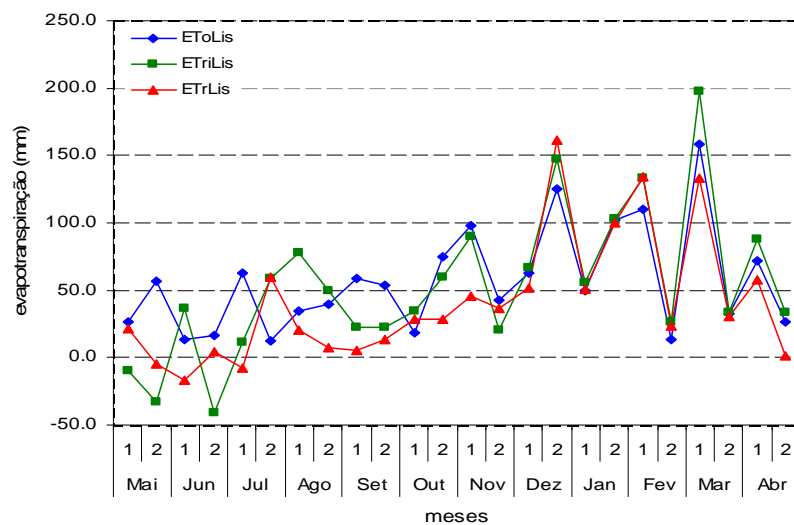


Figura 51 - Evapotranspiração de referência, real e evapotranspiração obtida através dos lisímetros irrigados esporadicamente, em milímetros, para o período quinzenal medidas através de lisímetros.

Esses valores demonstram que houve alguma deficiência no manejo dos lisímetros ou na leitura dos tensiômetros, já que a evapotranspiração real nunca pode exceder a evapotranspiração potencial, exceto para uma condição de oásis, ou seja, quando a quantidade de água utilizada por uma pequena área vegetada irrigada é circundada por uma extensa área seca.

No mês de agosto houve uma irrigação menor para os lisímetros operando em capacidade de campo (90 litros), em comparação com a irrigação realizada nos lisímetros irrigados esporadicamente (140 litros), o que explica o maior valor da evapotranspiração obtida através dos lisímetros irrigados esporadicamente. Este fato pode comprovar que há aumento da evapotranspiração com a entrada de água no sistema (**Figura 52, 53 e 54**).

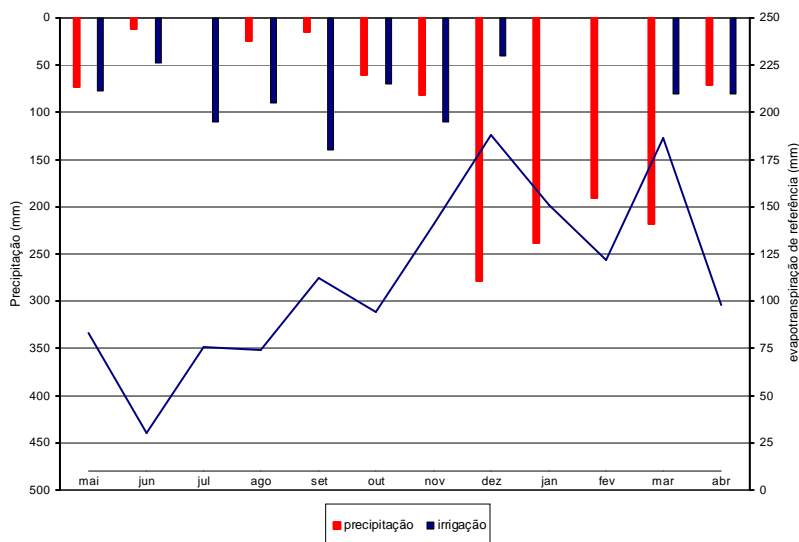


Figura 52 - Evapotranspiração de referência, precipitação e irrigação, em milímetros, para o período mensal.

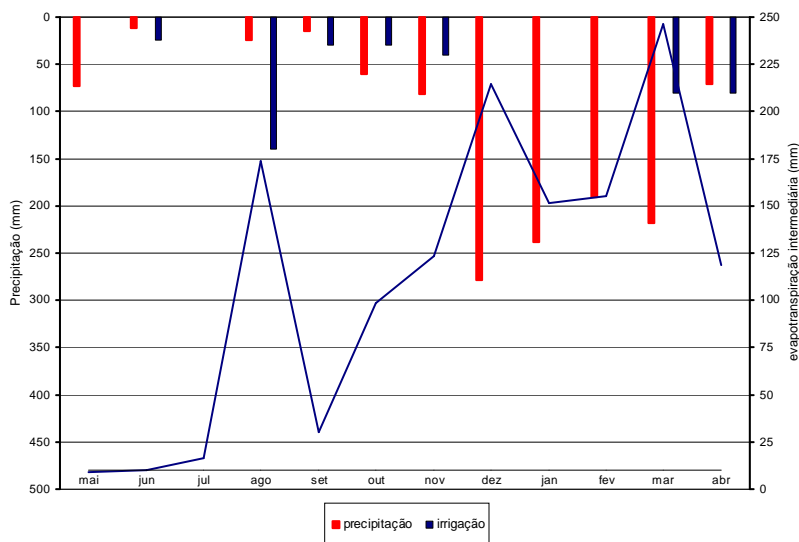


Figura 53 - Evapotranspiração obtida pelos lisímetros irrigados esporadicamente, precipitação e irrigação, em milímetros, para o período mensal.

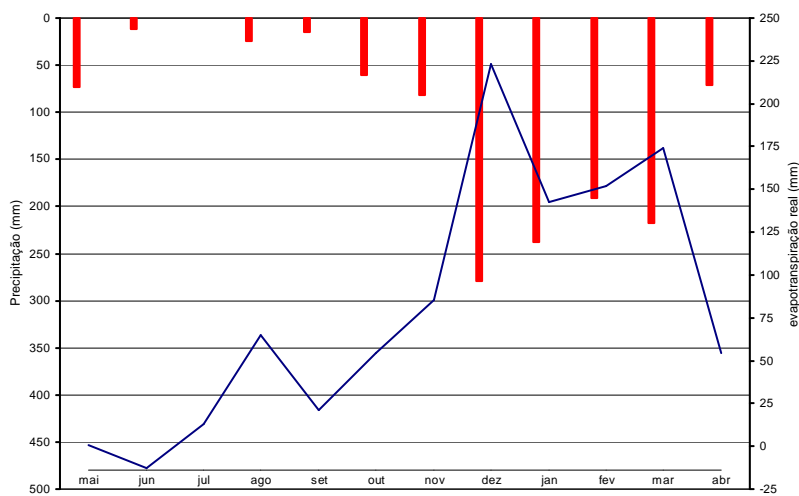


Figura 54 - Evapotranspiração real e precipitação, em milímetros, para o período mensal.

Para verificar se as falhas eram provenientes das leituras dos tensiômetros, comparou-se a $ET_{O\text{Lis}}$ com a precipitação – drenagem (P-D) para os lisímetros não irrigados e a precipitação + irrigação – drenagem (P+I-D) para os lisímetros irrigados esporadicamente.

Observa-se que os valores de (P-D) são maiores que a evapotranspiração potencial no período chuvoso tanto para o período mensal quanto para o quinzenal (**Figuras 55 e 56**).

Conforme já tratado, a dificuldade na operação dos lisímetros em períodos chuvosos,

devido aos transbordamentos do percolado, introduziu falhas nos dados observados.

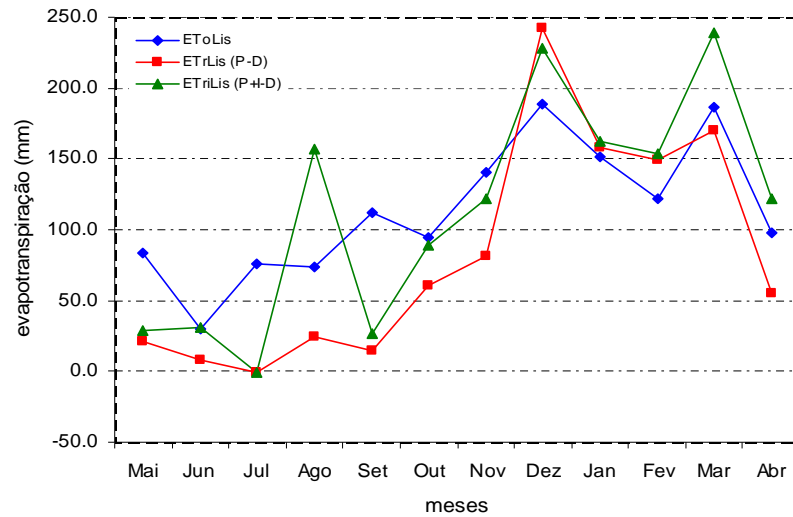


Figura 55 - Evapotranspiração de referência (EToLis), precipitação – drenagem dos lisímetros não irrigados (ETrLis) e precipitação + irrigação – drenagem dos lisímetros irrigados esporadicamente (ETrLis), em milímetros, para o período mensal.

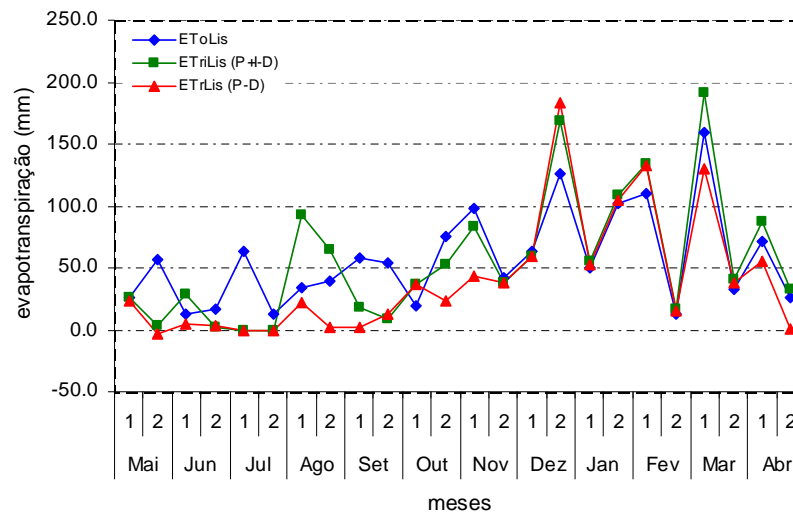


Figura 56 - Evapotranspiração de referência (EToLis), precipitação – drenagem dos lisímetros não irrigados (ETrLis) e precipitação + irrigação – drenagem dos lisímetros irrigados esporadicamente (ETrLis), em milímetros, para o período quinzenal.

De qualquer forma é possível verificar uma variação no comportamento da evapotranspiração em diferentes disponibilidades hídricas.

Kolka e Wolf (1998), utilizando o balanço hídrico de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração real para 29 locais ocupados por florestas entre 1900 e 1993, observaram que os erros ocorridos no cálculo no armazenamento de água no solo levaram a erros no cálculo da ETr, verificando a importância desta variável na estimativa de ETr.

A evapotranspiração real (972,3 mm) equivale a 77% da precipitação. A drenagem para os lisímetros não irrigados (ETr) foi de 376,1 mm, ou seja, 29,8 % da precipitação. Como houve falhas no monitoramento dos lisímetros, a soma dos valores ultrapassa (77% + 29,8%) 100%.

A evapotranspiração estimada pelos dados obtidos nos lisímetros irrigados esporadicamente (1347,6 mm) foi responsável por 79,9% da precipitação + irrigação e a drenagem (432,9 mm) por 25,7%. Da mesma forma que para os lisímetros não irrigados, ocorreram falhas no monitoramento e por utilizar estimativas para preencher as falhas, a soma da evapotranspiração e da drenagem ultrapassa 100%.

Entretanto é possível verificar que a evapotranspiração varia com a disponibilidade hídrica, ocorrendo um aumento deste valor conforme aumenta a disponibilidade de água no sistema.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos deste estudo permitiram as seguintes conclusões:

Observou-se boa correlação entre os dados obtidos pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather e os valores medidos pelo lisímetro para o período mensal. Melhor correlação foi verificada quando se utilizou o valor da CAD calculada em função dos parâmetros físicos do solo. Entretanto, em valores anuais, o método que mais se aproximou da ETrLis (972,3 mm) foi o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a CAD = 100 mm e a evapotranspiração de referência estimada por Penman Monteith FAO 56 utilizando todas as variáveis observadas.

No tocante a evapotranspiração de referência, houve excelente correlação entre os dados de Penman Monteith utilizando todas as variáveis observadas e quando se utilizou a radiação solar global estimada ou observada e o saldo de radiação estimado. Em valores anuais, Penman Monteith utilizando a radiação solar global estimada (1430 mm) aproximou-se mais do método utilizando todas as variáveis observadas (1431,2 mm). Ótima correlação também foi observada entre Penman Monteith e o método do Tanque Classe A.

Os valores de evapotranspiração de referência medidos pelos lisímetros não apresentaram desempenho satisfatório quando comparados às estimativas quinzenais e mensais do método de Penman – Monteith FAO 56.

Com relação à umidade, houve um comportamento distinto para os lisímetros irrigados e nunca irrigados. Para a camada superficial 0 a 25 cm, nos lisímetros nunca irrigados ocorreu uma queda maior no período seco e uma resposta mais rápida no início das chuvas, enquanto que nos lisímetros irrigados esporadicamente, a umidade no período seco, para todas as camadas apresentou uma pequena variação, ficou acima do valor crítico de $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ e foi maior que a umidade verificada para os lisímetros não irrigados.

6.1 Observações para trabalhos futuros

Seguem algumas sugestões para melhor operação dos lisímetros diante da dificuldade encontrada ao analisar os dados fornecidos.

Os lisímetros de drenagem são de difícil monitoramento e requerem cuidados especiais. Para os lisímetros utilizados para calcular a evapotranspiração de referência, deve-se manter a umidade do solo em capacidade de campo através de irrigações periódicas. A utilização de um tensiômetro poderia auxiliar no monitoramento da umidade.

Para evitar o transbordamento do galão que armazena o percolado, nos períodos chuvosos, sugere-se a coleta várias vezes ao dia e, principalmente, utilizar galões com capacidade de reter maiores volumes, evitando transbordamento no período da noite quando não há realização de leituras.

Para ter maior confiabilidade dos dados e do valor da capacidade de água disponível (CAD), seria interessante amostrar o solo da Estação Agroclimatológica e determinar a curva de retenção de água no solo, a umidade da capacidade de campo, a umidade do ponto de murcha permanente e a densidade do solo.

Atualmente, os tensiômetros estão locados nas profundidades de 25 cm, 50 cm, 75 cm e 90 cm. Para verificar com maior precisão o comportamento da umidade na camada que abriga o sistema radicular, recomenda-se que os tensiômetros sejam locados nas profundidades de 20 cm, 40 cm, 60 cm e 80 cm.

Para obter melhores informações acerca da variação do armazenamento de água no solo, propõe-se a leitura diária dos tensiômetros.

A evapotranspiração real é um dos parâmetros mais importantes para o balanço hídrico e o mais trabalhoso de calcular. Sendo assim, deve-se dar continuidade a este estudo de forma a verificar através de uma maior quantidade de dados se métodos mais simples de estimativa de E_{Tr} como o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather possui boa precisão.

Sugere-se a comparação da CAD calculada através das propriedades físicas do solo e da cultura com outros valores de CAD estimados.

Este estudo simulou apenas as entradas de E_{To} utilizando outros métodos de estimativa além do método padrão utilizado no balanço, de Thornthwaite. Há ainda outros modelos de cálculo de armazenamento de água no solo (RITJEMA e ABOUKHALED, 1975; DOURADO-NETO e VAN LIER, 1993), que podem gerar valores mais precisos de E_{Tr} .

REFERÊNCIAS

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

ALLEN, R.G.; PRUITT, W.O.; JENSEN, M.E. **Environmental requirements of lysimeters**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LYSIMETRY, 1., 1991, Honolulu. **Proceedings...** New York: ASCE, 1991. p.170-81.

ALLEN, R.G; PEREIRA, L.S; RAES, D.; MARTIN, S. **Crop Evapotranspiration**. Rome: FAO. 1998, 297p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R.G.; PRUITT, W.O. Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.112, n.2, p.139-155, May, 1986.

BARRETO, C.E.A.G. **Balço hídrico em zona de afloramento do sistema aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa**. 2006, 249f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 2006.

BEZERRA, B.G; SILVA, B.B.; FERREIRA, N.J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM-Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.3, p. 305-317, 2008.

BORGHETTI, N.R.B.; BORGHETTI, J.R.; ROSA FILHO, E.F. **Aquífero Guarani, a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba, 2006. 214p.

CAMARGO, A.P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Bragantia**. v. 21, n. 121, p. 163-213, 1962.

CAMARGO, A.P. CAMARGO, M.B.P.; Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas. v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CETESB. Relatório **de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2001-2003**. São Paulo: CETESB, 2004. 137p.

CHIEW, F.H.S.; KAMALADASA, N.N.; MALANO, H.M.; MCMAHON, T.A. Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Austrália. **Agricultural Water Management**. v. 28, p. 9-21, 1995.

COSTA, M.H. Balanço **hídrico segundo Thornthwaite e Mather, 1955**. Viçosa: Departamento de Engenharia Agrícola/UFV. 24p. 1994. (Caderno Didático - Série 19).

COTRIM, E.A.T. In: II Jornada Aquífero Guarani, 2007, Bauru.

CUNHA, A.T. **Estimativa experimental da taxa de recarga na zona de afloramento do Aquífero Guarani, para a região de São Paulo – SP**. 2003. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 2003.

DOORENBOS, J; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO. 1977, 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24) FAO. Agua y cultivos, logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. Roma, 2002.

DOUGLAS, E.M.; JACOBS, J.M.; SUMMER, D.M.; RAY, R.L. A comparison of models for estimating potencial evapotranspiration for Florida land cover types. **Journal of Hydrology**, v.373, p. 366-376, 2009.

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Sciencia Agrícola**, vol.57, n.1, Piracicaba, jan/mar. 2000.

DOURADO NETO, D; van LIER, Q.J. Estimativa do armazenamento de água no solo para realização do balanço hídrico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.17, n.1, p.9-15, 1993.

FAO. **Agua y cultivos, logrando el uso óptimo del agua en la agricultura**. Roma, 2002.

FIPAI. **Relatório técnico do projeto de gestão da quantidade de águas subterrâneas – resultados**. Relatório técnico para o Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto (DAERP), 1996.

GAO, G.; CHEN, D.; XU, C.-Y.; SIMELTON, E. Trend os estimated actual evapotranspiration over china during 1960-2002. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, p. 1-8, 2007.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Curso de capacitação técnica em recursos hídricos**, Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA), São Paulo. 2004.

KOLKA, R.K.; WOLF, A.T. **Estimating actual evapotranspiration for forested sites: Modifications to Thorthwaite Model**. United States Department of Agriculture, 1998.

LIMA, J.E.F.W.; SILVA, C.L.; OLIVEIRA, C.A. Comparação da evapotranspiração real simulada e observada em uma bacia hidrográfica em condições naturais de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p. 33-41, 2001.

LOOS, C.; GAYLER, S.; PRIESACK, E. Assessment of water balance simulations for large-scale weighing lysimeters. **Journal of Hydrology**, v.335, p. 259-270, 2007.

LÓPEZ-URREA, R.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.; FABEIRO, C.; MORATALLA, A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, v.85, p.15-26, 2006.

MACHADO, R.E. **Desenvolvimento e utilização de um lisímetro para a determinação da evapotranspiração de referência**. 1996, 93f. Dissertação (Mestrado em hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 1996.

MAGALHÃES, C.A.S. **Estudo físico-hídrico em lisímetros e compração de elementos climáticos na região de Lavras, MG**. 2008, 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo).Universidade Federal de Lavras, MG, 2008.

MEDEIROS, A.T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE**. 2002. 103f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, SP, 2002.

MEDEIROS, P.V. **Análise da evapotranspiração de referência a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de estimativas de 9 equações empírico - teóricas com base na equação de Penman-Monteith**. 2008. 241f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 2008.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Porto Alegre: Guaíba Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Piracicaba, 2007. 192 p.

PEREIRA, A.R.; CAMARGO, A. P. An analysis of the criticism of the Thornthwaite's equation for estimating potential evapotranspiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.46, p.149-157, 1989.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba, FEALQ, 1997, 183p.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12 p.211-216, 1988.

REICHARDT, K. ; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2004. 478p.

REZENDE, J.C. In: II Jornada Aquífero Guarani, 2007, Bauru.

RIJTEMA, P.E.; ABOUKHALED, A. **Crop water use**. In: FAO. **Research on crop water use, salt affected soils and drainage in the Arab Republic of Egypt**. Rome: FAO Regional Office for the near East, 1975. p.1-70.

ROLIM,G.S.; SENTELHAS,P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCELTM para os cálculos de balanços hídricos:normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137, 1998.

SALES, J.C. **Caracterização climática e comparação de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para regiões do Estado do Ceará**. 2008. 194f. Tese (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, SP, 2008.

SANTOS, F.X.; RODRIGUES, J.J.V.; MONTENEGRO, A.A. DE A.; DE MOURA, R.F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.115-124, jan./mar. 2008.

SAXTON, K.E.; McGUINNESS, J.L. Evapotranspiration. In: HANN, C.T.; JOHNSON, H.P.; BRAKENSIEK, D.L. **Hydrologic Modeling of Small Watersheds**. St. Joseph: ASAE. Cap 6, p. 229, 279, 1982.

SCANLON, B.R., HEALY, R.W., COOK, P.G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. **Journal of Hydrogeol**, v.10, p.18-39, 2002.

SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: Histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria. v. 4, n.1, p. i-xii, 1996.

SENTELHAS, P.C.; ANGELOCCI, L.R. Balanço hídrico: BH climatológico, normal e seqüencial, de cultura e para controle de irrigação. Notas de aulas. ESALQ, 2007.

SENTELHAS, P.C.; ANGELOCCI, L.R. Evapotranspiração – Definições e conceitos. Notas de aulas. ESALQ, 2009.

SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V.; MAGGIOTTO, S.R. Análise do funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p. 53-58, 1999.

SLEIGHT, R.B. Evaporation from the surfaces of water and river-bed materials. *Journal of Agricultural Resources*, v.10, p. 209-262, 1917.

SMITH, M. Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements: Rome: FAO, 1991. 54 p.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, n.1, p. 55-94.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey, Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.

TUCCI, C.E.M. (organizador). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 2007. 943p.

VILLA NOVA, A.; REICHARDT, K. **Evaporação e evapotranspiração**. In: ABRH. Engenharia hidrológica. Rio de Janeiro, Ed. da UFRJ. 1989.

WATTENBACH, M., ZEBISCH, M.; HATTERMANN, F.; GOTTSCHALK, P.; GOEMANN, H.; KREINS, P.; BADECK, P.L.; SUCKOW, F.; WECHSUNG, F. Hydrological impact assessment of afforestation and change in tree-species composition – A regional case study for the Federal State of Brandenburg (Germany). **Journal of Hydrology**, v.346, p.1-17, 2007.

XU, C-Y.; CHEN, D. Comparison of seven models for estimation of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany. **Hydrological Processes**, v.19, p.3717-3734, 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Média dos dados climatológicos coletados diariamente, referentes aos meses de maio de 2008 a abril de 2009.

Ano	Mês	Pressão Atm (kPa)	Temp Máxima (°C)	Temp Mínima (°C)	Temp Média (°C)	UR Máxima (%)	UR Mínima (%)	UR Média (%)	Insolação (h)	Velocidade Média do vento (m.s ⁻¹)	Radiação solar global (MJ.m ⁻²)	Saldo de Radiação (MJ m ⁻²)	Fluxo de calor no solo (MJ.m ⁻²)	Precipitação (mm)
2008	Mai	94,6	25,7	14,1	19,9	90,4	43,4	66,9	7,5	1,1	15,0	6,0	-0,4	73,1
	Jun	94,7	26,5	13,9	20,2	90,2	41,0	65,6	7,8	1,3	14,3	5,7	-0,3	11,3
	Jul	94,8	27,5	12,7	20,1	76,9	24,3	50,6	9,1	1,3	17,5	7,3	-0,3	0
	Ago	94,5	29,6	15,3	22,5	78,6	27,5	53,1	8,8	1,9	18,8	7,7	0,0	24,2
	Set	94,5	29,7	14,8	22,3	79,7	27,1	53,4	8,3	2,1	20,8	8,2	0,1	15,1
	Out	94,4	31,2	18,9	25,1	84,6	36,8	60,7	6,2	1,9	17,7	9,3	0,1	60,3
	Nov	94,1	31,5	18,5	25,0	90,0	36,5	63,3	8,9	2,0	21,8	12,1	0,1	81,8
2009	Dez	94,0	30,2	18,6	24,4	91,0	43,5	67,2	7,5	1,7	20,3	11,3	0,0	278,9
	Jan	94,2	29,3	19,4	24,4	92,3	51,0	71,6	5,8	1,7	18,7	10,4	0,0	238
	Fev	94,2	30,7	20,1	25,4	93,1	47,4	70,3	7,3	1,2	20,7	11,7	0,0	190,6
	Mar	94,2	30,3	19,9	25,1	92,9	47,9	70,4	6,2	1,0	18,0	9,7	-0,1	217,9
	Abr	94,4	28,8	17,1	22,9	91,2	41,2	66,2	8,3	1,3	18,2	8,2	-0,3	70,8

APÊNDICE K. Valores de drenagem dos lisímetros, precipitação + irrigação (P+I) e evapotranspiração de referência, em milímetros, referente aos meses de maio de 2008 a abril de 2009, em período **mensal**.

Ano	Mês	EToLis						EToLis média	P+I
		3	5	6	9	11	12		
2008	Mai	86.3	82.7	81.1	72.0	88.1	89.3	83.3	150.1
	Jun	35.8	26.5	26.0	23.7	38.2	29.5	29.9	59.3
	Jul	72.9	77.7	65.7	74.0	82.4	81.8	75.7	110
	Ago	73.3	72.4	64.1	74.6	78.6	80.6	73.9	114.2
	Set	98.1	113.5	93.5	112.5	112.2	144.4	112.4	155.1
	Out	81.9	94.0	88.7	96.2	97.1	106.2	94.0	130.3
	Nov	135.9	137.3	131.6	138.5	150.3	152.0	140.9	191.8
	Dez	185.6	200.2	160.6	187.1	198.9	197.4	188.3	318.9
2009	Jan	156.1	145.7	139.9	150.6	158.1	156.0	151.1	238
	Fev	81.1	83.3	45.6	63.5	69.5	59.4	122.1	190.6
	Mar	229.4	221.7	215.3	217.2	226.7	223.3	186.7	297.9
	Abr	102.7	105.9	91.7	103.3	104.4	96.4	98.1	150.8
Total								1356.3	

APÊNDICE L. Valores de drenagem dos lisímetros, precipitação + irrigação (P+I) e evapotranspiração de referência, em milímetros, referente aos meses de maio de 2008 a abril de 2009, em período **quinzenal**.

Ano	Mês	Quinzena	EToLis						EToLis média	P+I
			4	5	6	7	8	9		
2008	Mai	1	28.2	23.8	23.5	26.3	29.6	26.8	26.4	61.2
		2	58.1	58.9	57.7	45.8	58.6	62.5	56.9	88.9
	Jun	1	18.8	12.5	10.7	7.8	17.5	11.6	13.2	31.3
		2	17.0	14.0	15.3	15.9	20.7	17.9	16.8	28
	Jul	1	62.4	62.8	59.1	61.7	66.6	65.8	63.1	77
		2	10.5	14.9	6.7	12.3	15.8	16.0	12.7	33
	Ago	1	32.6	34.0	25.7	36.6	35.9	40.3	34.2	62.5
		2	40.7	38.4	38.4	38.0	42.7	40.3	39.8	51.7
	Set	1	49.5	61.3	49.2	61.8	61.0	67.5	58.4	72.2
		2	48.6	52.2	44.4	50.7	51.2	76.9	54.0	82.9
	Out	1	16.0	18.6	16.1	17.9	20.4	24.4	18.9	37.2
		2	66.0	75.4	72.6	78.3	76.7	81.8	75.1	93.1
	Nov	1	95.1	98.5	93.0	97.6	102.7	102.9	98.3	113.9
		2	40.8	38.8	38.7	41.0	47.6	49.1	42.6	77.9
	Dez	1	61.8	64.0	52.6	62.4	68.0	67.5	62.7	99.2
		2	123.8	136.2	108.0	124.6	130.8	129.9	125.6	219.7
2009	Jan	1	49.5	49.6	45.1	47.2	54.3	51.2	49.5	76.3
		2	106.6	96.1	94.8	103.4	103.8	104.8	101.6	161.7
Fev	1	100.8	102.7	75.2	89.2	92.5	88.4	109.9	171.6	
	2	-19.6	-19.5	-29.6	-25.7	-23.0	-29.0	13.0	19	
Mar	1	202.6	197.5	195.3	196.8	202.4	202.8	158.8	248.5	
	2	26.8	24.3	20.0	20.3	24.3	20.6	32.3	49.4	
Abr	1	87.5	91.1	84.8	94.9	90.2	90.9	71.3	110.8	
	2	15.3	14.8	6.9	8.4	14.2	5.5	26.4	40	
Total								1361.3		

APÊNDICE O. Valores de drenagem dos lisímetros nunca irrigados, precipitação e evapotranspiração real, em milímetros, referente aos meses de maio de 2008 a abril de 2009, em período **mensal**.

Ano	Mês	Precipitação - Drenagem						ARM	ETRLis média
		1	2	4	Média	P			
2008	Mai	25.0	16.1	20.9	20.7	73.1	20.0	0.7	
	Jun	7.5	9.7	5.6	7.6	11.3	20.3	-12.8	
	Jul	-0.2	0.0	-0.7	-0.3	0.0	-13.0	12.7	
	Ago	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	-40.5	64.7	
	Set	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	-5.8	20.9	
	Out	60.3	60.3	60.3	60.3	60.3	6.1	54.2	
	Nov	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	-3.5	85.3	
2009	Dez	240.8	246.2	241.6	242.9	278.9	19.5	223.3	
	Jan	161.0	160.1	151.7	157.6	238.0	14.8	142.7	
	Fev	85.8	75.8	67.7	148.9	190.6	-3.2	152.1	
	Mar	161.9	162.4	154.3	170.2	217.9	-3.8	174.0	
	Abr	43.7	45.1	31.7	55.1	70.8	0.6	54.5	
	Total				984.0			972.3	

APÊNDICE P. Valores de drenagem dos lisímetros nunca irrigados, precipitação e evapotranspiração real, em milímetros, referente aos meses de maio de 2008 a abril de 2009, em período **quinzenal**.

Ano	Mês	Quinzena	Precipitação - Drenagem				Média	P	ARM	ETRLis média
			1	2	4					
2008	Mai	1	27.2	22.9	20.1	23.4	61.2	2.3	21.1	
		2	-2.2	-6.8	0.8	-2.7	11.9	2.3	-5.0	
	Jun	1	4.3	6.0	3.4	4.5	7.3	21.2	-16.7	
		2	3.2	3.7	2.3	3.0	4	-1.3	4.4	
	Jul	1	-0.2	0.0	-0.7	-0.3	0	7.4	-7.7	
		2	0.0	0.0	0.0	0.0	0	-59.7	59.7	
	Ago	1	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	2.3	20.2	
		2	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	-5.9	7.6	
	Set	1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	-2.7	4.9	
		2	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	-0.3	13.2	
	Out	1	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2	9.1	28.1	
		2	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	-4.9	28.0	
	Nov	1	43.9	43.9	43.9	43.9	43.9	-1.8	45.7	
		2	37.9	37.9	37.9	37.9	37.9	0.9	37.0	
	Dez	1	59.2	59.2	59.2	59.2	59.2	8.0	51.2	
		2	181.6	187.0	182.4	183.7	219.7	22.1	161.6	
	Jan	1	56.7	54.0	47.9	52.8	76.3	1.8	51.0	
		2	104.3	106.1	103.8	104.7	161.7	4.9	99.8	
	Fev	1	103.1	93.1	93.3	132.1	171.6	-2.0	134.1	
		2	-17.3	-17.4	-25.7	15.3	19	-8.3	23.6	
	Mar	1	130.7	131.7	130.9	129.7	168.5	-3.5	133.2	
		2	31.2	30.7	23.5	38.6	49.4	7.7	30.9	
	2009	Abr	1	65.3	65.1	59.1	54.9	70.8	-3.1	58.1
			2	-21.6	-20.0	-27.4	0.8	0	-0.2	1.0
Total					981.16			984.9		

APÊNDICE Q. Valores de evapotranspiração real calculados através do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a evapotranspiração de referência estimada pelo Tanque Classe A, referente aos meses de maio de 2008 a abril de 2009, em período **mensal**.

Mês	P (mm)	EToTca (mm)	P-EToTca (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrTca (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai	73,1	77,5	-4,4	-4,4	95,7	-4,3	77,4	0,1	0,0
Jun	11,3	79,4	-68,1	-72,5	48,4	-47,2	58,5	20,8	0,0
Jul	0,0	100,1	-100,1	-172,6	17,8	-30,6	30,6	69,4	0,0
Ago	24,2	108,8	-84,6	-257,2	7,6	-10,2	34,4	74,4	0,0
Set	15,1	123,8	-108,7	-365,9	2,6	-5,1	20,2	103,6	0,0
Out	60,3	129,1	-68,8	-434,7	1,3	-1,3	61,6	67,6	0,0
Nov	81,8	155,1	-73,3	-508,1	0,6	-0,7	82,5	72,7	0,0
Dez	278,9	125,5	153,4	0,0	100,0	99,4	125,5	0,0	54,0
Jan	238,0	108,5	129,5	0,0	100,0	0,0	108,5	0,0	129,5
Fev	190,6	104,6	86,0	0,0	100,0	0,0	104,6	0,0	86,0
Mar	217,9	102,2	115,7	0,0	100,0	0,0	102,2	0,0	115,7
Abr	70,8	92,0	-21,2	-21,2	80,9	-19,1	89,9	2,1	0,0
Total	1262,0	1306,8	-44,8	-1836,6	654,9	-19,1	896,0	410,8	385,1

Mês	P (mm)	EToTcac (mm)	P-EToTcac (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrTcac (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai	73,1	77,5	-4,4	-4,4	7,3	-3,7	76,8	0,8	0,0
Jun	11,3	79,4	-68,1	-72,5	0,0	-7,3	18,6	60,7	0,0
Jul	0,0	100,1	-100,1	-172,6	0,0	0,0	0,0	100,1	0,0
Ago	24,2	108,8	-84,6	-257,2	0,0	0,0	24,2	84,6	0,0
Set	15,1	123,8	-108,7	-365,9	0,0	0,0	15,1	108,7	0,0
Out	60,3	129,1	-68,8	-434,7	0,0	0,0	60,3	68,8	0,0
Nov	81,8	155,1	-73,3	-508,1	0,0	0,0	81,8	73,3	0,0
Dez	278,9	125,5	153,4	0,0	11,0	11,0	125,5	0,0	142,4
Jan	238,0	108,5	129,5	0,0	11,0	0,0	108,5	0,0	129,5
Fev	190,6	104,6	86,0	0,0	11,0	0,0	104,6	0,0	86,0
Mar	217,9	102,2	115,7	0,0	11,0	0,0	102,2	0,0	115,7
Abr	70,8	92,0	-21,2	-21,2	1,6	-9,4	80,2	11,8	0,0
Total	1262,0	1306,8	-44,8	-1836,6	53,0	-9,4	797,9	508,8	473,5

APÊNDICE R. Valores de evapotranspiração real calculados através do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a evapotranspiração de referência estimada pelo Tanque Classe A, referente aos meses de maio de 2008 a abril de 2009, em período **quinzenal**.

Mês	P (mm)	EToTca (mm)	P-EToTca (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrTca (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai_1	61,2	35,1	26,1	0,0	100,0	0,0	35,1	0,0	26,1
Mai_2	11,9	42,5	-30,6	-30,6	73,6	-26,4	38,3	4,2	0,0
Jun_1	7,3	38,3	-31,0	-61,6	54,0	-19,6	26,9	11,4	0,0
Jun_2	4,0	41,1	-37,1	-98,7	37,3	-16,7	20,7	20,3	0,0
Jul_1	0,0	47,4	-47,4	-146,1	23,2	-14,1	14,1	33,3	0,0
Jul_2	0,0	52,6	-52,6	-198,7	13,7	-9,5	9,5	43,1	0,0
Ago_1	22,5	46,0	-23,5	-222,3	10,8	-2,9	25,4	20,7	0,0
Ago_2	1,7	62,7	-61,0	-283,3	5,9	-4,9	6,6	56,1	0,0
Set_1	2,2	65,5	-63,3	-346,6	3,1	-2,8	5,0	60,5	0,0
Set_2	12,9	58,3	-45,4	-392,0	2,0	-1,1	14,0	44,3	0,0
Out_1	37,2	58,5	-21,3	-413,3	1,6	-0,4	37,6	20,9	0,0
Out_2	23,1	70,7	-47,6	-460,9	1,0	-0,6	23,7	47,0	0,0
Nov_1	43,9	65,0	-21,1	-482,0	0,8	-0,2	44,1	20,9	0,0
Nov_2	37,9	90,1	-52,2	-534,2	0,5	-0,3	38,2	51,9	0,0
Dez_1	59,2	71,1	-11,9	-546,1	0,4	-0,1	59,3	11,8	0,0
Dez_2	219,7	54,5	165,2	0,0	100,0	99,6	54,5	0,0	65,6
Jan_1	76,3	63,0	13,3	0,0	100,0	0,0	63,0	0,0	13,3
Jan_2	161,7	45,5	116,2	0,0	100,0	0,0	45,5	0,0	116,2
Fev_1	171,6	51,0	120,6	0,0	100,0	0,0	51,0	0,0	120,6
Fev_2	19,0	53,6	-34,6	-34,6	70,8	-29,2	48,2	5,4	0,0
Mar_1	168,5	58,7	109,8	0,0	100,0	29,2	58,7	0,0	80,5
Mar_2	49,4	43,5	5,9	0,0	100,0	0,0	43,5	0,0	5,9
Abr_1	70,8	44,3	26,5	0,0	100,0	0,0	44,3	0,0	26,5
Abr_2	0,0	47,7	-47,7	-47,7	62,1	-37,9	37,9	9,7	0,0
Total	1262,0	1306,8	-44,8	-4298,6	1160,8	-37,9	845,2	461,6	454,7

Mês	P (mm)	EToTcac (mm)	P-EToTcac (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrTcac (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai_1	61,2	35,1	26,1	0,0	11,0	0,0	35,1	0,0	26,1
Mai_2	11,9	42,5	-30,6	-30,6	0,7	-10,3	22,2	20,3	0,0
Jun_1	7,3	38,3	-31,0	-61,6	0,0	-0,6	7,9	30,3	0,0
Jun_2	4,0	41,1	-37,1	-98,7	0,0	0,0	4,0	37,0	0,0
Jul_1	0,0	47,4	-47,4	-146,1	0,0	0,0	0,0	47,4	0,0
Jul_2	0,0	52,6	-52,6	-198,7	0,0	0,0	0,0	52,6	0,0
Ago_1	22,5	46,0	-23,5	-222,3	0,0	0,0	22,5	23,5	0,0
Ago_2	1,7	62,7	-61,0	-283,3	0,0	0,0	1,7	61,0	0,0
Set_1	2,2	65,5	-63,3	-346,6	0,0	0,0	2,2	63,3	0,0
Set_2	12,9	58,3	-45,4	-392,0	0,0	0,0	12,9	45,4	0,0
Out_1	37,2	58,5	-21,3	-413,3	0,0	0,0	37,2	21,3	0,0
Out_2	23,1	70,7	-47,6	-460,9	0,0	0,0	23,1	47,6	0,0
Nov_1	43,9	65,0	-21,1	-482,0	0,0	0,0	43,9	21,1	0,0
Nov_2	37,9	90,1	-52,2	-534,2	0,0	0,0	37,9	52,2	0,0
Dez_1	59,2	71,1	-11,9	-546,1	0,0	0,0	59,2	11,9	0,0
Dez_2	219,7	54,5	165,2	0,0	11,0	11,0	54,5	0,0	154,2
Jan_1	76,3	63,0	13,3	0,0	11,0	0,0	63,0	0,0	13,3
Jan_2	161,7	45,5	116,2	0,0	11,0	0,0	45,5	0,0	116,2
Fev_1	171,6	51,0	120,6	0,0	11,0	0,0	51,0	0,0	120,6
Fev_2	19,0	53,6	-34,6	-34,6	0,5	-10,5	29,5	24,1	0,0
Mar_1	168,5	58,7	109,8	0,0	11,0	10,5	58,7	0,0	99,3
Mar_2	49,4	43,5	5,9	0,0	11,0	0,0	43,5	0,0	5,9
Abr_1	70,8	44,3	26,5	0,0	11,0	0,0	44,3	0,0	26,5
Abr_2	0,0	47,7	-47,7	-47,7	0,1	-10,9	10,9	36,8	0,0
Total	1262,0	1306,8	-44,8	-4298,6	89,3	-10,9	710,8	595,9	562,0

APÊNDICE S. Valores de evapotranspiração real calculados através do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a evapotranspiração de referência estimada por Thornthwaite, referente aos meses de maio de 2008 a abril de 2009, em período **mensal**.

Mês	P (mm)	EToTho (mm)	P-EToTho (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrTho (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai	73,1	58,6	14,5	0,0	100,0	0,0	58,6	0,0	14,5
Jun	11,3	57,5	-46,2	-46,2	63,0	-37,0	48,3	9,2	0,0
Jul	0,0	59,1	-59,1	-105,3	34,9	-28,1	28,1	31,0	0,0
Ago	24,2	84,5	-60,3	-165,6	19,1	-15,8	40,0	44,5	0,0
Set	15,1	84,1	-69,0	-234,6	9,6	-9,5	24,6	59,4	0,0
Out	60,3	126,6	-66,3	-300,9	4,9	-4,6	64,9	61,7	0,0
Nov	81,8	126,0	-44,2	-345,1	3,2	-1,8	83,6	42,5	0,0
Dez	278,9	124,6	154,3	0,0	100,0	96,8	124,6	0,0	57,5
Jan	238,0	123,6	114,4	0,0	100,0	0,0	123,6	0,0	114,4
Fev	190,6	120,1	70,5	0,0	100,0	0,0	120,1	0,0	70,5
Mar	217,9	122,6	95,3	0,0	100,0	0,0	122,6	0,0	95,3
Abr	70,8	87,4	-16,6	-16,6	84,7	-15,3	86,1	1,3	0,0
Total	1262,0	1174,6	87,4	-1214,2	719,4	-15,3	925,0	249,6	352,3

Mês	P (mm)	EToThoc (mm)	P-EToThoc (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrThoc (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai	73,1	58,6	14,5	0,0	11,0	0,0	58,6	0,0	14,5
Jun	11,3	57,5	-46,2	-46,2	0,2	-10,8	22,1	35,3	0,0
Jul	0,0	59,1	-59,1	-105,3	0,0	-0,2	0,2	58,9	0,0
Ago	24,2	84,5	-60,3	-165,6	0,0	0,0	24,2	60,3	0,0
Set	15,1	84,1	-69,0	-234,6	0,0	0,0	15,1	69,0	0,0
Out	60,3	126,6	-66,3	-300,9	0,0	0,0	60,3	66,3	0,0
Nov	81,8	126,0	-44,2	-345,1	0,0	0,0	81,8	44,2	0,0
Dez	278,9	124,6	154,3	0,0	11,0	11,0	124,6	0,0	143,3
Jan	238,0	123,6	114,4	0,0	11,0	0,0	123,6	0,0	114,4
Fev	190,6	120,1	70,5	0,0	11,0	0,0	120,1	0,0	70,5
Mar	217,9	122,6	95,3	0,0	11,0	0,0	122,6	0,0	95,3
Abr	70,8	87,4	-16,6	-16,6	2,4	-8,6	79,4	8,1	0,0
Total	1262,0	1174,6	87,4	-1214,2	57,6	-8,6	832,5	342,2	438,1

APÊNDICE T. Valores de evapotranspiração real calculados através do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a evapotranspiração de referência estimada por Thornthwaite, referente aos meses de maio de 2008 a abril de 2009, em período **quinzenal**.

Mês	P (mm)	EToTho (mm)	P-EToTho (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrTho (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai_1	61,2	25,2	36,0	0,0	100,0	0,0	25,2	0,0	36,0
Mai_2	11,9	34,0	-22,1	-22,1	80,2	-19,8	31,7	2,3	0,0
Jun_1	7,3	31,8	-24,5	-46,6	62,8	-17,4	24,7	7,1	0,0
Jun_2	4,0	26,0	-22,0	-68,6	50,4	-12,4	16,4	9,6	0,0
Jul_1	0,0	24,5	-24,5	-93,1	39,4	-10,9	10,9	13,6	0,0
Jul_2	0,0	35,1	-35,1	-128,2	27,8	-11,7	11,7	23,4	0,0
Ago_1	22,5	38,4	-15,9	-144,1	23,7	-4,1	26,6	11,8	0,0
Ago_2	1,7	44,9	-43,2	-187,2	15,4	-8,3	10,0	34,9	0,0
Set_1	2,2	50,5	-48,3	-235,6	9,5	-5,9	8,1	42,4	0,0
Set_2	12,9	33,1	-20,2	-255,7	7,8	-1,7	14,6	18,4	0,0
Out_1	37,2	51,5	-14,3	-270,0	6,7	-1,0	38,2	13,3	0,0
Out_2	23,1	74,1	-51,0	-321,1	4,0	-2,7	25,8	48,3	0,0
Nov_1	43,9	63,5	-19,6	-340,6	3,3	-0,7	44,6	18,9	0,0
Nov_2	37,9	61,6	-23,7	-364,3	2,6	-0,7	38,6	23,0	0,0
Dez_1	59,2	62,5	-3,3	-367,6	2,5	-0,1	59,3	3,2	0,0
Dez_2	219,7	62,1	157,6	0,0	100,0	97,5	62,1	0,0	60,1
Jan_1	76,3	61,5	14,8	0,0	100,0	0,0	61,5	0,0	14,8
Jan_2	161,7	61,6	100,1	0,0	100,0	0,0	61,6	0,0	100,1
Fev_1	171,6	63,3	108,3	0,0	100,0	0,0	63,3	0,0	108,3
Fev_2	19,0	58,4	-39,4	-39,4	67,5	-32,5	51,5	6,8	0,0
Mar_1	168,5	67,3	101,2	0,0	100,0	32,5	67,3	0,0	68,7
Mar_2	49,4	57,4	-8,0	-8,0	92,3	-7,7	57,1	0,3	0,0
Abr_1	70,8	50,4	20,4	0,0	100,0	7,7	50,4	0,0	12,7
Abr_2	0,0	38,8	-38,8	-38,8	67,8	-32,2	32,2	6,6	0,0
Total	1262,0	1177,4	84,6	-2930,9	1263,6	-32,2	893,5	283,9	400,6

Mês	P (mm)	EToThoc (mm)	P-EToThoc (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrThoc (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai_1	61,2	25,2	36,0	0,0	11,0	0,0	25,2	0,0	36,0
Mai_2	11,9	34,0	-22,1	-22,1	1,5	-9,5	21,4	12,5	0,0
Jun_1	7,3	31,8	-24,5	-46,6	0,2	-1,3	8,6	23,2	0,0
Jun_2	4,0	26,0	-22,0	-68,6	0,0	-0,1	4,1	21,9	0,0
Jul_1	0,0	24,5	-24,5	-93,1	0,0	0,0	0,0	24,5	0,0
Jul_2	0,0	35,1	-35,1	-128,2	0,0	0,0	0,0	35,1	0,0
Ago_1	22,5	38,4	-15,9	-144,1	0,0	0,0	22,5	15,9	0,0
Ago_2	1,7	44,9	-43,2	-187,2	0,0	0,0	1,7	43,2	0,0
Set_1	2,2	50,5	-48,3	-235,6	0,0	0,0	2,2	48,3	0,0
Set_2	12,9	33,1	-20,2	-255,7	0,0	0,0	12,9	20,2	0,0
Out_1	37,2	51,5	-14,3	-270,0	0,0	0,0	37,2	14,3	0,0
Out_2	23,1	74,1	-51,0	-321,1	0,0	0,0	23,1	51,0	0,0
Nov_1	43,9	63,5	-19,6	-340,6	0,0	0,0	43,9	19,6	0,0
Nov_2	37,9	61,6	-23,7	-364,3	0,0	0,0	37,9	23,7	0,0
Dez_1	59,2	62,5	-3,3	-367,6	0,0	0,0	59,2	3,3	0,0
Dez_2	219,7	62,1	157,6	0,0	11,0	11,0	62,1	0,0	146,6
Jan_1	76,3	61,5	14,8	0,0	11,0	0,0	61,5	0,0	14,8
Jan_2	161,7	61,6	100,1	0,0	11,0	0,0	61,6	0,0	100,1
Fev_1	171,6	63,3	108,3	0,0	11,0	0,0	63,3	0,0	108,3
Fev_2	19,0	58,4	-39,4	-39,4	0,3	-10,7	29,7	28,7	0,0
Mar_1	168,5	67,3	101,2	0,0	11,0	10,7	67,3	0,0	90,5
Mar_2	49,4	57,4	-8,0	-8,0	5,3	-5,7	55,1	2,3	0,0
Abr_1	70,8	50,4	20,4	0,0	11,0	5,7	50,4	0,0	14,7
Abr_2	0,0	38,8	-38,8	-38,8	0,3	-10,7	10,7	28,1	0,0
Total	1262,0	1177,4	84,6	-2930,9	84,6	-10,7	761,7	415,7	511,0

APÊNDICE U. Valores de evapotranspiração real calculados através do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a evapotranspiração de referência estimada por Penman-Monteith FAO 56 utilizando valores de radiação solar global estimados (EToPMrse), referente aos meses de maio de 2008 a abril de 2009, em período **mensal**.

Mês	P (mm)	EToPMrse (mm)	P-EToPMrse (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrPMrse (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai	73,1	81,8	-8,7	-8,7	91,7	-8,3	81,4	0,4	0,0
Jun	11,3	80,5	-69,2	-77,8	45,9	-45,8	57,1	23,4	0,0
Jul	0,0	102,6	-102,6	-180,4	16,5	-29,5	29,5	73,2	0,0
Ago	24,2	133,3	-109,1	-289,6	5,5	-10,9	35,1	98,2	0,0
Set	15,1	146,8	-131,7	-421,3	1,5	-4,0	19,1	127,7	0,0
Out	60,3	137,0	-76,7	-498,0	0,7	-0,8	61,1	75,9	0,0
Nov	81,8	161,8	-80,0	-578,0	0,3	-0,4	82,2	79,6	0,0
Dez	278,9	142,0	136,9	0,0	100,0	99,7	142,0	0,0	37,2
Jan	238,0	115,5	122,5	0,0	100,0	0,0	115,5	0,0	122,5
Fev	190,6	113,6	77,0	0,0	100,0	0,0	113,6	0,0	77,0
Mar	217,9	105,3	112,6	0,0	100,0	0,0	105,3	0,0	112,6
Abr	70,8	109,8	-39,0	-39,0	67,7	-32,3	103,1	6,7	0,0
Total	1262,0	1430,0	-168,0	-2092,7	629,8	-32,3	945,0	485,0	349,3

Mês	P (mm)	EToPMrsec (mm)	P-EToPMrsec (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrPMrsec (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai	73,1	81,8	-8,7	-8,7	5,0	-6,0	79,1	2,7	0,0
Jun	11,3	80,5	-69,2	-77,8	0,0	-5,0	16,3	64,1	0,0
Jul	0,0	102,6	-102,6	-180,4	0,0	0,0	0,0	102,6	0,0
Ago	24,2	133,3	-109,1	-289,6	0,0	0,0	24,2	109,1	0,0
Set	15,1	146,8	-131,7	-421,3	0,0	0,0	15,1	131,7	0,0
Out	60,3	137,0	-76,7	-498,0	0,0	0,0	60,3	76,7	0,0
Nov	81,8	161,8	-80,0	-578,0	0,0	0,0	81,8	80,0	0,0
Dez	278,9	142,0	136,9	0,0	11,0	11,0	142,0	0,0	125,9
Jan	238,0	115,5	122,5	0,0	11,0	0,0	115,5	0,0	122,5
Fev	190,6	113,6	77,0	0,0	11,0	0,0	113,6	0,0	77,0
Mar	217,9	105,3	112,6	0,0	11,0	0,0	105,3	0,0	112,6
Abr	70,8	109,8	-39,0	-39,0	0,3	-10,7	81,5	28,3	0,0
Total	1262,0	1430,0	-168,0	-2092,7	49,3	-10,7	834,7	595,3	438,0

APÊNDICE V. Valores de evapotranspiração real calculados através do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a evapotranspiração de referência estimada por Penman-Monteith FAO 56 utilizando valores de radiação solar global estimados (EToPMrse), referente aos meses de maio de 2008 a abril de 2009, em período **quinzenal**.

Mês	P (mm)	EToPMrse (mm)	P-EToPMrse (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrPMrse (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai_1	61,2	38,9	22,3	0,0	100,0	0,0	38,9	0,0	22,3
Mai_2	11,9	42,8	-30,9	-30,9	73,4	-26,6	38,5	4,3	0,0
Jun_1	7,3	40,3	-33,0	-63,9	52,8	-20,6	27,9	12,4	0,0
Jun_2	4,0	40,2	-36,2	-100,1	36,8	-16,0	20,0	20,1	0,0
Jul_1	0,0	42,7	-42,7	-142,8	24,0	-12,8	12,8	29,9	0,0
Jul_2	0,0	59,9	-59,9	-202,7	13,2	-10,8	10,8	49,1	0,0
Ago_1	22,5	57,9	-35,4	-238,1	9,2	-3,9	26,4	31,4	0,0
Ago_2	1,7	75,5	-73,8	-311,8	4,4	-4,8	6,5	68,9	0,0
Set_1	2,2	75,4	-73,2	-385,1	2,1	-2,3	4,5	70,9	0,0
Set_2	12,9	71,4	-58,5	-443,5	1,2	-0,9	13,8	57,5	0,0
Out_1	37,2	61,6	-24,4	-468,0	0,9	-0,3	37,5	24,2	0,0
Out_2	23,1	75,4	-52,3	-520,3	0,6	-0,4	23,5	52,0	0,0
Nov_1	43,9	66,4	-22,5	-542,8	0,4	-0,1	44,0	22,4	0,0
Nov_2	37,9	95,3	-57,4	-600,3	0,2	-0,2	38,1	57,3	0,0
Dez_1	59,2	79,4	-20,2	-620,4	0,2	0,0	59,2	20,1	0,0
Dez_2	219,7	62,7	157,0	0,0	100,0	99,8	62,7	0,0	57,2
Jan_1	76,3	67,1	9,2	0,0	100,0	0,0	67,1	0,0	9,2
Jan_2	161,7	48,4	113,3	0,0	100,0	0,0	48,4	0,0	113,3
Fev_1	171,6	55,8	115,8	0,0	100,0	0,0	55,8	0,0	115,8
Fev_2	19,0	57,8	-38,8	-38,8	67,8	-32,2	51,2	6,6	0,0
Mar_1	168,5	59,1	109,4	0,0	100,0	32,2	59,1	0,0	77,3
Mar_2	49,4	46,3	3,1	0,0	100,0	0,0	46,3	0,0	3,1
Abr_1	70,8	51,4	19,4	0,0	100,0	0,0	51,4	0,0	19,4
Abr_2	0,0	58,3	-58,3	-58,3	55,8	-44,2	44,2	14,1	0,0
Total	1262,0	1430,0	-168,0	-4767,8	1143,1	-44,2	888,6	541,4	417,6

Mês	P (mm)	EToPMrsec (mm)	P-EToPMrsec (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrPMrsec (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai_1	61,2	38,9	22,3	0,0	11,0	0,0	38,9	0,0	22,3
Mai_2	11,9	42,8	-30,9	-30,9	0,7	-10,3	22,2	20,6	0,0
Jun_1	7,3	40,3	-33,0	-63,9	0,0	-0,6	7,9	32,4	0,0
Jun_2	4,0	40,2	-36,2	-100,1	0,0	0,0	4,0	36,1	0,0
Jul_1	0,0	42,7	-42,7	-142,8	0,0	0,0	0,0	42,7	0,0
Jul_2	0,0	59,9	-59,9	-202,7	0,0	0,0	0,0	59,9	0,0
Ago_1	22,5	57,9	-35,4	-238,1	0,0	0,0	22,5	35,4	0,0
Ago_2	1,7	75,5	-73,8	-311,8	0,0	0,0	1,7	73,8	0,0
Set_1	2,2	75,4	-73,2	-385,1	0,0	0,0	2,2	73,2	0,0
Set_2	12,9	71,4	-58,5	-443,5	0,0	0,0	12,9	58,5	0,0
Out_1	37,2	61,6	-24,4	-468,0	0,0	0,0	37,2	24,4	0,0
Out_2	23,1	75,4	-52,3	-520,3	0,0	0,0	23,1	52,3	0,0
Nov_1	43,9	66,4	-22,5	-542,8	0,0	0,0	43,9	22,5	0,0
Nov_2	37,9	95,3	-57,4	-600,3	0,0	0,0	37,9	57,4	0,0
Dez_1	59,2	79,4	-20,2	-620,4	0,0	0,0	59,2	20,2	0,0
Dez_2	219,7	62,7	157,0	0,0	11,0	11,0	62,7	0,0	146,0
Jan_1	76,3	67,1	9,2	0,0	11,0	0,0	67,1	0,0	9,2
Jan_2	161,7	48,4	113,3	0,0	11,0	0,0	48,4	0,0	113,3
Fev_1	171,6	55,8	115,8	0,0	11,0	0,0	55,8	0,0	115,8
Fev_2	19,0	57,8	-38,8	-38,8	0,3	-10,7	29,7	28,1	0,0
Mar_1	168,5	59,1	109,4	0,0	11,0	10,7	59,1	0,0	98,8
Mar_2	49,4	46,3	3,1	0,0	11,0	0,0	46,3	0,0	3,1
Abr_1	70,8	51,4	19,4	0,0	11,0	0,0	51,4	0,0	19,4
Abr_2	0,0	58,3	-58,3	-58,3	0,1	-10,9	10,9	47,4	0,0
Total	1262,0	1430,0	-168,0	-4767,8	89,1	-10,9	745,0	684,9	527,9

APÊNDICE W. Valores de evapotranspiração real calculados através do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a evapotranspiração de referência estimada por Penman-Monteith FAO 56 utilizando valores de radiação solar global observados (EToPMrso), em período **mensal**.

Mês	P (mm)	EToPMrso (mm)	P-EToPMrso (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrPMrso (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai	73,1	86,8	-13,7	-13,7	87,2	-12,8	85,9	0,9	0,0
Jun	11,3	83,7	-72,4	-86,1	42,3	-44,9	56,2	27,5	0,0
Jul	0,0	106,6	-106,6	-192,7	14,6	-27,7	27,7	78,9	0,0
Ago	24,2	138,7	-114,5	-307,2	4,6	-9,9	34,1	104,5	0,0
Set	15,1	155,4	-140,3	-447,5	1,1	-3,5	18,6	136,8	0,0
Out	60,3	150,2	-89,9	-537,4	0,5	-0,7	61,0	89,2	0,0
Nov	81,8	164,5	-82,7	-620,1	0,2	-0,3	82,1	82,5	0,0
Dez	278,9	152,8	126,1	0,0	100,0	99,8	152,8	0,0	26,3
Jan	238,0	137,0	101,0	0,0	100,0	0,0	137,0	0,0	101,0
Fev	190,6	128,3	62,3	0,0	100,0	0,0	128,3	0,0	62,3
Mar	217,9	123,4	94,5	0,0	100,0	0,0	123,4	0,0	94,5
Abr	70,8	115,8	-45,0	-45,0	63,8	-36,2	107,0	8,8	0,0
Total	1262,0	1543,2	-281,2	-2249,7	614,3	-36,2	1014,1	529,1	284,2

Mês	P (mm)	EToPMrsoc (mm)	P-EToPMrsoc (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrPMrsoc (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai	73,1	86,8	-13,7	-13,7	3,2	-7,8	80,9	5,9	0,0
Jun	11,3	83,7	-72,4	-86,1	0,0	-3,2	14,5	69,3	0,0
Jul	0,0	106,6	-106,6	-192,7	0,0	0,0	0,0	106,6	0,0
Ago	24,2	138,7	-114,5	-307,2	0,0	0,0	24,2	114,5	0,0
Set	15,1	155,4	-140,3	-447,5	0,0	0,0	15,1	140,3	0,0
Out	60,3	150,2	-89,9	-537,4	0,0	0,0	60,3	89,9	0,0
Nov	81,8	164,5	-82,7	-620,1	0,0	0,0	81,8	82,7	0,0
Dez	278,9	152,8	126,1	0,0	11,0	11,0	152,8	0,0	115,1
Jan	238,0	137,0	101,0	0,0	11,0	0,0	137,0	0,0	101,0
Fev	190,6	128,3	62,3	0,0	11,0	0,0	128,3	0,0	62,3
Mar	217,9	123,4	94,5	0,0	11,0	0,0	123,4	0,0	94,5
Abr	70,8	115,8	-45,0	-45,0	0,2	-10,8	81,6	34,2	0,0
Total	1262,0	1543,2	-281,2	-2249,7	47,4	-10,8	899,9	643,3	373,0

APÊNDICE X. Valores de evapotranspiração real calculados através do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a evapotranspiração de referência estimada por Penman-Monteith FAO 56 utilizando valores de radiação solar global observados (EToPMrso), em período **quinzenal**.

Mês	P (mm)	EToPMrso (mm)	P-EToPMrso (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrPMrso (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai_1	61,2	41,8	19,4	0,0	100,0	0,0	41,8	0,0	19,4
Mai_2	11,9	44,9	-33,0	-33,0	71,9	-28,1	40,0	4,9	0,0
Jun_1	7,3	41,9	-34,6	-67,7	50,8	-21,0	28,3	13,6	0,0
Jun_2	4,0	41,8	-37,8	-105,5	34,8	-16,0	20,0	21,8	0,0
Jul_1	0,0	44,5	-44,5	-149,9	22,3	-12,5	12,5	32,0	0,0
Jul_2	0,0	62,1	-62,1	-212,1	12,0	-10,3	10,3	51,8	0,0
Ago_1	22,5	60,6	-38,1	-250,1	8,2	-3,8	26,3	34,3	0,0
Ago_2	1,7	78,1	-76,4	-326,5	3,8	-4,4	6,1	72,0	0,0
Set_1	2,2	79,5	-77,3	-403,8	1,8	-2,1	4,3	75,2	0,0
Set_2	12,9	76,0	-63,1	-466,9	0,9	-0,8	13,7	62,2	0,0
Out_1	37,2	67,3	-30,1	-497,0	0,7	-0,2	37,4	29,8	0,0
Out_2	23,1	82,9	-59,8	-556,8	0,4	-0,3	23,4	59,5	0,0
Nov_1	43,9	71,3	-27,4	-584,2	0,3	-0,1	44,0	27,3	0,0
Nov_2	37,9	93,3	-55,4	-639,5	0,2	-0,1	38,0	55,2	0,0
Dez_1	59,2	83,2	-24,0	-663,5	0,1	0,0	59,2	24,0	0,0
Dez_2	219,7	69,6	150,1	0,0	100,0	99,9	69,6	0,0	50,3
Jan_1	76,3	74,4	1,9	0,0	100,0	0,0	74,4	0,0	1,9
Jan_2	161,7	62,6	99,1	0,0	100,0	0,0	62,6	0,0	99,1
Fev_1	171,6	65,1	106,5	0,0	100,0	0,0	65,1	0,0	106,5
Fev_2	19,0	63,2	-44,2	-44,2	64,2	-35,8	54,8	8,5	0,0
Mar_1	168,5	65,6	102,9	0,0	100,0	35,8	65,6	0,0	67,2
Mar_2	49,4	57,8	-8,4	-8,4	92,0	-8,0	57,4	0,3	0,0
Abr_1	70,8	55,7	15,1	0,0	100,0	8,0	55,7	0,0	7,1
Abr_2	0,0	60,1	-60,1	-60,1	54,8	-45,2	45,2	14,9	0,0
Total	1262,0	1543,2	-281,2	-5069,3	1119,3	-45,2	955,7	587,4	351,4

Mês	P (mm)	EToPMrsoc (mm)	P-EToPMrsoc (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrPMrsoc (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai_1	61,2	41,8	19,4	0,0	11,0	0,0	41,8	0,0	19,4
Mai_2	11,9	44,9	-33,0	-33,0	0,5	-10,5	22,4	22,6	0,0
Jun_1	7,3	41,9	-34,6	-67,7	0,0	-0,5	7,8	34,1	0,0
Jun_2	4,0	41,8	-37,8	-105,5	0,0	0,0	4,0	37,8	0,0
Jul_1	0,0	44,5	-44,5	-149,9	0,0	0,0	0,0	44,5	0,0
Jul_2	0,0	62,1	-62,1	-212,1	0,0	0,0	0,0	62,1	0,0
Ago_1	22,5	60,6	-38,1	-250,1	0,0	0,0	22,5	38,1	0,0
Ago_2	1,7	78,1	-76,4	-326,5	0,0	0,0	1,7	76,4	0,0
Set_1	2,2	79,5	-77,3	-403,8	0,0	0,0	2,2	77,3	0,0
Set_2	12,9	76,0	-63,1	-466,9	0,0	0,0	12,9	63,1	0,0
Out_1	37,2	67,3	-30,1	-497,0	0,0	0,0	37,2	30,1	0,0
Out_2	23,1	82,9	-59,8	-556,8	0,0	0,0	23,1	59,8	0,0
Nov_1	43,9	71,3	-27,4	-584,2	0,0	0,0	43,9	27,4	0,0
Nov_2	37,9	93,3	-55,4	-639,5	0,0	0,0	37,9	55,4	0,0
Dez_1	59,2	83,2	-24,0	-663,5	0,0	0,0	59,2	24,0	0,0
Dez_2	219,7	69,6	150,1	0,0	11,0	11,0	69,6	0,0	139,1
Jan_1	76,3	74,4	1,9	0,0	11,0	0,0	74,4	0,0	1,9
Jan_2	161,7	62,6	99,1	0,0	11,0	0,0	62,6	0,0	99,1
Fev_1	171,6	65,1	106,5	0,0	11,0	0,0	65,1	0,0	106,5
Fev_2	19,0	63,2	-44,2	-44,2	0,2	-10,8	29,8	33,4	0,0
Mar_1	168,5	65,6	102,9	0,0	11,0	10,8	65,6	0,0	92,1
Mar_2	49,4	57,8	-8,4	-8,4	5,1	-5,9	55,3	2,5	0,0
Abr_1	70,8	55,7	15,1	0,0	11,0	5,9	55,7	0,0	9,2
Abr_2	0,0	60,1	-60,1	-60,1	0,0	-11,0	11,0	49,1	0,0
Total	1262,0	1543,2	-281,2	-5069,3	82,9	-11,0	805,5	737,6	467,4

APÊNDICE Y. Valores de evapotranspiração real calculados através do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a evapotranspiração de referência estimada por Penman-Monteith FAO 56 utilizando valores de saldo de radiação (Rn) coletado em campo (ETrPM), referente aos meses de maio de 2008 a abril de 2009, em período **mensal**.

Mês	P (mm)	EToPM	P-EToPM (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrPM (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai	73,1	77,8	-4,7	-4,7	95,4	-4,6	77,7	0,1	0,0
Jun	11,3	78,8	-67,5	-72,2	48,6	-46,8	58,1	20,7	0,0
Jul	0,0	109,4	-109,4	-181,6	16,3	-32,3	32,3	77,1	0,0
Ago	24,2	130,3	-106,1	-287,7	5,6	-10,6	34,8	95,5	0,0
Set	15,1	137,7	-122,6	-410,3	1,7	-4,0	19,1	118,6	0,0
Out	60,3	139,9	-79,6	-489,9	0,7	-0,9	61,2	78,7	0,0
Nov	81,8	155,8	-74,0	-563,9	0,4	-0,4	82,2	73,6	0,0
Dez	278,9	141,9	137,0	0,0	100,0	99,6	141,9	0,0	37,4
Jan	238,0	124,1	113,9	0,0	100,0	0,0	124,1	0,0	113,9
Fev	190,6	119,8	70,8	0,0	100,0	0,0	119,8	0,0	70,8
Mar	217,9	111,9	106,0	0,0	100,0	0,0	111,9	0,0	106,0
Abr	70,8	103,9	-33,1	-33,1	71,8	-28,2	99,0	4,9	0,0
Total	1262,0	1431,3	-169,3	-2043,4	640,5	-28,2	962,1	469,2	328,1

Mês	P (mm)	EToPMc (mm)	P-EToPMc (mm)	NEG-AC	ARM	ALT	ETrPMc	DEF	EXC
Mai	73,1	77,8	-4,7	-4,7	7,2	-3,8	76,9	0,9	0,0
Jun	11,3	78,8	-67,5	-72,3	0,0	-7,2	18,5	60,4	0,0
Jul	0,0	109,4	-109,4	-181,6	0,0	0,0	0,0	109,4	0,0
Ago	24,2	130,4	-106,2	-287,8	0,0	0,0	24,2	106,2	0,0
Set	15,1	137,6	-122,5	-410,3	0,0	0,0	15,1	122,5	0,0
Out	60,3	139,9	-79,6	-489,9	0,0	0,0	60,3	79,6	0,0
Nov	81,8	155,8	-74,0	-563,8	0,0	0,0	81,8	74,0	0,0
Dez	278,9	141,9	137,0	0,0	11,0	11,0	141,9	0,0	126,0
Jan	238,0	124,1	113,9	0,0	11,0	0,0	124,1	0,0	113,9
Fev	190,6	119,8	70,8	0,0	11,0	0,0	119,8	0,0	70,8
Mar	217,9	111,8	106,1	0,0	11,0	0,0	111,8	0,0	106,1
Abr	70,8	103,9	-33,1	-33,1	0,5	-10,5	81,3	22,6	0,0
Total	1262,0	1431,2	-169,2	-2043,5	51,7	-10,5	855,7	575,5	416,8

APÊNDICE Z. Valores de evapotranspiração real calculados através do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather utilizando a evapotranspiração de referência estimada por Penman-Monteith FAO 56 utilizando valores de saldo de radiação (Rn) coletado em campo (ETrPM), referente aos meses de maio de 2008 a abril de 2009, em período **quinzenal**.

Mês	P (mm)	EToPM (mm)	P-EToPM (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrPM (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai_1	61,2	38,9	22,3	0,0	100,0	0,0	38,9	0,0	22,3
Mai_2	11,9	38,9	-27,0	-27,0	76,4	-23,6	35,5	3,3	0,0
Jun_1	7,3	34,6	-27,3	-54,2	58,1	-18,2	25,5	9,0	0,0
Jun_2	4,0	44,3	-40,3	-94,5	38,9	-19,3	23,3	21,0	0,0
Jul_1	0,0	46,6	-46,6	-141,1	24,4	-14,5	14,5	32,1	0,0
Jul_2	0,0	62,8	-62,8	-203,9	13,0	-11,4	11,4	51,4	0,0
Ago_1	22,5	57,7	-35,2	-239,1	9,2	-3,9	26,4	31,3	0,0
Ago_2	1,7	72,7	-71,0	-310,1	4,5	-4,7	6,4	66,4	0,0
Set_1	2,2	71,5	-69,3	-379,3	2,3	-2,2	4,4	67,0	0,0
Set_2	12,9	66,1	-53,2	-432,6	1,3	-0,9	13,8	52,3	0,0
Out_1	37,2	62,9	-25,7	-458,2	1,0	-0,3	37,5	25,4	0,0
Out_2	23,1	77,0	-53,9	-512,1	0,6	-0,4	23,5	53,5	0,0
Nov_1	43,9	65,9	-22,0	-534,1	0,5	-0,1	44,0	21,8	0,0
Nov_2	37,9	89,9	-52,0	-586,1	0,3	-0,2	38,1	51,8	0,0
Dez_1	59,2	77,4	-18,2	-604,3	0,2	0,0	59,2	18,2	0,0
Dez_2	219,7	64,5	155,2	0,0	100,0	99,8	64,5	0,0	55,4
Jan_1	76,3	70,2	6,1	0,0	100,0	0,0	70,2	0,0	6,1
Jan_2	161,7	53,9	107,8	0,0	100,0	0,0	53,9	0,0	107,8
Fev_1	171,6	59,5	112,1	0,0	100,0	0,0	59,5	0,0	112,1
Fev_2	19,0	60,3	-41,3	-41,3	66,2	-33,8	52,8	7,5	0,0
Mar_1	168,5	60,6	107,9	0,0	100,0	33,8	60,6	0,0	74,0
Mar_2	49,4	51,2	-1,8	-1,8	98,2	-1,8	51,2	0,0	0,0
Abr_1	70,8	50,4	20,4	0,0	100,0	1,8	50,4	0,0	18,6
Abr_2	0,0	53,5	-53,5	-53,5	58,6	-41,4	41,4	12,1	0,0
Total	1262,0	1431,2	-169,2	-4673,1	1153,6	-41,4	907,1	524,1	396,3

Mês	P (mm)	EToPMc (mm)	P-EToPMc (mm)	NEG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETrPMc (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Mai_1	61,2	38,9	22,3	0,0	11,0	0,0	38,9	0,0	22,3
Mai_2	11,9	38,9	-27,0	-27,0	0,9	-10,1	22,0	16,9	0,0
Jun_1	7,3	34,6	-27,3	-54,2	0,1	-0,9	8,2	26,4	0,0
Jun_2	4,0	44,3	-40,3	-94,5	0,0	-0,1	4,1	40,2	0,0
Jul_1	0,0	46,6	-46,6	-141,1	0,0	0,0	0,0	46,6	0,0
Jul_2	0,0	62,8	-62,8	-203,9	0,0	0,0	0,0	62,8	0,0
Ago_1	22,5	57,7	-35,2	-239,1	0,0	0,0	22,5	35,2	0,0
Ago_2	1,7	72,7	-71,0	-310,1	0,0	0,0	1,7	71,0	0,0
Set_1	2,2	71,5	-69,3	-379,3	0,0	0,0	2,2	69,3	0,0
Set_2	12,9	66,1	-53,2	-432,6	0,0	0,0	12,9	53,2	0,0
Out_1	37,2	62,9	-25,7	-458,2	0,0	0,0	37,2	25,7	0,0
Out_2	23,1	77,0	-53,9	-512,1	0,0	0,0	23,1	53,9	0,0
Nov_1	43,9	65,9	-22,0	-534,1	0,0	0,0	43,9	22,0	0,0
Nov_2	37,9	89,9	-52,0	-586,1	0,0	0,0	37,9	52,0	0,0
Dez_1	59,2	77,4	-18,2	-604,3	0,0	0,0	59,2	18,2	0,0
Dez_2	219,7	64,5	155,2	0,0	11,0	11,0	64,5	0,0	144,2
Jan_1	76,3	70,2	6,1	0,0	11,0	0,0	70,2	0,0	6,1
Jan_2	161,7	53,9	107,8	0,0	11,0	0,0	53,9	0,0	107,8
Fev_1	171,6	59,5	112,1	0,0	11,0	0,0	59,5	0,0	112,1
Fev_2	19,0	60,3	-41,3	-41,3	0,3	-10,7	29,7	30,6	0,0
Mar_1	168,5	60,6	107,9	0,0	11,0	10,7	60,6	0,0	97,1
Mar_2	49,4	51,2	-1,8	-1,8	9,3	-1,7	51,1	0,1	0,0
Abr_1	70,8	50,4	20,4	0,0	11,0	1,7	50,4	0,0	18,7
Abr_2	0,0	53,5	-53,5	-53,5	0,1	-10,9	10,9	42,5	0,0
Total	1262,0	1431,2	-169,2	-4673,1	87,7	-10,9	764,6	666,5	508,3

APÊNDICE AA. Valores da tensão de água do solo (kPa) verificados através dos tensiômetros instalados em três lisímetros nunca irrigados (1, 2 e 4) e três lisímetros irrigados esporadicamente (7, 8 e 10), referente aos meses de maio de 2008 a abril de 2009.

Data	Tensiômetro	Tensão da água do solo em cada lisímetro (kPa)					
	Profundidades (cm)	1	2	4	7	8	10
17/05/2008	25	6,70	6,57	7,53	6,81	9,46	7,58
	50	7,80	7,99	9,16	8,28	8,99	8,92
	75	12,80	11,74	13,36	13,14	13,96	12,74
	90	11,92	11,54	12,19	12,07	12,22	12,14
18/05/2008	25	6,50	6,53	7,36	6,71	8,14	6,78
	50	7,20	7,31	9,11	8,33	8,17	8,58
	75	12,98	11,53	13,40	13,25	13,64	12,72
	90	11,96	11,70	12,16	12,20	12,23	12,17
19/05/2008	25	7,06	5,66	7,92	7,30	8,26	6,99
	50	8,15	8,06	9,26	8,53	8,21	8,80
	75	13,24	12,10	13,49	13,09	13,87	12,74
	90	11,93	11,68	12,22	12,15	12,32	12,26
20/05/2008	25	7,18	6,82	7,80	7,26	8,06	7,58
	50	8,43	7,98	8,86	8,42	8,73	8,36
	75	13,53	11,97	11,32	13,08	13,75	12,05
	90	12,60	11,63	10,18	9,66	11,34	11,76
21/05/2008	25	6,75	6,68	6,58	6,95	4,60	2,40
	50	7,29	7,59	7,85	1,20	2,38	2,65
	75	12,07	10,88	10,78	7,46	6,76	3,95
	90	11,30	10,90	10,24	3,93	0,78	1,65
22/05/2008	25	6,48	6,85	1,07	0,64	0,55	0,40
	50	7,85	6,55	1,98	1,98	1,81	0,86
	75	8,58	4,78	6,70	4,70	3,91	1,28
	90	0,00	4,20	4,40	4,45	5,46	4,60
10/06/2008	25	7,75	2,85	4,38	16,98	19,25	16,16
	50	6,78	3,39	4,23	6,54	6,75	7,38
	75	7,85	4,07	5,28	7,57	8,50	7,35
	90	3,14	3,53	6,96	6,90	7,38	7,98
17/06/2008	25	12,82	10,26	13,72	1,02	5,61	0,94
	50	3,33	4,42	3,48	1,88	2,06	2,13
	75	4,40	4,28	27,60	3,18	1,79	2,64
	90	3,68	4,06	3,81	4,86	1,02	2,11
27/06/2008	25	10,52	24,36	18,98	11,62	18,27	14,07
	50	1,03	1,98	2,13	0,00	3,14	1,09
	75	0,88	1,94	0,00	0,49	0,21	2,03
	90	0,00	2,18	1,98	1,10	1,03	1,14
02/07/2008	25	13,32	16,76	12,38	8,78	9,77	8,23
	50	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
	75	1,98	1,79	1,98	1,98	1,98	1,98
	90	1,98	0,68	0,00	1,98	1,98	0,73
08/07/2008	25	7,27	20,48	-1,98	13,26	-1,98	14,66
	50	4,11	1,98	11,98	6,30	3,17	5,28
	75	0,91	2,66	1,14	-1,98	0,56	1,31
	90	0,61	0,90	0,00	0,98	1,74	0,00
27/07/2008	25	76,49	77,42	79,38	81,04	82,68	74,07
	50	77,40	77,94	71,78	69,07	49,36	65,29
	75	17,96	21,25	14,98	16,36	15,46	14,82
	90	16,14	15,93	13,42	13,38	13,27	13,54

Data	Tensiômetro	Tensão da água do solo em cada lisímetro (kPa)					
	Profundidades (cm)	1	2	4	7	8	10
08/08/2008	25	24,05	45,58	46,72	33,89	40,10	38,68
	50	60,83	61,99	45,31	45,83	29,20	46,49
	75	23,32	30,80	16,02	17,53	15,78	15,82
	90	20,77	21,12	14,58	14,92	14,24	14,78
14/08/2008	25	38,55	43,20	37,45	9,89	8,86	7,88
	50	57,49	58,97	32,19	9,81	7,77	8,68
	75	25,43	33,62	16,06	13,42	13,87	12,92
	90	22,19	23,67	14,78	12,88	12,30	13,38
21/08/2008	25	58,70	55,30	53,51	6,88	6,85	6,39
	50	66,61	64,12	51,90	7,28	6,73	7,14
	75	36,35	50,58	17,28	13,00	12,24	12,12
	90	28,15	31,16	15,31	12,16	11,80	12,24
28/08/2008	25	72,02	72,78	70,51	8,89	8,80	8,66
	50	75,73	75,86	69,02	8,49	7,03	7,90
	75	70,04	77,73	18,94	12,65	13,09	11,50
	90	54,16	60,94	16,74	11,86	12,48	12,18
04/09/2008	25	70,47	74,65	71,41	11,99	12,19	8,66
	50	73,03	77,53	72,23	8,89	7,66	8,12
	75	79,36	82,88	21,48	12,73	13,09	11,63
	90	75,00	81,56	18,76	11,68	12,22	11,33
11/09/2008	25	65,04	78,96	65,09	11,50	13,11	5,90
	50	70,72	77,67	67,43	9,33	7,49	5,17
	75	73,98	74,38	24,28	19,66	12,84	13,25
	90	75,28	76,53	21,50	12,70	11,63	12,30
18/09/2008	25	67,74	76,53	65,01	56,18	63,39	8,94
	50	72,64	76,21	64,51	12,57	11,12	8,70
	75	69,41	67,63	31,53	13,19	13,18	12,15
	90	70,46	72,86	24,75	12,44	12,60	12,14
25/09/2008	25	70,72	70,70	58,34	61,43	68,83	33,09
	50	72,10	76,94	65,30	33,34	27,00	10,06
	75	71,65	70,00	36,42	13,36	13,94	12,89
	90	75,31	75,29	27,25	12,17	12,18	12,55

Data	Tensiômetro	Tensão da água do solo em cada lisímetro (kPa)					
	Profundidades (cm)	1	2	4	7	8	10
02/10/2008	25	9,95	71,46	21,00	6,28	72,77	48,62
	50	79,76	59,58	77,84	46,12	64,48	13,98
	75	77,29	72,25	48,08	14,59	15,19	13,80
	90	80,30	77,09	35,24	12,97	13,58	12,57
03/10/2008	25	10,26	11,74	8,56	7,42	63,40	7,39
	50	79,91	50,72	74,92	69,78	56,39	13,38
	75	76,61	66,33	44,70	14,69	14,83	14,18
	90	80,86	76,08	32,92	13,56	33,83	13,34
09/10/2008	25	18,34	20,54	14,82	13,57	18,29	9,83
	50	62,40	61,75	42,95	35,28	27,62	11,50
	75	65,30	61,40	39,62	14,10	14,95	13,68
16/10/2008	90	49,89	70,23	33,84	12,98	12,84	13,05
	25	44,31	51,98	21,00	45,92	46,68	27,84
	50	54,70	61,94	37,94	43,59	33,34	13,45
	75	58,73	60,71	35,51	14,66	15,99	13,96
23/10/2008	90	55,64	26,74	32,40	13,97	14,13	13,64
	25	22,24	30,02	10,98	13,34	21,36	14,30
	50	62,29	60,13	48,10	40,16	34,08	15,62
	75	62,45	59,43	36,54	16,53	16,53	14,07
26/10/2008	90	67,06	57,00	33,68	14,88	14,83	12,36
	25	44,33	57,95	13,00	29,29	35,20	21,37
	50	68,60	70,01	43,22	35,98	36,30	14,88
	75	64,29	64,41	36,63	15,13	16,27	14,18
30/10/2008	90	62,30	62,18	35,66	14,63	13,52	13,10
	25	78,48	81,23	46,81	77,12	72,94	67,86
	50	81,18	81,36	70,89	74,01	62,93	26,48
	75	78,67	82,80	51,86	19,90	20,72	14,39
06/11/2008	90	80,96	81,98	47,18	16,63	17,00	13,40
	25	40,72	51,07	31,68	28,68	32,39	29,70
	50	63,42	62,24	50,14	52,39	48,23	34,62
	75	50,71	58,66	44,78	22,97	26,95	14,90
13/11/2008	90	59,97	62,31	44,38	22,16	21,10	14,88
	25	52,08	55,13	15,03	30,05	39,57	39,37
	50	62,32	64,42	54,05	55,82	42,51	26,81
	75	62,51	66,23	53,73	28,71	26,99	14,97
15/11/2008	90	62,78	66,96	52,14	25,15	22,65	14,45
	25	73,21	74,13	15,42	53,99	65,58	61,29
	50	78,02	79,12	69,11	73,58	69,42	30,74
	75	77,96	71,58	67,85	30,62	28,65	15,23
20/11/2008	90	78,65	80,22	66,28	26,28	23,99	14,98
	25	27,60	37,94	8,73	8,30	8,15	5,80
	50	70,28	70,33	45,94	9,58	6,38	7,69
	75	68,58	77,80	43,42	24,83	20,46	12,88
27/11/2008	90	68,84	76,92	45,46	22,27	18,74	10,92
	25	81,38	88,91	31,70	36,04	61,12	25,30
	50	38,91	82,08	80,20	12,90	18,78	8,59
	75	80,47	80,30	58,45	18,47	18,03	12,90
	90	80,11	79,70	63,20	17,43	15,09	13,40

Data	Tensiômetro	Tensão da água do solo em cada lisímetro (kPa)					
	Profundidades (cm)	1	2	4	7	8	10
04/12/2008	25	30,09	52,07	11,63	11,27	30,23	23,62
	50	23,49	61,32	57,54	44,58	35,56	12,23
	75	64,76	67,99	50,45	26,87	23,12	13,80
	90	66,12	66,36	55,71	24,18	21,20	13,14
11/12/2008	25	7,18	7,98	6,08	5,92	23,98	5,62
	50	73,97	72,27	73,82	72,46	67,18	17,39
	75	74,09	70,91	68,32	51,67	41,50	14,65
	90	74,36	76,38	69,56	34,23	28,58	13,78
18/12/2008	25	8,80	7,38	7,76	6,68	7,56	6,27
	50	9,29	7,63	7,40	7,48	3,98	7,16
	75	60,86	63,68	60,04	37,98	27,94	12,94
	90	70,20	68,36	58,31	32,43	29,22	11,30
25/12/2008	25	5,98	5,10	6,60	4,90	6,15	5,82
	50	8,47	6,49	6,61	7,32	6,42	6,20
	75	16,44	14,13	12,12	12,56	12,35	12,44
	90	14,45	14,48	11,80	11,13	11,69	12,57
01/01/2009	25	11,20	8,95	8,70	7,95	6,67	8,21
	50	11,70	9,30	8,40	8,52	7,12	8,63
	75	12,80	12,88	10,71	12,40	12,96	10,50
	90	11,50	11,47	8,83	11,22	12,18	11,98
08/01/2009	25	10,37	9,62	8,94	7,43	7,73	6,78
	50	9,14	8,88	6,30	6,80	6,49	7,66
	75	73,40	11,41	7,81	4,19	11,94	9,96
	90	8,94	10,92	7,35	7,75	9,78	10,75
15/01/2009	25	7,27	6,77	7,15	6,57	16,03	6,22
	50	11,46	12,50	9,23	10,86	10,53	8,44
	75	14,81	14,50	13,39	12,70	14,15	11,76
	90	11,93	12,68	9,59	12,25	11,36	10,53
22/01/2009	25	9,28	8,92	8,93	7,64	6,99	6,70
	50	9,74	8,37	6,99	6,72	7,06	7,89
	75	12,52	12,24	12,43	11,33	13,39	10,63
	90	7,84	10,36	8,73	7,95	9,86	11,38
29/01/2009	25	6,65	6,29	6,39	5,63	5,58	5,09
	50	7,82	7,30	5,87	6,82	5,49	6,77
	75	11,57	11,09	10,80	10,34	12,18	9,58
	90	7,89	9,84	7,60	7,86	8,84	10,96
05/02/2009	25	7,65	7,05	7,51	5,23	3,88	6,35
	50	9,38	8,76	7,20	7,58	6,94	7,92
	75	13,49	12,70	12,72	6,29	15,42	11,29
	90	11,82	11,55	11,29	11,21	11,67	10,42
12/02/2009	25	7,83	7,08	7,35	5,97	6,46	5,85
	50	9,32	8,42	5,78	6,88	6,32	7,73
	75	12,95	12,28	11,98	11,78	12,95	10,65
	90	10,68	11,95	11,28	11,34	10,99	11,93
19/02/2009	25	8,99	8,06	9,13	6,69	7,90	6,73
	50	9,98	9,13	8,05	6,25	6,36	8,10
	75	13,52	12,68	11,97	12,74	12,94	10,90
	90	9,90	10,62	8,63	9,14	11,31	11,72
26/02/2009	25	18,75	21,33	24,76	16,90	20,32	16,40
	50	14,27	10,87	11,31	8,68	8,86	9,73
	75	14,53	14,53	12,54	10,96	12,76	12,00
	90	12,73	11,89	12,05	11,08	12,23	12,54

Data	Tensiômetro Profundidades (cm)	Tensão da água do solo em cada lisímetro (kPa)					
		1	2	4	7	8	10
05/03/2009	25	44,20	52,20	65,63	48,95	60,48	63,78
	50	17,38	18,84	15,70	18,06	18,65	13,23
	75	16,13	15,12	13,28	13,10	13,15	12,83
	90	12,86	13,09	12,63	11,67	12,39	12,45
12/03/2009	25	7,53	7,26	7,93	6,65	6,78	6,68
	50	8,98	8,68	8,36	6,86	6,23	7,26
	75	12,40	13,33	12,03	12,22	11,89	11,37
	90	11,47	11,06	11,71	10,73	11,76	11,89
19/03/2009	25	8,80	8,87	8,63	7,05	8,05	7,78
	50	10,20	8,99	8,78	8,35	7,23	8,46
	75	12,22	13,54	12,11	12,53	12,52	11,52
	90	12,15	12,53	11,98	11,84	12,16	12,03
26/03/2009	25	8,68	7,52	8,60	6,73	10,18	8,99
	50	10,56	11,57	11,29	11,99	8,96	9,98
	75	12,95	14,13	13,18	13,68	14,05	12,65
	90	12,62	12,78	12,53	12,18	12,99	12,46
02/04/2009	25	9,18	8,36	8,37	7,15	7,99	6,89
	50	9,48	9,27	8,96	7,08	6,78	7,70
	75	12,47	13,28	12,08	12,56	12,37	10,59
	90	11,96	11,94	11,74	11,59	12,08	12,15
09/04/2009	25	14,86	14,50	14,12	12,82	11,66	11,05
	50	12,73	12,49	11,48	8,56	8,76	9,79
	75	13,85	14,32	12,27	12,89	13,01	12,34
	90	12,76	12,35	11,93	12,27	12,56	12,97
16/04/2009	25	6,85	6,73	6,97	5,92	4,33	4,59
	50	8,29	8,35	7,84	6,83	5,72	6,68
	75	12,36	12,80	12,68	11,68	8,94	9,94
	90	12,17	12,66	12,69	11,74	10,89	11,84
23/04/2009	25	7,94	12,04	12,13	10,19	8,99	9,18
	50	8,68	10,78	11,08	8,78	7,86	8,06
	75	9,50	10,88	12,96	12,81	12,81	12,32
	90	11,10	11,19	12,33	12,38	12,48	12,38
30/04/2009	25	21,50	22,78	28,68	27,14	26,45	28,78
	50	19,38	19,76	12,36	10,71	8,81	10,56
	75	14,25	13,98	13,22	13,29	13,62	12,85
	90	13,12	12,88	12,22	12,58	13,50	12,43

