

VENILTON SANTOS BARBOSA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO IRRIGÂMETRO® NA
ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA
AS CONDIÇÕES DA REGIÃO SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO
SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Planejamento e Manejo de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis

ALEGRE

2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

B823a Barbosa, Venilton Santos, 1956-
Avaliação do desempenho do irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência para as condições da região sul do Estado do Espírito Santo / Venilton Santos Barbosa. – 2010.
67 f. : il.

Orientador: Edvaldo Fialho dos Reis.

Co-orientador: Giovanni de Oliveira Garcia.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Evapotranspiração. 2. Irrigâmetro. 3. Manejo de irrigação. I. Reis, Edvaldo Fialho dos. II. Garcia, Giovanni de Oliveira. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 63

VENILTON SANTOS BARBOSA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO IRRIGÂMETRO NA ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA AS CONDIÇÕES DA REGIÃO SUL DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em 01 de outubro de 2010

COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia
Centro de Ciências Agrárias – UFES
Co-orientador



Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane
Centro de Ciências Agrárias – UFES



Prof. Dr. Elias Fernandes Sousa
Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro - UENF

Aos meus pais, Jorge e Júlia (*in
memoriam*) que sempre
acreditaram em mim.

OFEREÇO

À minha esposa Virgínia e aos meus
filhos Wagner e João Victor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, nosso pai celestial, por permitir que possamos estar neste planeta em processos de evolução moral e intelectual.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis, pelos incentivos, pela confiança, pela amizade e oportunidade.

Aos acadêmicos do curso de Agronomia, Gláucio Luciano Araújo e Rogério Rangel Rodrigues, por terem prestado um bom punhado de ajuda durante a coleta de dados e de outras atividades.

Ao Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane, por ter me incentivado a me qualificar.

Ao amigo e Professor Dr. Mauro Elói Nappo, atualmente, docente da Universidade de Brasília (UnB), pela amizade sincera e apoio.

Ao CNPq, por viabilizar recursos financeiros para a instalação e condução do experimento.

Às bibliotecárias Maria Cândida Resende Regis Mauri e Ana Maria de Matos Mariani, agradeço com carinho.

Aos colegas de trabalho e aos colegas de turma, pelo apoio.

BIOGRAFIA

VENILTON SANTOS BARBOSA, filho de Jorge Domingos Barbosa e Júlia dos Santos Barbosa.

No ano de 1975, ingressou como acadêmico na Escola Superior de Agronomia do Espírito (Esaes), concluindo o seu curso de graduação em dezembro de 1979 no Centro Agropecuário da Universidade Federal do Espírito Santo, antiga Esaes.

Em 1982, foi contratado pela Universidade Federal do Espírito Santo – Centro Agropecuário no cargo/função de Engenheiro Agrônomo para desenvolver atividades neste Centro, em especial, nas fazendas experimentais como Coordenador das áreas de São José do Calçado - ES e de Alegre-ES.

Em 1987, assumiu a responsabilidade técnica sobre a estação agroclimatológica de Alegre pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na propriedade da fazenda experimental em Rive. No mesmo ano, foi lotado no Departamento de Engenharia Rural, por onde desenvolve suas atividades profissionais até os dias de hoje.

Por diversas vezes esteve colaborando com o Departamento de Engenharia Rural do Centro Agropecuário da Universidade Federal do Espírito Santo na parte acadêmica, ministrando aulas de Meteorologia Agrícola e Florestal para turmas do curso de graduação, como colaborador.

Nos meados do ano de 1992, concluiu o curso de especialização “Lato sensu” em Agroecologia oferecido pela Universidade Federal do Espírito Santo.

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o desempenho do Irrigâmetro[®] para a estimativa da evapotranspiração de referência na região Sul do Estado do Espírito Santo, durante as estações do ano, bem como, calcular os valores dos coeficientes do Irrigâmetro[®] (K_I) para cada uma dessas estações. O experimento foi conduzido na fazenda Experimental de Rive de propriedade da Universidade Federal do Espírito Santo, no município de Alegre-ES, utilizando-se cinco níveis, correspondentes às alturas de água no interior do evaporatório, iguais a 2, 3, 4, 5 e 6 cm, respectivamente, com três repetições. Os dados de evapotranspiração obtidos pelo Irrigâmetro[®] foram comparados com os de evapotranspiração de referência (ET_0) obtidos com o uso do método padrão de Penman-Monteith – FAO 56. O Irrigâmetro[®] apresenta eficiência e um desempenho satisfatório, comparativamente ao método de Penman-Monteith – FAO 56, para a estimativa de Evapotranspiração de Referência (ET_0) nas estações outono, inverno, primavera e verão. O Irrigâmetro[®] pode ser recomendado para o manejo da água na agricultura irrigada. Os níveis de água recomendados para as estações do outono, inverno, primavera e verão são 3,06; 2,87; 3,08 e 2,71 cm, respectivamente, para todos os intervalos de tempo analisados. Os valores do coeficiente do Irrigâmetro[®] (K_I) para as estações do outono, inverno, primavera e verão, trabalhando no nível N3 são 0,98; 1,02; 0,98 e 1,05 para períodos diários. Para os períodos de dois e quatro dias são 0,98; 1,01; 0,97 e 1,05 e, 0,97; 1,03; 0,98 e 1,05, respectivamente.

Palavras-chave: Irrigâmetro[®]. Evapotranspiração de referência.

ABSTRACT

The present study was carried out with the objective to evaluate the performance of the Irrigâmetro® at estimation of reference crop evapotranspiration in the South Region of Espírito Santo State, during seasons of the year, as well as, to calculate the values of the coefficients of Irrigâmetro® (K_i) for each one of these seasons. The Irrigâmetro® is an evaporation-pluviometer device used in the irrigation management. The experiment was carried out in the experimental farm of Rive a property of Universidade Federal do Espírito Santo, in Alegre City-ES. The Irrigâmetro® was evaluated using five levels, correspondent to water heights inside container, equal to 2, 3, 4, 5 and 6 cm, respectively. The experiment was a completely randomized design, with three replications. Reference crop evapotranspiration data that arrived by means of Irrigâmetro® were contrasted with ones obtained with FAO-56 Penman-Monteith method. The Irrigâmetro® presents efficiency and an adequate performance, comparatively, to the FAO 56 Penman-Monteith method. The Irrigâmetro® can be recommended to water management in irrigated crops. The recommended water levels for autumn, winter, spring and summer seasons are 3.06, 2.87, 3.08, and 2.71 cm, respectively for all the analyzed intervals of time. Values of the coefficient of Irrigâmetro® (K_i) for the autumn, winter, spring and summer, working in the N3 level, are 0.98; 1.02; 0.98 and 1.05 for daily periods. For periods of two and four days they are 0.98; 1.01; 0.97 and 1.05 e, 0.97; 1.03; 0.98 and 1.05, respectively.

Key words: Irrigâmetro®. Evapotranspiration reference.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 MANEJO DE IRRIGAÇÃO.....	13
2.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA	14
2.3 IRRIGÂMETRO	22
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 LOCAL E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	25
3.2 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA	26
3.3 COEFICIENTE DO IRRIGÂMETRO (K_I).....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5 CONCLUSÕES	56
6 REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

A umidade do solo influencia diretamente o volume de água nele armazenado, bem como a sua resistência e a compactação, entre outros fatores. Logo, é de capital importância o conhecimento da umidade do solo para estudos do movimento da água no solo, disponibilidade de água, erosão, época e quantidade de água a ser aplicada em irrigação. Qualquer planejamento e operação de um projeto de irrigação em que se vise à máxima produção e à boa qualidade do produto, usando de maneira eficiente a água, requerem conhecimentos das inter-relações entre solo-água-planta-atmosfera e manejo de irrigação (BERNARDO et al., 2008).

O aumento do consumo de água devido ao crescimento da população mundial e seus diversos usos é apenas um dos fatores que levam à diminuição da disponibilidade desse recurso natural. Esse processo exige que técnicas e procedimentos relacionados ao uso racional da água sejam utilizados, principalmente na agricultura irrigada (BAPTESTINI, 2010).

De acordo com Contin (2008) os agricultores irrigantes dispõem de diversas metodologias no que diz respeito ao manejo de irrigação, sendo o nível tecnológico da propriedade agrícola o fator que determinará a escolha da estratégia mais adequada de manejo. Em culturas de alto valor econômico, as técnicas de manejo são mais sofisticadas.

Quantificar o consumo de água de forma mais precisa significa melhorar as tecnologias existentes, buscando-se novas técnicas que permitam avaliações mais rápidas, simples e precisas, razão pela qual se tem desenvolvido e testado numerosos métodos capazes de determinar diretamente a quantidade de água consumida pelas culturas (PIMENTEL et al., 2010).

O manejo da irrigação consiste na aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto, contribuindo para o aumento da produtividade e da qualidade dos produtos agrícolas, além de promover a melhoria absoluta do uso da água e de energia, com a preservação dos recursos hídricos.

Segundo Tagliaferre (2006), o manejo da água de irrigação é conduzido por meio da estimativa da evapotranspiração ou da avaliação do teor de água no solo.

O conhecimento da quantidade de água que um determinado solo pode perder no processo de evapotranspiração, considerando as suas condições físicas e as demais características de cada tipo de solo, as características da cultura nele instalada e as condições atmosféricas locais, são importantes para a escolha do método para o manejo da irrigação.

Caixeta (2009) e Baptestini (2010) consideram que o manejo da irrigação consiste em determinar o momento de irrigar e o tempo necessário para o funcionamento de um equipamento de irrigação, no caso de sistemas de irrigação por aspersão e localizada, ou a sua velocidade de deslocamento, no caso de pivô central e de sistemas lineares, com a finalidade de aplicar a quantidade de água necessária ao pleno desenvolvimento das culturas.

Ao escolher um método para a estimativa da evapotranspiração, deve-se levar em consideração sua praticidade e precisão, pois alguns métodos baseados em princípios físicos apresentam limitações, principalmente, quanto à instrumentação, o que poderá restringir sua utilização.

A Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), adotou como método padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência o método de Penman-Monteith – FAO 56 e, de acordo com Allen e outros, (1998), o referido modelo se destaca por ter o melhor desempenho entre os métodos combinados, apresentando estimativas confiáveis e consistentes de ET_0 .

A escolha do método mais adequado para a estimativa da evapotranspiração depende, primordialmente, da disponibilidade de dados meteorológicos (CAIXETA, 2009). Esses dados são indispensáveis ao desenvolvimento dos cálculos específicos para a determinação da evapotranspiração.

Diante da possível dificuldade na obtenção, da compreensão e do uso dos dados meteorológicos e, por visar atender às necessidades dos produtores irrigantes no

manejo da água na agricultura irrigada de forma mais prática, a Universidade Federal de Viçosa-MG, desenvolveu e patenteou um aparelho denominado Irrigâmetro.

Ele indica diretamente ao produtor, o momento de irrigar e a quantidade de água necessária à cultura, além do tempo que o sistema de irrigação deve funcionar, no caso de aspersão convencional, gotejamento e microaspersão, sem a necessidade do uso de cálculos, conhecimento técnico e/ou utilização de computador e programas computacionais. Para sistema de irrigação por pivô central ou linear, o Irrigâmetro indica diretamente a velocidade de deslocamento em termos percentuais do equipamento. Se ocorrer chuva, a precipitação é medida facilmente pelo operador do Irrigâmetro, que fica sabendo se a quantidade de água precipitada foi suficiente ou não para repor o déficit hídrico que existia no solo, também sem a necessidade de fazer cálculos. Além de atender ao produtor irrigante nas tomadas de decisões sobre o manejo de irrigação, o Irrigâmetro pode ser ajustado para fornecer diretamente a evapotranspiração de referência (ET_0) ou a evapotranspiração da cultura (ET_c) em qualquer estágio de seu desenvolvimento (OLIVEIRA; RAMOS, 2008).

Os objetivos deste estudo são: (a) avaliar o desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) em intervalos de 1 (um), 2 (dois) e 4 (quatro) dias para região localizada ao sul do Estado do Espírito Santo, tendo por base o método-padrão Penman-Monteith – FAO 56; (b) determinar o coeficiente do Irrigâmetro (K_i) para cada uma das estações do ano; e, (c) determinar para cada estação do ano, qual a altura do nível de água dentro do evaporatório referente à $K_i = 1$, isto é, a altura correspondente à estimativa da evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão Penman-Monteith – FAO 56.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MANEJO DE IRRIGAÇÃO

O setor agrícola brasileiro destaca-se por ser considerado o maior consumidor de água, alcançando aproximadamente 69% de toda a água derivada de rios, lagos e aquíferos subterrâneos. O restante é consumido pelas indústrias e pelo uso doméstico em geral (PAZ et al., 2000; ANA, 2006). Porém, de acordo com Howell (2000), a irrigação será um elemento de fundamental importância para prover a produção de alimentos e fibras em escala suficiente para uma população mundial que cresce continuamente.

De acordo com Baptestini (2010), por não adotar uma metodologia de controle de irrigação, o irrigante usualmente aplica água em excesso e, conseqüentemente, promove o desperdício de energia ou em aplicação insuficiente de água, causa a baixa produtividade das culturas, refletindo em prejuízos econômicos.

Na maioria das áreas irrigadas, a ausência de manejo racional da água resulta em aplicação excessiva, com desperdício de água e energia. Práticas adequadas de irrigação contribuem para aumentar a produtividade das culturas, melhorarem a quantidade de produtos agrícolas, minimizarem o uso da água e preservar os recursos hídricos (TAGLIAFERRE, 2006).

Existem diversas tecnologias aplicadas no manejo de irrigação, sendo o tanque Classe A, o tensiômetro e a estação meteorológica as mais usadas. Porém, grande parte dos produtores tem resistência à adoção dessas tecnologias por exigir conhecimento técnico, cálculos ou contratação de pessoal especializado (OLIVEIRA, et al., 2008).

Segundo Caixeta (2009) e Baptestini (2010), o manejo da irrigação consiste na determinação do momento de irrigar e do tempo necessário para o funcionamento de um equipamento de irrigação, no caso de sistemas de irrigação por aspersão e localizada, ou a sua velocidade de deslocamento, no caso de pivô central e de

sistemas lineares, com a finalidade de aplicar a quantidade de água necessária ao pleno desenvolvimento das culturas. É uma prática pouco aplicada, sendo, na maioria das vezes, empregada nas propriedades rurais que possuem grandes áreas irrigadas. O manejo da água de irrigação é geralmente conduzido através da estimativa da evapotranspiração ou da avaliação do teor da água no solo.

A determinação do consumo de água de uma cultura é fundamental no manejo da água de irrigação, podendo ser obtida a partir de medidas efetuadas no solo, na planta e nos elementos climáticos. Os métodos baseados em medidas no solo se fundamentam na determinação do seu teor de água; os que utilizam medidas na planta consideram o monitoramento do seu potencial hídrico e avaliações da resistência estomática e da temperatura da folha, entre os outros; os métodos baseados nos elementos climáticos consideram, desde simples medições da evaporação da água num tanque, como o Classe A, até complexas equações para a estimativa da evapotranspiração (ROCHA et al., 2003). De acordo com Tagliaferre (2006) e Caixeta (2009), a determinação da estimativa da evapotranspiração é usualmente mais utilizada devido a sua maior praticidade na determinação da necessidade hídrica da cultura e da menor exigência de mão-de-obra no manejo da irrigação, quando comparada com os métodos baseados em medidas no solo e na planta.

Uma das alternativas para racionalizar o uso da água em projetos agrícolas é estimar a evapotranspiração da cultura a partir da evapotranspiração de referência (CARDOSO et al., 2005). O cálculo diário da evapotranspiração de referência (ET_0) é a base para se determinar o valor da lâmina de irrigação a ser aplicada. O método de Penman-Monteith FAO – 56 é considerado padrão de referência para o cálculo da ET_0 (ALLEN et al., 1998), para a sua utilização são empregados dados de algumas variáveis climáticas. Os produtores rurais, contudo, nem sempre dispõem desses dados, sendo necessária a utilização de métodos mais simples para o cálculo de ET_0 .

2.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

A evapotranspiração pode ser definida como sendo a quantidade de água transferida do solo para a atmosfera em forma de vapor, através dos processos combinados de evaporação da superfície do terreno e transpiração da cobertura vegetal (ALFONSI et al., 1990). Podem ser expressos em valores totais, médios, diários e horários, em volume por unidade de área ou em lâmina de água, no período considerado (BERNARDO et al., 2008).

A determinação direta da evapotranspiração de referência pode ser feita de diversas maneiras. Segundo Bernardo e outros (2008), os principais métodos diretos são: a) lisímetros; b) parcelas experimentais no campo; c) controle de umidade do solo; e d) método de “Entrada e Saída” em grandes áreas. A determinação da evapotranspiração de referência por meio de métodos indiretos se divide em dois grandes grupos: a) evaporímetros; e b) equações. Considera que no caso (b), a maioria delas é de difícil aplicação, não só pela complexidade do cálculo, mas também por exigir grande número de elementos meteorológicos, somente fornecidos por estações de primeira classe ou automáticas.

Conforme Jensen e outros (1990) enquadram-se como métodos indiretos os modelos de Penman, Thornthwaite, Blaney-Cridde, Jensen-Haise, Priestley-Taylor e Hargreaves, entre outros, além dos evaporímetros, como o tanque classe A.

Segundo Tagliaferre (2006), a determinação da evapotranspiração de referência por meio do Irrigâmetro pode ser de forma direta ou indireta, dependendo se este equipamento estiver equipado com um evaporímetro ou com um evapotranspirômetro. Considera que se estiver equipado com um evaporímetro, medirá indiretamente a ET_0 ou, ainda, a ET_C em cada estágio de desenvolvimento da cultura. Se estiver equipado com um evapotranspirômetro de lençol freático constante, ele medirá diretamente a ET_0 ou a ET_C , se nele estiver sendo cultivada a grama-batatais ou a cultura de interesse, respectivamente.

Reis e outros (2007), avaliando métodos de estimativa da ET_0 para Venda Nova do Imigrante, Espírito Santo (ES), em comparação ao método padrão-FAO, no período

seco (junho a agosto), em escala diária, obtiveram desempenho classificado como "bom" pelos métodos de Penman modificado, da Radiação Solar, Blaney-Cridle, Priestley-Taylor e Makkink e, desempenho "péssimo" pelo método de Hargreaves-Samani (1985).

A escolha do método de estimativa da ET_0 depende da disponibilidade de dados, escala de tempo requerida e condições climáticas na qual o método foi desenvolvido (PEREIRA et al., 2002).

Segundo Mantovani e outros (2007), a evapotranspiração de referência representa a demanda hídrica de uma região, sendo um termo variante de região para região, ou seja, é dependente única e exclusivamente das condições climáticas presentes no local.

A sub-região em estudo, localizada ao sul do Estado do Espírito Santo enquadra-se na região sudeste do País e, conseqüentemente, possui, teoricamente, as mesmas características climáticas do sudeste, onde predominam períodos de estiagens em pleno verão (veranico), isto é, geralmente no mês de fevereiro e, possuindo um trimestre menos chuvoso para os meses de junho, julho e agosto. Entretanto, outras características marcantes fazem com que a região em estudo, se difira das demais sub-regiões do sudeste dentro do mesmo Estado, por estar localizada na região Centro-Sul do Estado do Espírito Santo, com o seu predominante relevo acidentado, com a sua baixa altitude do ponto de coleta de dados e da sua continentalidade existente.

A evapotranspiração de referência (ET_0) pode ser medida ou até estimada indiretamente a partir de fórmulas teóricas. A medida direta tem uso restrito devido ao maior custo e a menor praticidade. Por esse motivo, as formas indiretas baseadas em dados meteorológicos são mais utilizadas.

A escolha do método de estimativa da ET_0 depende da disponibilidade de dados meteorológicos, pois, métodos complexos, que exigem grande número de variáveis, somente terão aplicabilidade quando houver disponibilidade de todos os dados necessários. A escala de tempo requerida é considerada outro fator que influencia

na escolha do método, pois, alguns métodos empíricos estimam a ET_0 em escala mensal, ao passo que os métodos que envolvem o saldo de radiação apresentam boas estimativas, também em escala diária. Por fim, é indispensável que se conheçam as condições climáticas para as quais os métodos foram desenvolvidos, pois, normalmente, a maioria deles não são de aplicação universal (PEREIRA et al., 2002).

De acordo com Allen e outros (1998), o modelo de Penman-Monteith – FAO 56 se destaca por ter o melhor desempenho entre os métodos combinados, apresentando estimativas confiáveis e consistentes de ET_0 .

A equação da ET_0 proposta por Penman-Monteith baseia-se numa formulação teórica que incorpora diversos parâmetros meteorológicos físicos:

$$ET_0 = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

em que:

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ;

R_n = saldo de radiação à superfície, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$;

G = densidade do fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$;

T = temperatura média do ar a 2 m de altura, $^{\circ}\text{C}$;

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura, m s^{-1} ;

e_s = pressão de saturação de vapor, KPa ;

e_a = pressão parcial de vapor, KPa ;

Δ = declividade da curva de pressão de saturação de vapor, $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$; e

γ = coeficiente psicrométrico, $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Segundo Bernardo e outros (2008), a equação de Penman-Monteith foi uma evolução da estimativa da ET_0 . Além de incorporar os aspectos aerodinâmico e termodinâmico, inclui na sua dedução (ALLEN et al., 1998) a resistência ao fluxo de

calor sensível e vapor da água e a resistência da superfície à transferência de vapor de água. É recomendada pela FAO como método-padrão (ALLEN et al., 1998) para estimativa da ET_0 .

Jensen e outros (1990) classificam o método de Penman como um método combinado pela associação dos efeitos do balanço de energia e de termos termodinâmicos na estimativa da evapotranspiração.

A Equação 1 é uma representação matemática dos fatores físicos que governam o processo de evapotranspiração e define a evapotranspiração de referência (ET_0) com base em uma cultura hipotética que cobre todo o solo, com altura fixa de 0,12 m, resistência da cobertura ao transporte de vapor d'água igual a 69 s m^{-1} e albedo de 0,23, que representaria a evapotranspiração de uma extensa superfície de grama verde, com altura uniforme, de crescimento ativo e adequado teor de água no solo (SMITH, 1991; PEREIRA et al., 1997; BERNARDO et al., 2008; CAIXETA, 2009).

A equação de Penman (1963) foi modificada por Doorenbos e Pruitt (1977), o que a conferiu maior sensibilidade em função do vento, ajustando-se o fator c , com base nas condições climáticas locais e assumindo-se $G = 0$, em períodos diários:

$$ET_0 = c \cdot [W \cdot R_n + (1 - W) \cdot 0,27(1 + 0,0065 \cdot U_2) \cdot (e_s - e_{s(t)})] \quad (2)$$

em que:

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ;

c = fator de ajuste proposto pela FAO (adimensional);

W = fator de ponderação que depende da temperatura e da altitude;

R_n = saldo de radiação, $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$;

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura, km d^{-1} ;

e_s = pressão de saturação de vapor à temperatura média diária, mbar; e

$e_{s(t)}$ = pressão de saturação de vapor à temperatura média de ponto de orvalho, mbar.

O fator de ajuste “c” da FAO foi definido por Allen e Pruitt (1991) como:

$$c = 0,892 - 0,0781 U_d + 0,00219 U_d R_s + 0,000402 U_{Rmax} R_s + 0,000196 U_d/U_n U_d U_{Rmax} + 0,0000198 U_d/U_n U_d U_{Rmax} R_s + 0,00000236 U_d^2 U_{Rmax} R_s - 0,0000086(U_d/U_n)^2 U_d U_{Rmax} - 0,0000000292 U_d/U_n U_d^2 U_{Rmax}^2 R_s - 0,0000161 U_{Rmax} R_s^2 \quad (3)$$

em que:

U_d = velocidade média do vento durante o fotoperíodo, $m s^{-1}$;

U_n = velocidade média do vento durante o nictoperíodo, $m s^{-1}$;

U_{Rmax} = umidade relativa máxima diária, %;

R_s = radiação solar global à superfície, $mm d^{-1}$; e

$U_d/U_n = 2$, valor recomendado por Doorenbos e Pruitt (1977), no caso da indisponibilidade de dados ou da não confiabilidade dos dados de vento diurno e noturno (TAGLIAFERRI, 2006; ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008).

O fator de ponderação W é definido pela equação:

$$W = (1 + \lambda / \delta)^{-1} \quad (4)$$

em que:

λ = constante psicrométrica, $mbar/^{\circ}C$; e

δ = declividade da curva de pressão de saturação de vapor d'água com a temperatura, $mbar/^{\circ}C$.

O método proposto por Hargreaves-Samani (1985) constitui-se de uma alternativa para a determinação da ET_0 quando não se dispõe dos dados de radiação solar à superfície, umidade relativa do ar e, da velocidade do vento (TAGLIAFERRE, 2006; BRAGANÇA, 2007). Conforme Pereira et al. (2002), esse método foi desenvolvido para as condições semi-áridas da Califórnia (Davis) a partir de evapotranspiração

obtida em lisímetro de pesagem cultivado com grama. A sua equação é expressa por:

$$ET_0 = 0,0023 Q_0 (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} (T_{\text{med}} + 17,8) \quad (5)$$

em que,

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;

Q_0 = radiação solar global extraterrestre, mm d⁻¹;

T_{\max} = temperatura máxima do dia, °C;

T_{\min} = temperatura mínima do dia, °C; e

T_{med} = temperatura média do dia, °C.

De acordo com Albuquerque e Durães (2008), o método da radiação para a estimativa da ET_0 , tem sua origem na equação de Makkink (ALLEN e PRUITT, 1991) e é recomendado para regiões que dispõem de dados climáticos relacionados ao componente térmico, ou seja, à temperatura do ar e à radiação solar. Segundo Tagliaferri (2006), o referido método é indicado para situações em que não se dispõe de medidas confiáveis de velocidade do vento e umidade relativa do ar. A sua equação é expressa por:

$$ET_0 = r (W R_s) \quad (6)$$

em que:

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;

W = fator de ponderação que depende da temperatura e da altitude; e

r = fator de ajuste proposto pela FAO, que foi definido por Frevert et al., (1983), como:

$$r = 1,066 - 0,00128 UR_{med} + 0,045 U_d - 0,0002 UR_{med} U_d - 0,0000315 (UR_{med})^2 - 0,001103 (U_d)^2 \quad (7)$$

em que:

UR_{med} = umidade relativa média do ar, %; e

U_d = velocidade média do vento durante o dia, $m s^{-1}$.

O método do tanque Classe A baseia-se na medição da evaporação de uma superfície de água livre, associada aos efeitos integrados da radiação solar, do vento, da temperatura e da umidade do ar (BERNARDO et al., 2008).

$$ET_0 = K_t EV \quad (8)$$

em que:

ET_0 = evapotranspiração de referência, $mm d^{-1}$;

K_t = coeficiente do tanque; e

EV = evaporação da água do tanque, $mm d^{-1}$.

Uma tabela que descreve a variação de K_t em função das condições de tamanho e da natureza da área de bordadura do tanque, da velocidade do vento e da umidade relativa do ar é representada por Doorenbos e Pruitt (1977). Essa tabela foi obtida de dados experimentais de diversas regiões do mundo, portanto sob diferentes condições climáticas, considerando-se as diferenças de albedo, rugosidade e resistência estomática das superfícies de água e vegetação (grama) (PEREIRA et al., 1997). O coeficiente do tanque Classe A em superfície coberta com grama foi ajustado por Allen e Pruitt (1991), e é expresso pelo modelo:

$$K_t = 0,108 - 0,000331 U_2 + 0,422 \ln(\text{bordadura}) + 0,1434 \ln(UR_{med}) - 0,000631 [\ln(\text{bordadura})]^2 \ln(UR_{med}) \quad (9)$$

em que:

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura, $m s^{-1}$;

UR_{med} = umidade relativa média, %; e

bordadura = faixa de grama que envolve o tanque Classe A, m.

Snyder (1992) desenvolveu a equação abaixo para permitir a interpolação dos valores tabelados de K_t e, também, facilitar o uso em sistemas automatizados de obtenção de dados, devendo somente ser utilizada dentro dos limites de F , U e UR da tabela original (PEREIRA et al., 1997):

$$K_t = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376 U + 0,0045 UR \quad (10)$$

em que:

K_t = coeficiente do tanque Classe A, para evaporação;

F = distancia (tamanho) da área de bordadura, m;

U = velocidade do vento percorrido, $km d^{-1}$; e

UR = umidade relativa do ar, média do dia, %.

Entre os métodos para determinar a ET_0 , o mais preciso é o de lisímetro de pesagem, sendo que apresenta um custo elevado e, em geral, fica restrito às instituições de pesquisas para serem utilizados na calibração regional de métodos indiretos (TAGLIAFERRE, 2006).

De acordo com Pereira e outros (1997), com a popularização da microeletrônica, que permite a automação de medidas, o uso de lisímetros está ganhando um novo impulso na pesquisa agrometeorológica, principalmente no Brasil. Sedyama (1996) relata sobre a dificuldade da manutenção da igualdade das condições internas e externas dos lisímetros e vice-versa. Conseqüentemente, a prática da utilização de equações físico-matemáticas para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0), como a equação de Penman-Monteith – FAO 56 tem recebido maior atenção

entre os técnicos, engenheiros e cientistas, em decorrência da praticidade e da facilidade da obtenção de dados a partir de estações automáticas.

2.3 IRRIGÂMETRO

A Universidade Federal de Viçosa (UFV), por meio de seu Departamento de Engenharia Agrícola desenvolveu um novo equipamento denominado Irrigâmetro para atender os irrigantes no manejo da água na agricultura.

Consiste de um equipamento evapo-pluviométrico de fácil operação e que indica diretamente ao produtor o momento de irrigar e a quantidade de água necessária à cultura, além do tempo que o sistema de irrigação deve funcionar, no caso de aspersão convencional, gotejamento e microaspersão. Para sistemas de irrigação por pivô central ou linear, o Irrigâmetro indica diretamente a velocidade de deslocamento do equipamento (OLIVEIRA; RAMOS, 2008).

A tecnologia do Irrigâmetro e os estudos de seu desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência apresentam uma forma prática para a determinação da ET_0 , lembrando que para efeito de comparações das estimativas obtidas, deve-se adotar o método padrão de Penman-Monteith - FAO 56 por base.

O Irrigâmetro é capaz de estimar a evapotranspiração com boa precisão, sendo esse processo dependente das interações dos diversos elementos meteorológicos e suas inter-relações associadas ao correto uso do aparelho (TAGLIAFERRE, 2007). Assim, pesquisas conduzidas em regiões com condições climáticas diferentes permitirão identificar quais elementos meteorológicos são mais relevantes na evapotranspiração estimada pelo equipamento, com a avaliação dos efeitos diretos e indiretos desses elementos, possibilitando ajustes mais preciso do aparelho com uma condição climática específica.

É um aparelho de grande versatilidade que pode ser ajustado para fornecer diretamente a evapotranspiração de referência ou a evapotranspiração da cultura, em qualquer estágio de seu desenvolvimento (OLIVEIRA; RAMOS, 2008).

Tagliaferre e outros (2006) utilizaram um Irrigâmetro modificado operando com um minievaporímetro para a obtenção da evapotranspiração de referência em Viçosa-MG.

Tagliaferre (2006) encontrou resultados satisfatórios sobre o desempenho do Irrigâmetro, comparativamente ao método de Penman-Monteith - FAO 56, quando estimou a ET_0 nas escalas de um, três, cinco e sete dias na mesma região.

Oliveira (2009) utilizou o Irrigâmetro para estimar a evapotranspiração de referência na região de Alto Paranaíba-MG, durante os meses de agosto de 2008 a junho de 2009 onde recomendou operar com esse equipamento com o nível de água no seu evaporatório igual a 4,1 cm.

Caixeta (2009) estimou a evapotranspiração de referência por meio do Irrigâmetro nas condições da zona da mata mineira, entre março e setembro de 2008, para os níveis 2, 3, 4, 5 e 6 centímetros de água no interior do evaporatório do Irrigâmetro, nos intervalos de 1, 3, 5 e 7 dias.

Baptistini (2010) avaliou os efeitos dos elementos meteorológicos na estimativa da evapotranspiração de referência estimada por Irrigâmetro no sul do Estado de Tocantins-TO, no período de setembro de 2008 a agosto de 2009. Observou que, para todas as estações do ano, os valores encontrados do coeficiente do Irrigâmetro aumentaram linearmente com o aumento do nível de água no interior do evaporatório.

Uma combinação de parâmetros que englobam o tipo de cultura, as características físicas do solo e as informações sobre o sistema de irrigação a ser utilizado, são importantes para o uso do Irrigâmetro no manejo da água de irrigação e, conseqüentemente, para a escolha das régua que o acompanham. O Irrigâmetro possui um evaporatório e vem acompanhado de três escalas utilizadas no manejo da irrigação: (1) a escala laminar graduada no tubo de alimentação para a medição da água evaporada ou evapotranspirada; (2) a régua de manejo de quatro faces, embora não tenha graduação, possui em cada uma das faces quatro faixas coloridas e verticais de colorações azul, verde, amarela e vermelha. Essa escala

reúne as características físico-hídricas de solo e de cultura, e tem a finalidade de indicar a necessidade da irrigação; e (3) a escala da régua temporal ou percentual – graduada em horas e minutos ou em porcentagem. A régua percentual representa o valor da lâmina líquida aplicada pelo equipamento de irrigação, quando operando com velocidade percentual de 100%, no caso de pivô central ou sistema linear. A régua temporal é confeccionada com base na intensidade de precipitação do sistema de irrigação, no caso de aspersão convencional ou gotejamento. De acordo com os resultados obtidos por Tagliaferre e outros (2006), o Irrigâmetro pode ser utilizado para estimar a evapotranspiração de qualquer cultura, em qualquer estágio de desenvolvimento, para um valor de coeficiente da cultura (K_c).

O evaporatório do Irrigâmetro pode ser um evaporímetro, isto é, para medir simplesmente o poder evaporador do ar, ou um evapotranspirômetro, ou seja, atuar como um lisímetro. Se o aparelho estiver equipado com evaporímetro, ele pode medir diretamente, numa escala apropriada, a lâmina evaporada ou, indiretamente, a ET_0 ou, ainda, a ET_C em cada estágio de desenvolvimento da cultura. Se estiver equipado com um evapotranspirômetro de lençol freático constante, ele medirá diretamente a ET_0 ou a ET_C , se nele estiver sendo cultivada a grama-batatais ou a cultura de interesse, respectivamente (TAGLIAFERRE, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental de Rive, de propriedade da Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias, município de Alegre, ES, situada a 20° 45' de latitude sul e 41° 29' de longitude oeste, numa altitude de 138 metros.

A coleta dos dados nos Irrigômetros ocorreu, diariamente, às 9h no período de 20 de março de 2009 a 31 de março de 2010.

Foram instalados em área cercada 15 (quinze) Irrigômetros com evaporatórios do tipo evaporímetro, sobre solo coberto por grama-batatais (*Paspalum notatum*) na metade do espaço total da antiga estação agroclimatológica do INMET (12 x 18 m) no espaçamento de 2,70 m x 1,50 m, com os braços dos evaporatórios voltados para o norte, com o objetivo de evitar o sombreamento dos mesmos, permanecendo na outra metade, a atual estação automática do INMET, onde foram coletados os elementos climáticos. A Figura 2 mostra como foram instalados os equipamentos no interior do cercado da antiga estação agroclimatológica.

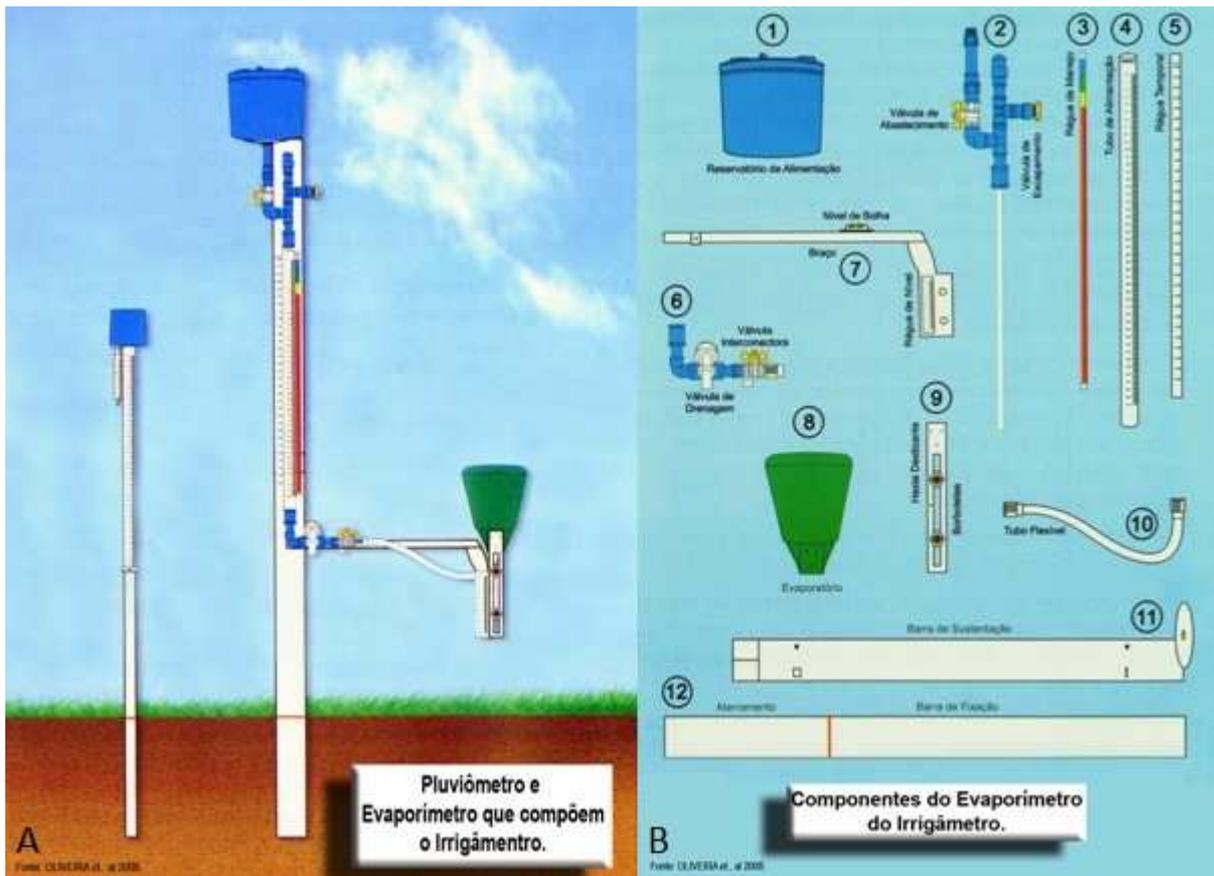


Figura 1 – Pluviômetro e evaporímetro que compõem o Irrigâmetro em A, e os componentes do evaporímetro do Irrigâmetro, em B

A Figura 1, à direita, mostra os componentes do evaporímetro do Irrigâmetro e, de acordo com a ilustração, tem-se em:

- 1- reservatório de alimentação;
- 2- tubo de borbulhamento (interior do tubo de alimentação);
- 3- régua de manejo;
- 4- tubo de alimentação;
- 5- régua temporal;
- 6- válvula de drenagem e válvula interconectora;
- 7- braço, nível de bolha e régua de nível;
- 8- evaporatório;
- 9- haste deslizante com borboletas;
- 10- tubo flexível;
- 11- barra de sustentação; e
- 12- barra de fixação.

Um pluviômetro foi utilizado somente para determinar os dias chuvosos, sendo que tais dias foram excluídos da análise dos resultados, pois, trabalhou-se apenas com a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) e não com manejo de irrigação.

Tal procedimento de exclusão dos dias chuvosos teve por objetivo: manter a integridade dos dados coletados, em consequência da alteração provocada pela precipitação pluviométrica dentro dos evaporatórios dos Irrigômetros, onde somente ocorre a restituição normal de tais níveis, na escala dos tubos de alimentação e após uma chuva qualquer, depois de se efetuar a retirada dos excessos de água dos evaporatórios dos equipamentos, seguindo de um borbulhamento da coluna de água dentro dos tubos de alimentação, até a uma altura de preparação, básica para a leitura do dia seguinte.

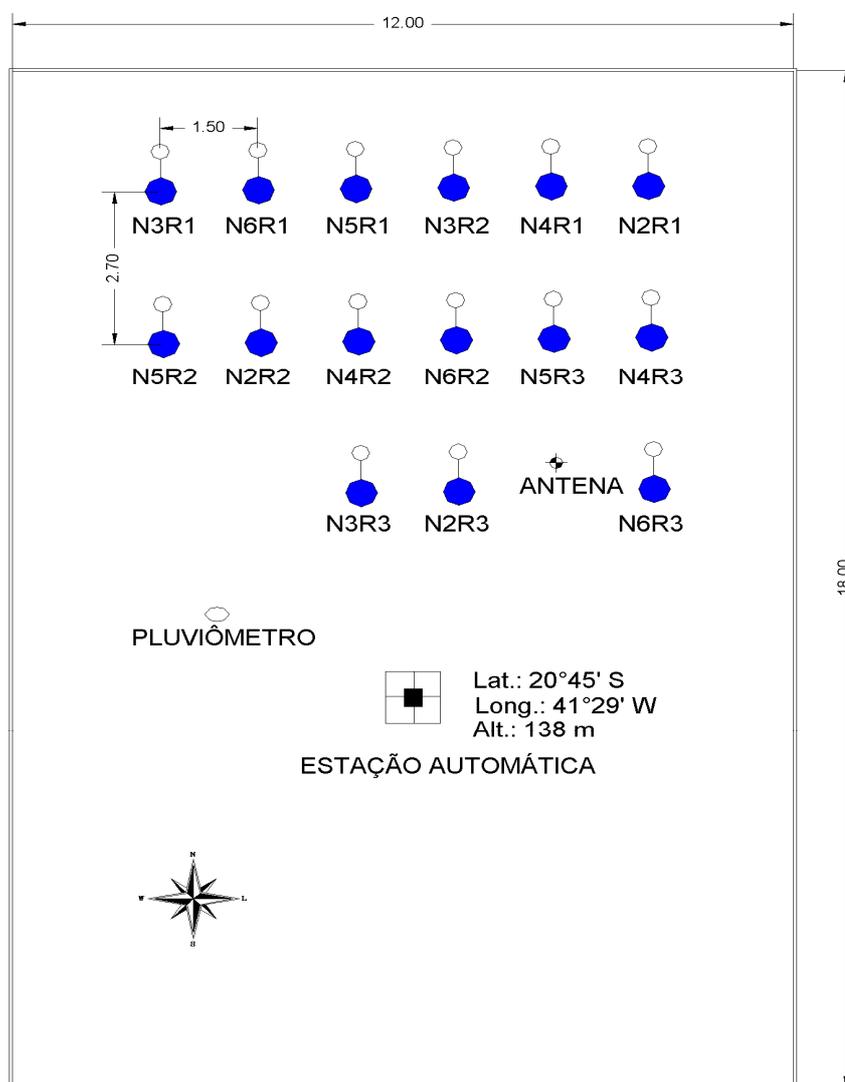


Figura 2 – Croqui da área do experimento

A estação automática instalada próxima ao experimento (Figura 2) forneceu os dados brutos horários de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e

da velocidade do vento que foram previamente corrigidos e, posteriormente, utilizados para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0).

3.2 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

Utilizou-se o programa computacional REF-ET (ALLEN, 2000) para determinação dos valores estimados de ET_0 pelo método de Penman-Monteith – FAO 56. O referido método foi adotado como padrão para comparar a ET_0 com outras metodologias, em conformidade ao proposto por Smith (1991) e Allen e outros (1998). Os dados de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e de velocidade do vento fornecida pela estação automática foram utilizados no cálculo dos valores da evapotranspiração de referência diária. Além dos valores dos elementos citados anteriormente, o referido programa computacional requer para determinação dos valores diários da ET_0 outros dados referentes à altura do anemômetro do solo da estação, da altura do sensor de temperatura do solo, da elevação da estação automática, da latitude do local, do valor do albedo (0,23), do valor do fluxo de calor atmosférico ($W \cdot m^{-2}$), da pressão de vapor (Kpa) e da altura da grama do local do experimento (0,12 m), além de informações sobre o dia, o mês e o ano.

A estimativa dos valores da evapotranspiração diária obtidas pelos Irrigômetros (ET_I) foi determinada com a utilização de 15 (quinze) equipamentos (Figura 2) operando com as alturas de 2, 3, 4, 5 e 6 centímetros de água no interior do evaporatório (níveis), correspondentes à N2, N3, N4, N5 e N6, respectivamente.



Figura 3 – Vista parcial do experimento

3.3 COEFICIENTE DO IRRIGÂMETRO (K_i)

Por definição, o coeficiente do Irrigâmetro (K_i) representa a razão entre a estimativa da evapotranspiração obtida pelo Irrigâmetro (ET_i) e a evapotranspiração de referência (ET_0). Assim sendo, foi atribuído ao K_i o valor do coeficiente angular (β_1) definido pela regressão linear, entre os dados observados de ET_i e os dados estimados de ET_0 , obtidos diariamente. Nessa metodologia estatística, o coeficiente linear (β_0) é nulo.

$$K_i = \frac{\sum_{i=1}^n ET_i ET_0}{\sum_{i=1}^n (ET_0)^2} \quad (11)$$

em que:

K_I = coeficiente do Irrigâmetro, adimensional;

ET_I = estimativa da evapotranspiração obtida pelo Irrigâmetro, mm d^{-1} ; e

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm d^{-1} .

Um coeficiente médio do Irrigâmetro foi determinado para cada um dos níveis de água dentro do evaporatório em relação ao período total do experimento, bem como, para cada estação do ano.

O experimento constou de cinco níveis N2, N3, N4, N5 e N6, correspondentes às alturas de 2, 3, 4, 5 e 6 centímetros de água, na escala ascendente existente no interior dos evaporatórios dos equipamentos, com três repetições, perfazendo um total de 15 (quinze) Irrigômetros.

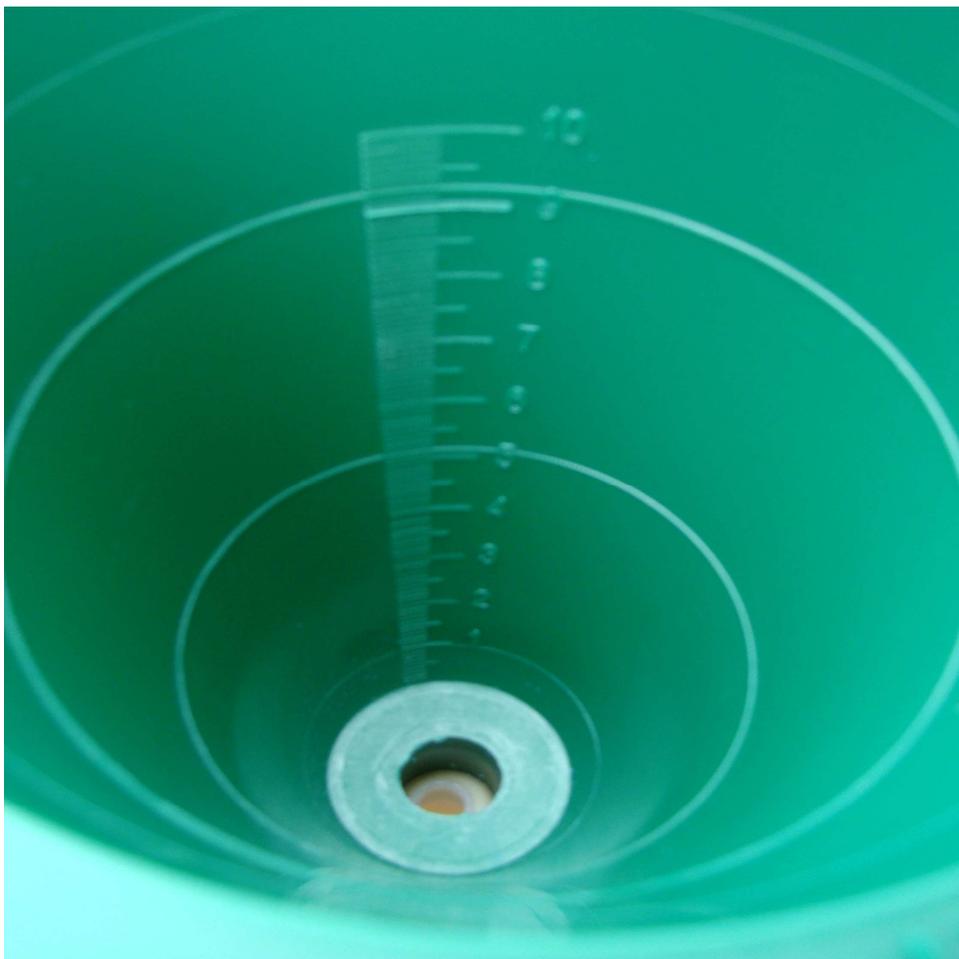


Figura 4 - Vista da escala ascendente em centímetros, no interior do evaporatório

Na comparação entre os valores da evapotranspiração de referência (ET_0) estimados pelo método de Penman-Monteith – FAO 56 com os valores de evapotranspiração obtidos pelo Irrigâmetro (ET_I) verifica-se a análise de desempenho do equipamento. A metodologia adotada para a comparação dos resultados foi proposta por Allen et al. (1986), sendo adotada por Jensen et al. (1990). Essa comparação é fundamentada na estimativa do erro-padrão, calculada pela equação:

$$EEP = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (ET_I - ET_0)^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

em que:

EEP = estimativa do erro-padrão, $mm\ d^{-1}$;

ET_I = evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro, $mm\ d^{-1}$;

ET_0 = evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, $mm\ d^{-1}$; e

n = número de observações.

Na determinação do desempenho do Irrigâmetro, além da estimativa do erro-padrão (EEP), foram considerados outros parâmetros estatísticos, tais como, o coeficiente de determinação (r^2) e o coeficiente angular (b) das equações de regressão encontradas para as relações existentes entre a ET_I e a ET_0 .

O coeficiente de correlação (r) é obtido pela raiz quadrada do coeficiente de determinação (r^2).

O índice de desempenho ou de confiança do método utilizado “c” é representado por:

$$c = r \cdot d$$

(13)

em que:

c = índice de confiança ou desempenho;

r = coeficiente de correlação; e

d = índice de concordância ou ajuste, de WILLMOTT.

Tabela 1 – Classificação do Índice de Confiança ou de Desempenho “c”

Valor de “c”	Desempenho
> 0,90	Ótimo
0,81 a 0,90	Muito bom
0,71 a 0,80	Bom
0,51 a 0,70	Mediano
0,41 a 0,50	Sofrível
0,31 a 0,40	Mau
≤ 0,30	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1977).

A alternativa que indica o melhor desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração é aquela que apresenta o maior valor de r^2 , o menor valor para a EEP e, tendo o b próximo de 1.

O coeficiente de determinação (r^2) indica a relação existente entre a variação explicada pela equação de regressão e a variação total da variável dependente. O valor obtido revela em porcentagem, a quantidade de variância explicada pelo modelo adotado. Representa um número no intervalo [0;1]. A precisão das medidas obtidas pelo Irrigâmetro foi dada pelo coeficiente de determinação (r^2) para cada um dos níveis de água dentro do evaporatório.

A aproximação dos valores de ET_i estimados obtidos através do Irrigâmetro, em relação aos valores obtidos com a utilização do método-padrão (ET_0), foi obtida pelo índice de concordância ou ajuste, representado pela letra “d” (WILLMOTT et al., 1985). Os valores obtidos variam desde zero (não existe concordância) a 1 (concordância perfeita).

O índice de concordância de Willmott é dado pela seguinte equação:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (ET_i - ET_0)^2}{\sum_{i=1}^N \left[\left(|ET_i - \overline{ET_0}| \right) + \left(|ET_0 - \overline{ET_0}| \right) \right]^2} \quad (14)$$

em que:

d = índice de concordância ou ajuste;

ET_i = evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro;

ET_0 = evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão, mm d^{-1} ;

$\overline{ET_0}$ = média dos valores de ET_0 obtidos pelo método-padrão, mm d^{-1} ; e

N = número de observações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 5, encontram-se os valores médios diários dos elementos meteorológicos utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência, obtidos durante o período de estudo.

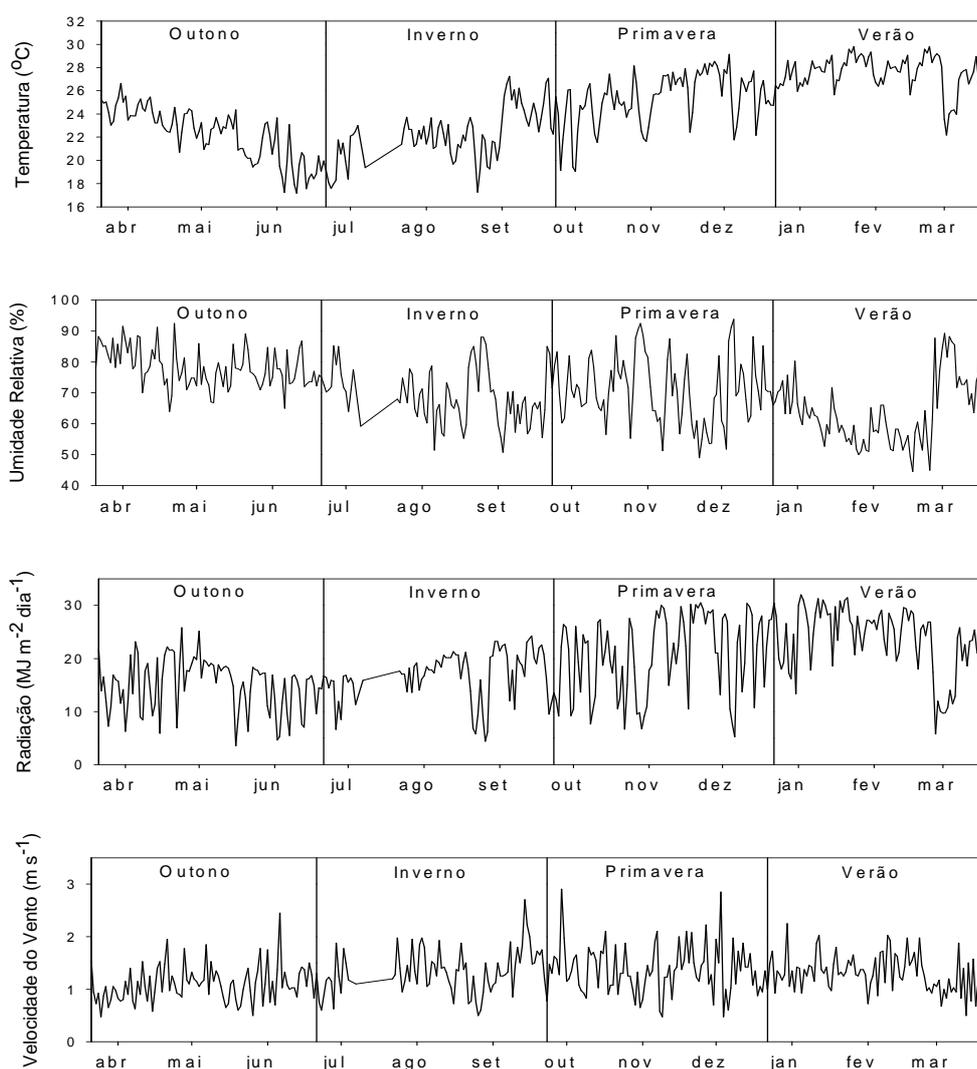


Figura 5 – Valores da temperatura média do ar (°C), umidade relativa média do ar (%), da radiação solar (MJ m² dia⁻¹) e da velocidade média do vento (m s⁻¹), durante o período de estudo

Tabela 2 – Valores médios dos Elementos Meteorológicos ao longo das Estações do Ano

Elementos Meteorológicos	Ud	Estações do Ano			
		Outono	Inverno	Primavera	Verão
Radiação Média Diária	MJ m ⁻² d ⁻¹	16,6	18,6	25,1	27,3
Temperatura Média do Ar	°C	22,1	22,5	26,6	27,9
Velocidade Média do Vento	m/s	1,2	1,4	1,6	1,4
Umidade Rel. Média do Ar.	%	74	66	65	59

Observa-se que a variação da temperatura do ar ao longo de todo período de estudo (Figura 5) teve uma média de 24,8 °C. Considerando que no final do período de estudo, isto é, no verão, ocorreram diversos períodos de estiagens na região e, que durante a mesma estação os valores da temperatura máxima absoluta histórica foram superados, justifica-se assim, um valor maior para a temperatura média observada no período. Observa-se durante o período, a ocorrência de um verão atípico, isto é, com estiagens e temperaturas acima da média histórica para o mês de janeiro. Deve-se também considerar que foram utilizados apenas os dados para a estimativa de evapotranspiração dos dias que não choveram. Outra importante ocorrência observada foi o registro de valores de temperaturas médias, crescentes a partir do outono, sendo que no inverno, normalmente, ter-se-ia as temperaturas mais baixas do ano. Além disso, o local onde se realizou o experimento é de baixa altitude, com 138 metros. Ainda na Figura 5, observa-se que ocorreu uma falha no registro de dados durante o período de inverno pela estação automática e, por consequência, eliminamos tais dias do cálculo da ET₀.

Os valores de umidade relativa média do ar (Tabela 2) ao longo da execução do experimento foram menores, em especial, durante a primavera e o verão, pois, foram os períodos que ocorreram veranicos, principalmente, durante o mês de janeiro de 2010, em pleno verão. Apenas na estação do outono, obteve-se uma

umidade relativa média do ar superior a 70%, considerada alta, de acordo com Doorenbos e Pruitt (1977).

O comportamento da radiação solar (Tabela 2) ao longo da execução do experimento foi crescente a partir da estação de outono, primeira estação do ano no hemisfério sul, chegando aos valores máximos obtidos, durante o verão.

Na Tabela 2, a velocidade média do vento durante a execução do experimento é inferior a 2 m s^{-1} , considerada leve, de acordo com Doorenbos e Pruitt (1977).

De acordo com Medeiros (2002), os principais elementos meteorológicos que proporcionam energia para evaporação e remoção de vapor de água a partir de superfícies evaporantes são: a radiações solar, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento. Entretanto, considera-se a radiação solar como sendo o elemento de maior importância na demanda evaporativa da atmosfera.

Na Figura 6, observa-se que o coeficiente do Irrigâmetro aumenta linearmente com a elevação do nível de água no interior do evaporatório, para todas as estações do ano. O formato cônico do evaporatório permite uma exposição maior de tamanho da lâmina d' água no seu interior, à medida que o nível se eleva e, conseqüentemente, a lâmina d'água fica mais exposta à radiação e aos efeitos do vento.

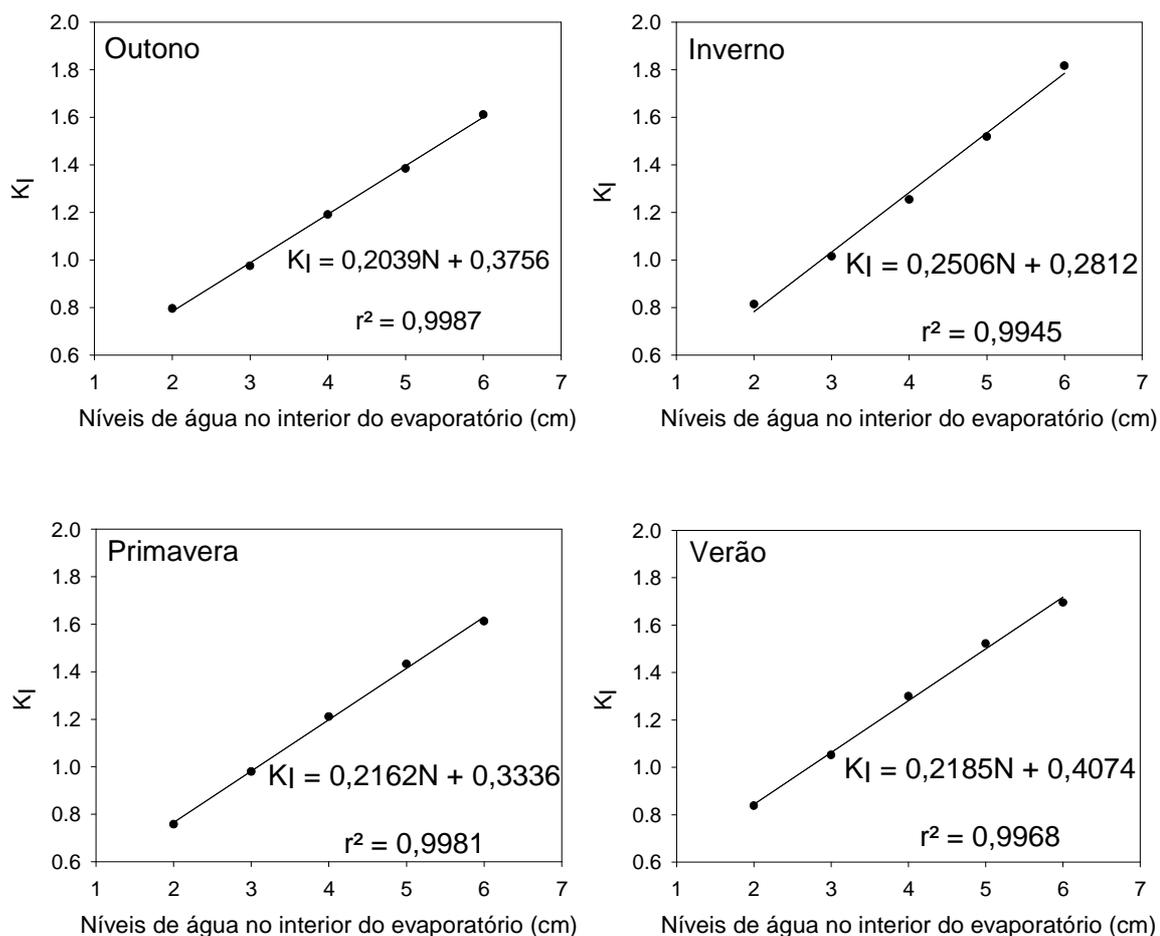


Figura 6 – Valores do coeficiente do irrigâmetro (K_l) em função dos níveis de água no interior do evaporatório para as alturas de 2, 3, 4, 5 e 6 centímetros, durante as 4 estações do ano

Baptestini (2010), em estudo realizado na região Sul do Estado de Tocantins-TO, observou um aumento linear do coeficiente do Irrigâmetro à medida que se aumentava o nível de água no interior do evaporatório.

Observa-se, na Figura 6, que as diferenças entre os valores de K_l , entre as estações do ano, são menores para o nível N2, isto é, 2 centímetros de água no interior do evaporatório, aumentando à medida que os níveis de água sofrem elevações das alturas em centímetros.

Na Tabela 3, encontram-se os valores dos níveis de água recomendados no evaporatório para a estimativa da ET_0 na região Sul do Estado do Espírito Santo, para as estações do outono, inverno, primavera e verão, em período diário, de dois

dias e de quatro dias, correspondentes ao valor encontrado pelo método-padrão de Penman-Monteith-FAO 56 em que ET_0 é igual a 1. Os níveis de água apresentados na tabela abaixo foram estimados com base na utilização de equações de primeiro grau encontrada na figura 5.

Tabela 3 - Níveis de água no interior do evaporatório do Irrigâmetro, recomendados para a estimativa da ET_0 em cada estação do ano em período diário, período de dois e quatro dias, para 2009 - 2010

Estações do ano	Níveis de água recomendado (cm)
Outono	3,06
Inverno	2,87
Primavera	3,08
Verão	2,71

Como se observa na Tabela 3, o nível de água recomendado para o interior do evaporatório para a estação do verão é menor. Esse resultado abaixo dos demais se explica pela ocorrência na estação do verão de maiores valores médios diários de radiação solar ($27,3 \text{ MJm}^{-2} \text{ d}^{-1}$), temperatura média do ar ($27,9^\circ\text{C}$) e pressão de vapor médio ($4,32 \text{ Kpa d}^{-1}$), além da ocorrência de menores valores de umidade relativa do ar (59%), fazendo com que nessas condições, a ação desses fatores meteorológicos proporcionem uma maior evaporação da água no interior do evaporatório e, conseqüentemente, apresentem no verão um valor menor de nível que nas demais estações, a ser recomendado.

Verifica-se ainda, na Tabela 3, que não há alteração dos valores dos níveis de água recomendados, em relação aos intervalos de tempo analisados, isto é, para dois e quatro dias.

Nas Tabelas 4, 5, 6 e 7 são apresentados os valores dos parâmetros estatísticos utilizados no estudo do desempenho do Irrigâmetro para a estimativa da evapotranspiração de referência na região Sul do Estado do Espírito Santo, ao longo das estações do ano, em períodos diários.

Tabela 4 - Valores médios do coeficiente do Irrigâmetro (K_i), estimativa do erro-padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), valores de evapotranspiração estimados no Irrigâmetro (ET_i em $mm\ d^{-1}$) e valores de evapotranspiração de referência (ET_0 em $mm\ d^{-1}$), para cada nível de água no evaporatório, na estação do outono, em período diário

Nível	K_i	EEP	D	r^2	ET_i	ET_0
N2	0.80	0.742	0.771	0.56	1.97	
N3	0.98	0.506	0.891	0.67	2.42	
N4	1.19	0.767	0.797	0.66	2.97	2.49
N5	1.39	1.170	0.653	0.67	3.48	
N6	1.61	1.776	0.500	0.60	4.07	

Tabela 5 - Valores médios do coeficiente do Irrigâmetro (K_i), estimativa do erro-padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), valores de evapotranspiração estimados no Irrigâmetro (ET_i em $mm\ d^{-1}$) e valores de evapotranspiração de referência (ET_0 em $mm\ d^{-1}$), para cada nível de água no evaporatório, na estação do inverno, em período diário

Nível	K_i	EEP	d	r^2	ET_i	ET_0
N2	0.81	0.729	0.703	0.42	2.36	
N3	1.02	0.618	0.784	0.41	2.94	
N4	1.25	0.971	0.640	0.49	3.65	2.87
N5	1.52	1.715	0.465	0.49	4.41	
N6	1.82	2.619	0.343	0.44	5.28	

Tabela 6 - Valores médios do coeficiente do Irrigâmetro (K_i), estimativa do erro-padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), valores de evapotranspiração estimados no Irrigâmetro (ET_i em $mm\ d^{-1}$) e valores de evapotranspiração de referência (ET_0 em $mm\ d^{-1}$), para cada nível de água no evaporatório, na estação da primavera, em período diário

Nível	K_i	EEP	d	r^2	ET_i	ET_0
N2	0.76	1.258	0.692	0.60	3.46	
N3	0.98	0.666	0.888	0.63	4.47	
N4	1.21	1.325	0.720	0.57	5.55	4.50
N5	1.43	2.284	0.528	0.54	6.59	
N6	1.61	3.126	0.429	0.51	7.42	

Tabela 7 - Valores médios do coeficiente do Irrigâmetro (K_i), estimativa do erro-padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), valores de evapotranspiração estimados no Irrigâmetro (ET_i em mm d^{-1}) e valores de evapotranspiração de referência (ET_0 em mm d^{-1}), para cada nível de água no evaporatório, na estação do verão, em período diário

Nível	K_i	EEP	d	r^2	ET_i	ET_0
N2	0.84	1.070	0.594	0.44	4.59	
N3	1.05	0.844	0.659	0.28	5.78	
N4	1.30	2.001	0.352	0.18	7.15	5.47
N5	1.52	3.158	0.250	0.20	8.37	
N6	1.70	4.107	0.200	0.20	9.33	

Observa-se que, para todas as estações do ano, os valores das estimativas da evapotranspiração obtidos através do Irrigâmetro (ET_i) aumentam linearmente, à medida que se elevou o nível de água no interior do evaporatório. Quando se eleva o nível de água no interior do evaporatório do Irrigâmetro, a lâmina d'água aumenta em função do formato cônico desse evaporatório, ficando assim, em exposição mais próxima da borda superior do evaporatório, sofrendo maiores influências dos elementos meteorológicos. Portanto, esse aumento dos valores de ET_i pode ser explicado pela maior interceptação da lâmina d'água, que aumenta de diâmetro, sofrendo mais ação da radiação solar, variável com maior influência na evaporação da água, além de estar sob uma maior ação do vento na remoção de gotículas de vapor d'água.

O coeficiente de determinação (r^2) constitui-se de um parâmetro estatístico utilizado em análises de experimentos e, indica quanto da variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisados. Os valores da estimativa do erro-padrão (EEP) e do coeficiente de concordância ou de ajuste de Willmott (d) são considerados parâmetros estatísticos e, suas utilizações, tiveram a finalidade de indicação das melhores opções de níveis de água no interior do evaporatório para a estimativa da evapotranspiração de referência, considerando-se o valor do coeficiente do Irrigâmetro (K_i) próximo da unidade, o menor valor para a estimativa

do erro-padrão (EEP) e o coeficiente de concordância (d) mais próximo de 1, indicando uma concordância perfeita.

Observa-se ainda, nas Tabelas 4, 5, 6, e 7, que a melhor alternativa para a estimativa da evapotranspiração obtida com o Irrigâmetro, é aquela em que o mesmo operou com o nível N3, correspondendo à altura de coluna de água igual a 3 cm no interior do evaporatório, indicando o melhor desempenho do equipamento para a estimativa de ET_0 , em relação aos outros níveis estudados.

Durante a estação do outono, os resultados obtidos (Tabela 4) indicam que a melhor opção encontrada para a estimativa de evapotranspiração de referência com a utilização do Irrigâmetro foi quando o equipamento operou com o nível N3 igual a 3 cm de água no interior do evaporatório. O valor estimado da ET_I determinada pelo Irrigâmetro é de $2,42 \text{ mm d}^{-1}$, valor este muito próximo da ET_0 média ($2,49 \text{ mm d}^{-1}$), determinada pelo método-padrão da FAO.

Na Tabela 5, os resultados apresentados referem-se à estação do inverno, em que, a melhor condição encontrada para a estimativa da evapotranspiração de referência, foi quando o equipamento evapo-pluviométrico operou com o nível N3, isto é, com 3 cm de água no interior do evaporatório. Essa condição é aquela que possui a menor estimativa do erro-padrão (EEP), o maior índice de concordância e o valor do coeficiente do Irrigâmetro (K_I) superestimado em apenas 2% em relação a ET_0 , praticamente, acompanhando a linha de valores de 1:1 e, apresentando o melhor desempenho. O valor da ET_0 estimada pelo método-padrão da FAO é igual a $2,87 \text{ mm d}^{-1}$ contra $2,94 \text{ mm d}^{-1}$ referente ao valor da ET_I média para o nível N3 durante o inverno.

Os resultados obtidos durante a primavera estão apresentados na Tabela 6, onde se pode observar que o melhor desempenho do Irrigâmetro foi quando o mesmo operou com o nível N3. Nesse nível, a altura de coluna de água é de 3 cm no interior do evaporatório e, a estimativa média de ET_0 encontrada é igual a $4,50 \text{ mm d}^{-1}$, obtendo-se um valor de ET_I igual a $4,47 \text{ mm d}^{-1}$, valores muito próximos um do outro.

Por fim, na estação do verão (Tabela 7), a situação não difere das demais estações, pois, também o nível N3 teve o melhor desempenho para a estimativa da evapotranspiração de referência. O valor de ET_0 encontrado é de $5,47 \text{ mm d}^{-1}$ e o valor da ET_I de $5,78 \text{ mm d}^{-1}$. Nessa condição o valor de ET_I encontrado superestima em 5,7% o valor de ET_0 .

Durante as estações do outono e da primavera, observa-se que valores de K_I são menores que os observados nas estações do inverno e do verão em consideração aos resultados obtidos com o nível N3.

Nas Figuras 7, 8, 9 e 10, observam-se as comparações entre a ET_I estimada pelo Irrigâmetro e a ET_0 obtida pelo método-padrão da FAO referentes aos níveis N2, N3, N4, N5 e N6, correspondentes às alturas de água na escala ascendente do evaporatório de 2, 3, 4, 5 e 6 cm, respectivamente. As equações de regressão apresentadas em cada uma das figuras explicam o comportamento dos valores da evapotranspiração obtidos em período diário pelo Irrigâmetro (ET_I) em relação aos valores de ET_0 obtida pelo método-padrão Penman-Monteith FAO-56, quando a linha de tendência passa pela origem dos eixos cartesianos, tornando o valor do coeficiente do Irrigâmetro igual ao valor do coeficiente angular (b) da equação de regressão.

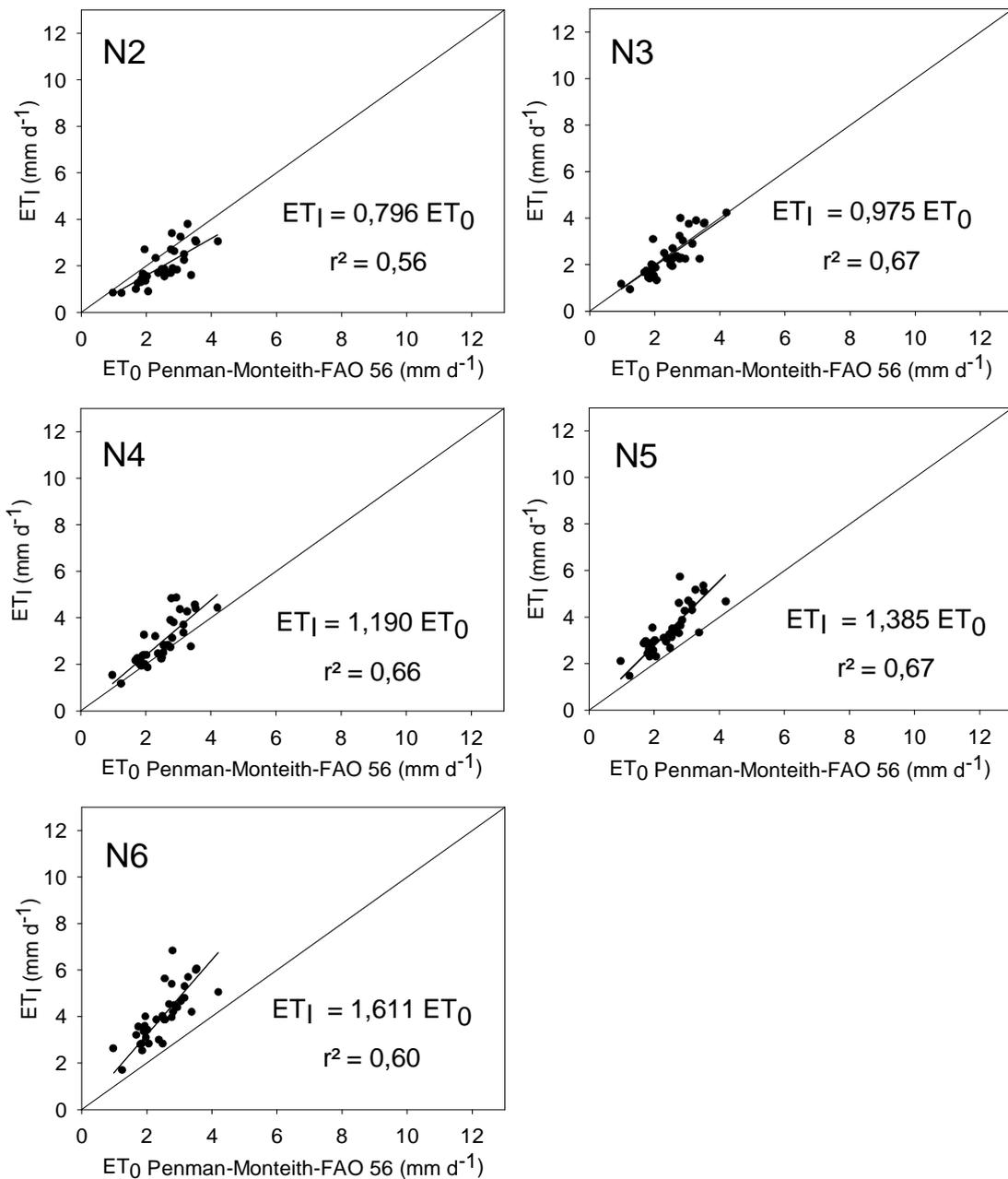


Figura 7 – Comparação entre a evapotranspiração estimada com o uso do Irrigâmetro, obtida com cinco níveis de água no evaporatório (N2, N3, N4, N5 e N6), e o valor de ET_0 obtido pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56 para os dados coletados durante a estação do outono, em períodos diários.

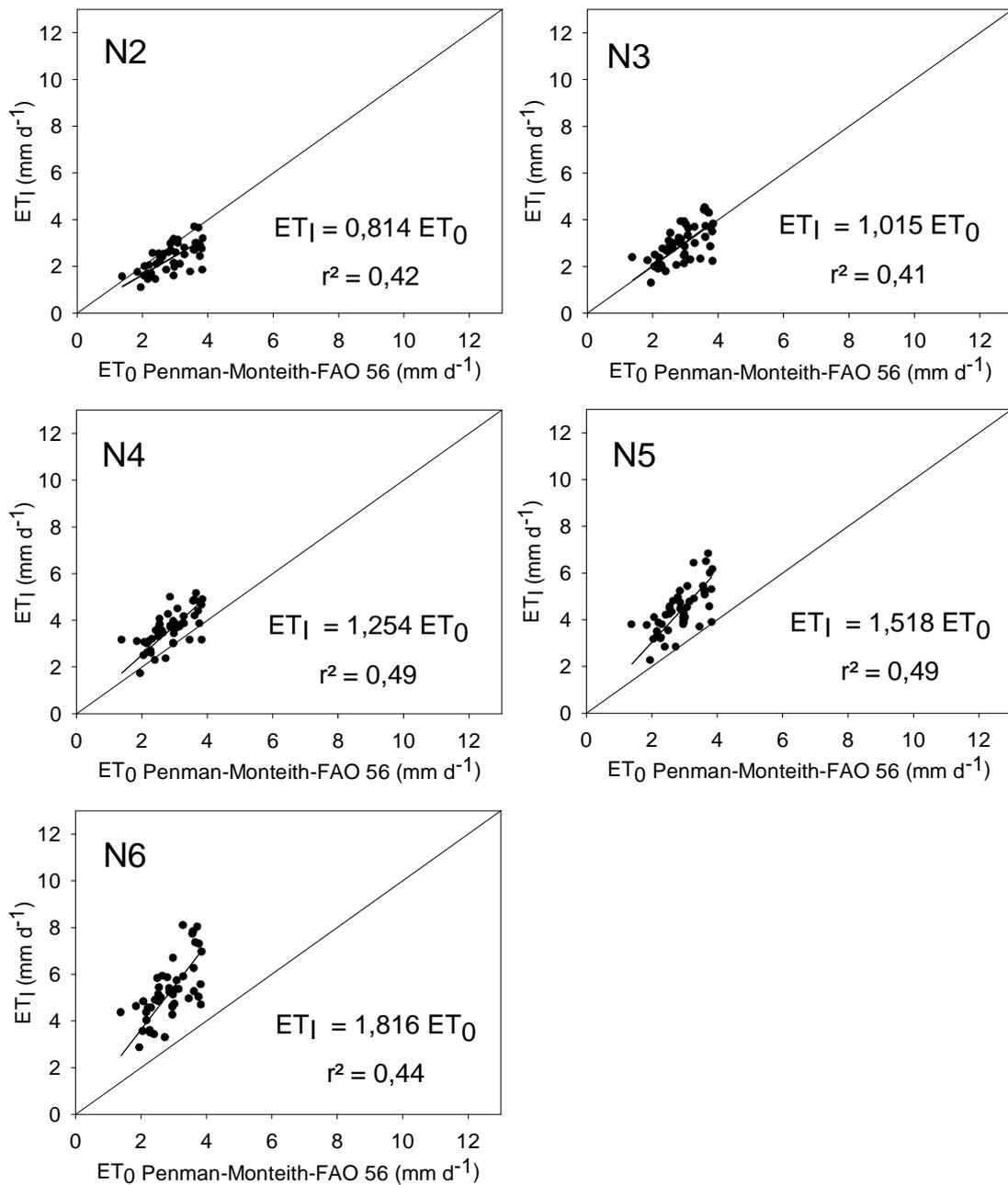


Figura 8 – Comparação entre a evapotranspiração estimada com o uso do Irrigâmetro, obtida com cinco níveis de água no evaporatório (N2, N3, N4, N5 e N6), e o valor de ET_0 obtido pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56 para os dados coletados durante a estação do inverno, em períodos diários.

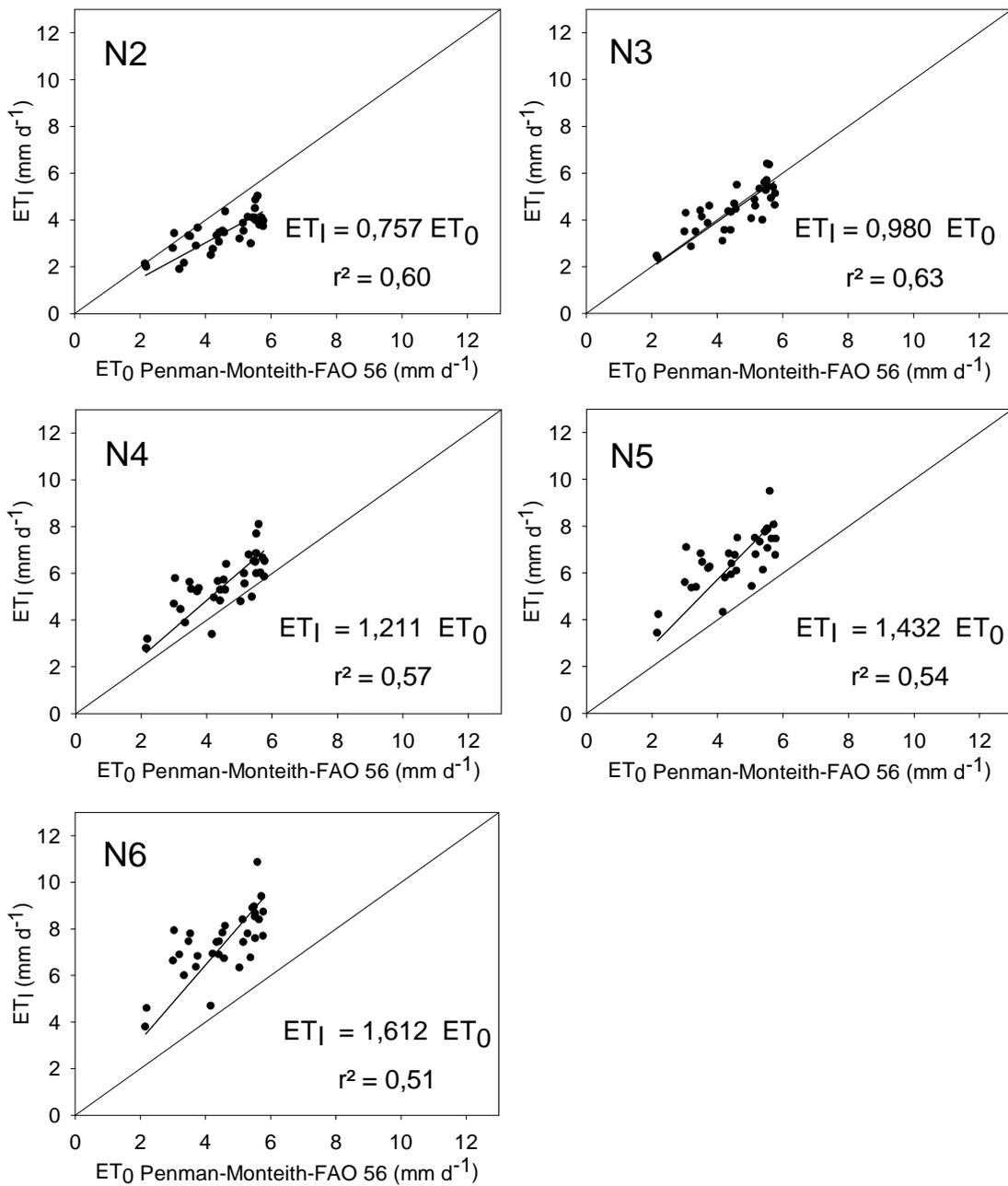


Figura 9 – Comparação entre a evapotranspiração estimada com o uso do Irrigâmetro, obtida com cinco níveis de água no evaporatório (N2, N3, N4, N5 e N6), e o valor de ET_0 obtido pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56 para os dados coletados durante a estação da primavera, em períodos diários.

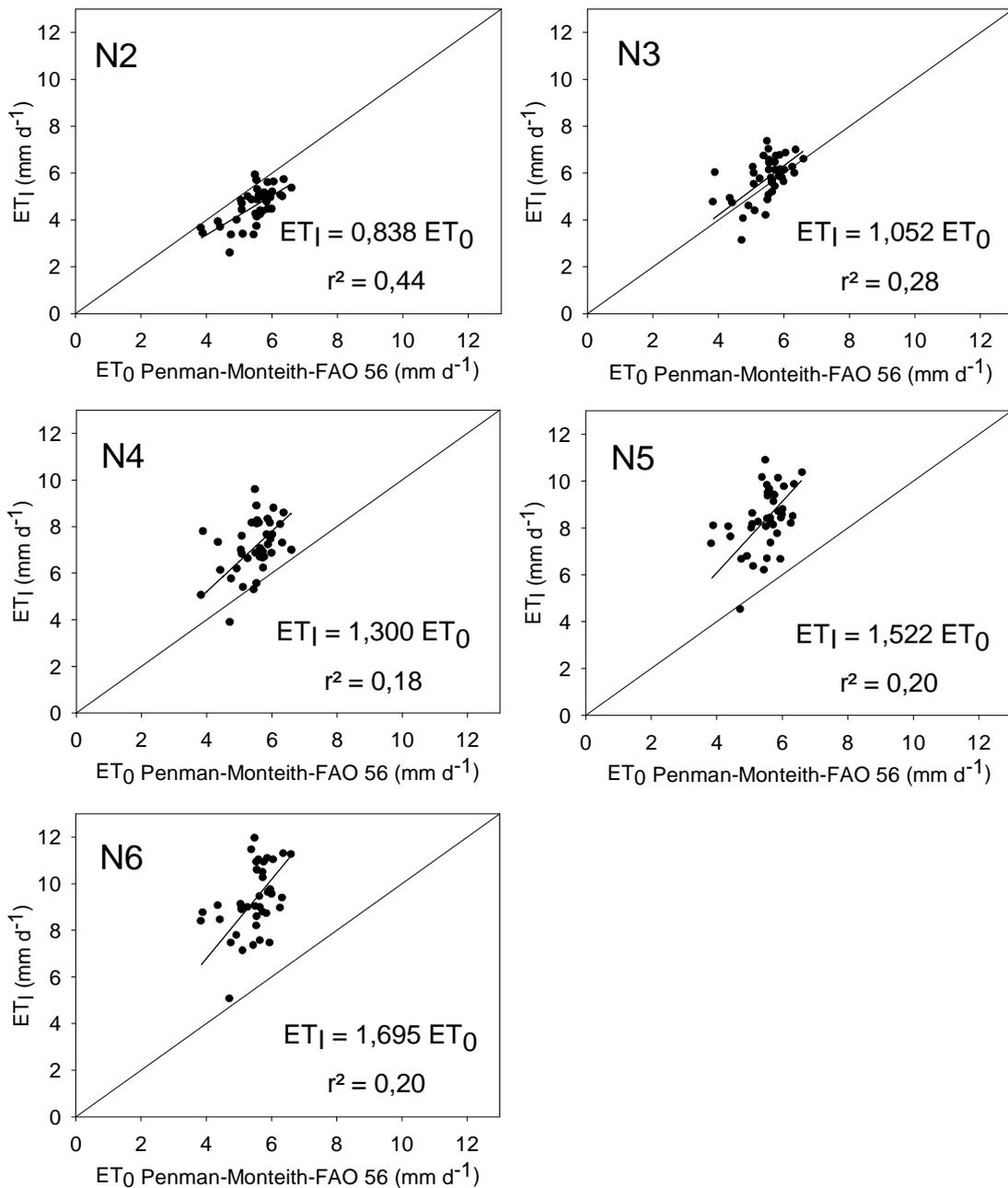


Figura 10 – Comparação entre a evapotranspiração diária estimada com o uso do Irrigâmetro, obtida com cinco níveis de água no evaporatório (N2, N3, N4, N5 e N6), e o valor de ET₀ obtido pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56 para os dados coletados durante a estação do verão, em períodos diários.

Na avaliação dos valores encontrados entre a evapotranspiração diária obtida pelo Irrigâmetro e a evapotranspiração de referência diária obtida pelo método-padrão de

Penman-Monteith – FAO 56 observa-se que para a estação do outono (Figura 7) ocorreram subestimativas em relação ao valor obtido de ET_0 , verificadas nos níveis

N2 e N3, com valores percentuais iguais a 20,4% e 2,5%, respectivamente. Para os níveis N4, N5 e N6 foram obtidos valores superestimados em relação a ET_0 , com percentuais iguais a 19,0%, 38,5% e 61,1%, respectivamente. Os valores dos coeficientes do Irrigâmetro para cada um dos níveis de água estudados são iguais a 0,80; 0,98; 1,19; 1,38 e 1,61. Observa-se que para o nível N3, a linha de tendência é praticamente paralela à reta 1:1, confirmando assim, a melhor alternativa para estimar a evapotranspiração de referência.

Na Figura 8, observa-se que durante a estação do inverno, somente o valor obtido de ET_i , referente ao nível N2, subestima o valor encontrado de ET_0 pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56. O percentual subestimado é da ordem de 18,6%. Uma superestimativa percentual de apenas 1,5%, verificada no nível N3, confere ao referido nível o melhor desempenho para a estimativa da evapotranspiração de referência, durante a estação do inverno.

A subestimativa da evapotranspiração de referência da ordem de 2% observada para o nível N3 na Figura 9 indica que naquela condição, o referido nível obteve a melhor alternativa para a estimativa da ET_0 . O coeficiente do Irrigâmetro neste nível é de 0,98 acompanhando, paralelamente, a linha de tendência de 1:1, apresentando, portanto, o melhor desempenho em relação aos diferentes níveis analisados durante a estação da primavera, tendo por base o método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56.

Durante o período do verão (Figura 10) em todos os níveis estudados ocorre uma dispersão maior dos dados e, a melhor alternativa é observada no nível N3, onde há uma superestimativa da ordem de 5,2% em relação a ET_0 , com um coeficiente do Irrigâmetro (K_i) para o mesmo nível igual a 1,05.

Estudos realizados por Caixeta (2009), na região de Viçosa-MG, no período de março a setembro de 2008 revelaram que o Irrigâmetro operando no nível N2,

correspondente a 2 cm de água no interior do evaporatório, superestimou a evapotranspiração de referência para valores menores que $2,2 \text{ mm d}^{-1}$ e, subestimou a evapotranspiração de referência para valores maiores. Para os níveis restantes, isto é, N3, N4, N5 e N6, o Irrigâmetro superestimou a ET_0 .

Segundo Baptestini (2010), na região de Gurupi-To, em estudo realizado entre setembro de 2008 e agosto de 2009, durante a estação do inverno, os valores de ET_0 foram subestimados quando a água no interior do evaporatório se encontrou no nível N1 (1 cm) e superestimados nos níveis N2, N3, N4, N5 e N6 (2, 3, 4, 5 e 6 cm, respectivamente).

O Irrigâmetro apresenta valores de evapotranspiração de referência próximos dos obtidos pelo método de Penman-Monteith – FAO 56, para a condição do nível N3, nível este que apresenta o melhor desempenho do aparelho em todas as estações, com menores valores de estimativa do erro-padrão igual a $0,51 \text{ mm d}^{-1}$ para a estação do outono, $0,62 \text{ mm d}^{-1}$ para a estação do inverno, $0,67 \text{ mm d}^{-1}$ para a estação da primavera e de $0,84 \text{ mm d}^{-1}$ para a estação do verão (Tabelas 4, 5, 6 e 7).

A análise do valor do coeficiente angular, de determinação e do índice de concordância e da estimativa do erro-padrão, indica que o Irrigâmetro foi considerado eficiente para a estimativa da evapotranspiração de referência, apresentando o nível N3, correspondente a 3 cm de água no interior do evaporatório, em todas as estações do ano, o seu melhor desempenho.

Verifica-se, nas Tabelas 8 a 15, que o melhor desempenho para o Irrigâmetro é quando o mesmo trabalha com o nível N3 de água no interior do evaporatório, ou seja, quando se trabalha com uma altura de 3 centímetros de água na escala ascendente do evaporatório. Nos intervalos de tempo analisados, o Irrigâmetro apresenta valores médios de evapotranspiração de referência praticamente iguais aos valores obtidos pelo método-padrão, habilitando-o para o manejo da água na agricultura irrigada, nas condições da região Sul do Estado do Espírito Santo.

Tabela 8 - Valores médios do coeficiente do Irrigâmetro (K_i), estimativa do erro-padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), valores de evapotranspiração estimados pelo Irrigâmetro (ET_i em mm d^{-1}) e valores de evapotranspiração de referência (ET_0 em mm d^{-1}), para cada nível de água no evaporatório, na estação do outono, em período de dois dias

Nível	K_i	EEP	d	r^2	ET_i	ET_0
N2	0.81	0.667	0.787	0.64	2.01	
N3	0.94	0.410	0.913	0.74	2.45	
N4	1.20	0.686	0.814	0.77	3.00	2.50
N5	1.40	1.133	0.642	0.80	3.52	
N6	1.63	1.734	0.497	0.80	4.10	

Tabela 9 - Valores médios do coeficiente do Irrigâmetro (K_i), estimativa do erro-padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), valores de evapotranspiração estimados no Irrigâmetro (ET_i em mm d^{-1}) e valores de evapotranspiração de referência (ET_0 em mm d^{-1}), para cada nível de água no evaporatório, na estação do inverno, em período de dois dias

Nível	K_i	EEP	d	r^2	ET_i	ET_0
N2	0.81	0.673	0.732	0.56	2.35	
N3	1.01	0.478	0.856	0.57	2.92	
N4	1.26	0.891	0.676	0.68	3.64	2.87
N5	1.53	1.682	0.475	0.66	4.42	
N6	1.83	2.624	0.345	0.58	5.30	

Tabela 10 - Valores médios do coeficiente do Irrigâmetro (K_i), estimativa do erro-padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), valores de evapotranspiração estimados no Irrigâmetro (ET_i em mm d^{-1}) e valores de evapotranspiração de referência (ET_0 em mm d^{-1}), para cada nível de água no evaporatório, na estação da primavera, em período de dois dias

Nível	K_i	EEP	d	r^2	ET_i	ET_0
N2	0.76	1.220	0.693	0.78	3.46	
N3	0.98	0.485	0.931	0.76	4.47	
N4	1.20	1.169	0.740	0.72	5.54	4.55
N5	1.43	2.173	0.521	0.71	6.57	
N6	1.61	3.037	0.421	0.67	7.41	

Tabela 11 - Valores médios do coeficiente do Irrigâmetro (K_i), estimativa do erro-padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), valores de evapotranspiração estimados no Irrigâmetro (ET_i em mm d^{-1}) e valores de evapotranspiração de referência (ET_0 em mm d^{-1}), para cada nível de água no evaporatório, na estação do verão, em período de dois dias

Nível	K_i	EEP	d	r^2	ET_i	ET_0
N2	0.84	0.991	0.481	0.37	4.61	
N3	1.05	0.593	0.658	0.28	5.80	
N4	1.30	1.857	0.294	0.19	7.18	5.50
N5	1.52	3.055	0.201	0.27	8.39	
N6	1.70	4.022	0.157	0.30	9.35	

Tabela 12 - Valores médios do coeficiente do Irrigâmetro (K_i), estimativa do erro-padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), valores de evapotranspiração estimados pelo Irrigâmetro (ET_i em mm d^{-1}) e valores de evapotranspiração de referência (ET_0 em mm d^{-1}), para cada nível de água no evaporatório, na estação do outono, em período de quatro dias

Nível	K_i	EEP	d	r^2	ET_i	ET_0
N2	0.80	0.613	0.794	0.75	1.95	
N3	0.97	0.325	0.939	0.83	2.38	
N4	1.20	0.584	0.849	0.87	2.93	2.47
N5	1.39	1.032	0.671	0.90	3.44	
N6	1.62	1.617	0.513	0.87	4.02	

Tabela 13 - Valores médios do coeficiente do Irrigâmetro (K_i), estimativa do erro-padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), valores de evapotranspiração estimados no Irrigâmetro (ET_i em mm d^{-1}) e valores de evapotranspiração de referência (ET_0 em mm d^{-1}), para cada nível de água no evaporatório, na estação do inverno, em período de quatro dias

Nível	K_i	EEP	d	r^2	ET_i	ET_0
N2	0.82	0.610	0.726	0.69	2.38	
N3	1.03	0.364	0.904	0.74	2.97	
N4	1.27	0.868	0.672	0.85	3.67	2.89
N5	1.53	1.668	0.456	0.84	4.43	
N6	1.84	2.583	0.329	0.86	5.30	

Tabela 14 - Valores médios do coeficiente do Irrigâmetro (K_i), estimativa do erro-padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), valores de evapotranspiração estimados no Irrigâmetro (ET_i em mm d^{-1}) e valores de evapotranspiração de referência (ET_0 em mm d^{-1}), para cada nível de água no evaporatório, na estação da primavera, em período de quatro dias

Nível	K_i	EEP	d	r^2	ET_i	ET_0
N2	0.76	1.214	0.657	0.87	3.46	
N3	0.98	0.305	0.965	0.88	4.47	
N4	1.21	1.129	0.701	0.79	5.54	4.55
N5	1.43	2.195	0.490	0.82	6.57	
N6	1.61	3.080	0.391	0.81	7.41	

Tabela 15 - Valores médios do coeficiente do Irrigâmetro (K_i), estimativa do erro-padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), valores de evapotranspiração estimados no Irrigâmetro (ET_i em mm d^{-1}) e valores de evapotranspiração de referência (ET_0 em mm d^{-1}), para cada nível de água no evaporatório, na estação do verão, em período de quatro dias

Nível	K_i	EEP	d	r^2	ET_i	ET_0
N2	0.84	0.962	0.466	0.70	4.61	
N3	1.05	0.384	0.724	0.66	5.80	
N4	1.30	1.820	0.286	0.23	7.18	5.50
N5	1.52	3.068	0.198	0.49	8.39	
N6	1.70	4.076	0.154	0.44	9.35	

Verifica-se, nas Tabelas 8 a 15, que o melhor desempenho para o Irrigâmetro é quando o mesmo trabalha com o nível N3 de água no interior do evaporatório, ou seja, quando se trabalha com uma altura de 3 centímetros de água na escala ascendente do evaporatório. Nos intervalos de tempo analisados, o Irrigâmetro apresenta valores médios de evapotranspiração de referência praticamente iguais aos valores obtidos pelo método-padrão, habilitando-o para o manejo da água na agricultura irrigada, nas condições da região Sul do Estado do Espírito Santo.

Nas Figuras 11 a 18, verifica-se que cada um dos grupos de gráficos refere-se aos níveis de água no interior do evaporatório (N2, N3, N4, N5 e N6), cujas alturas de água na escala ascendente do evaporatório são 2, 3, 4, 5 e 6 cm, respectivamente. As equações de regressão apresentadas em cada um dos gráficos explicam o

comportamento dos valores da evapotranspiração obtidas pelo Irrigâmetro (ET_I), em período de dois e quatro dias, respectivamente, em relação aos valores de ET_0 obtida pelo método-padrão Penman-Monteith FAO-56, quando a linha de tendência passa pela origem dos eixos cartesianos, tornando o valor do coeficiente do Irrigâmetro igual ao valor do coeficiente angular (b) da equação de regressão.

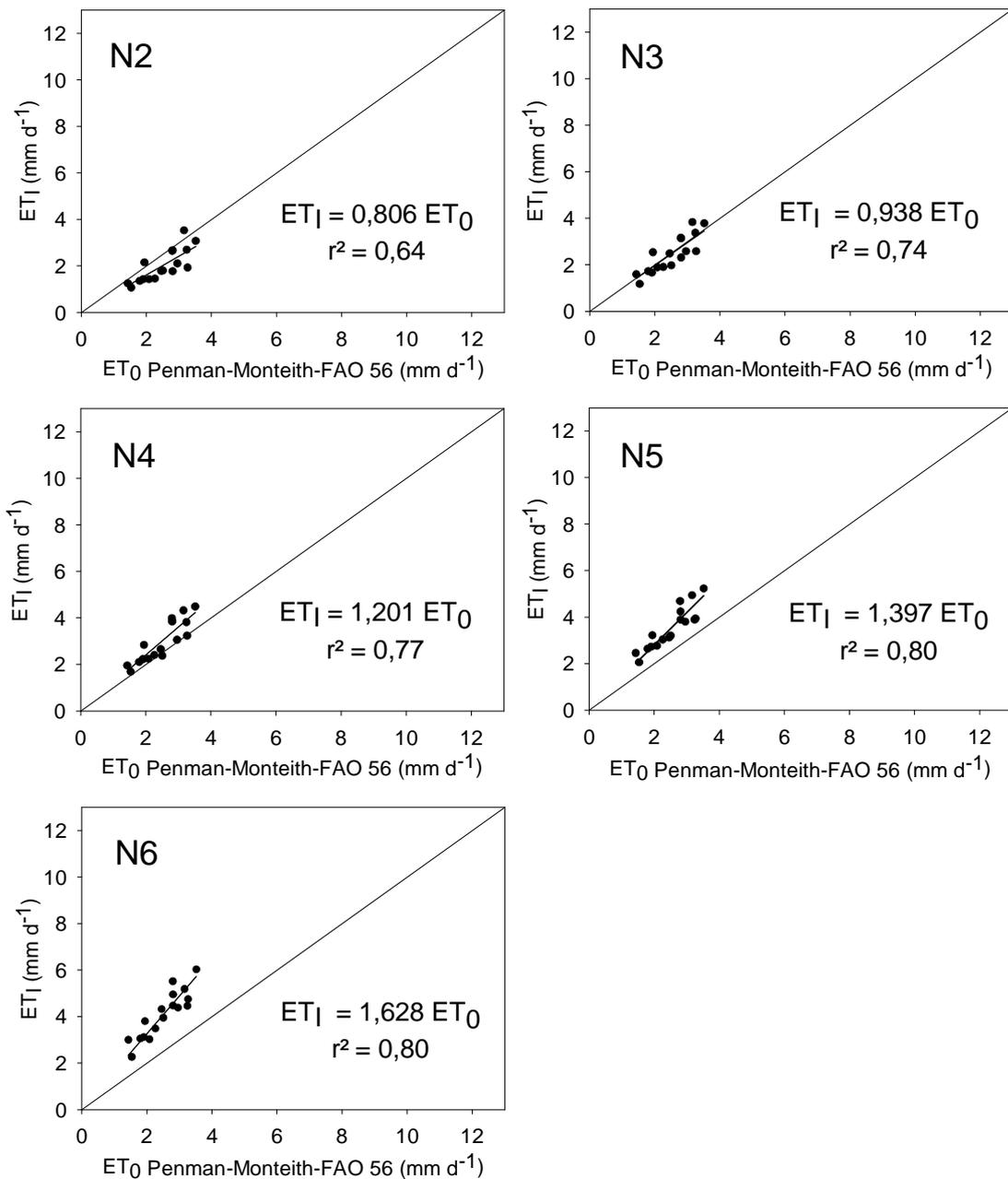


Figura 11 – Comparação entre a evapotranspiração estimada com o uso do Irrigâmetro, obtida com cinco níveis de água no evaporatório (N2, N3, N4, N5 e N6), e o valor de ET_0 obtido pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56 para os dados coletados durante a estação do outono, para período de dois dias.

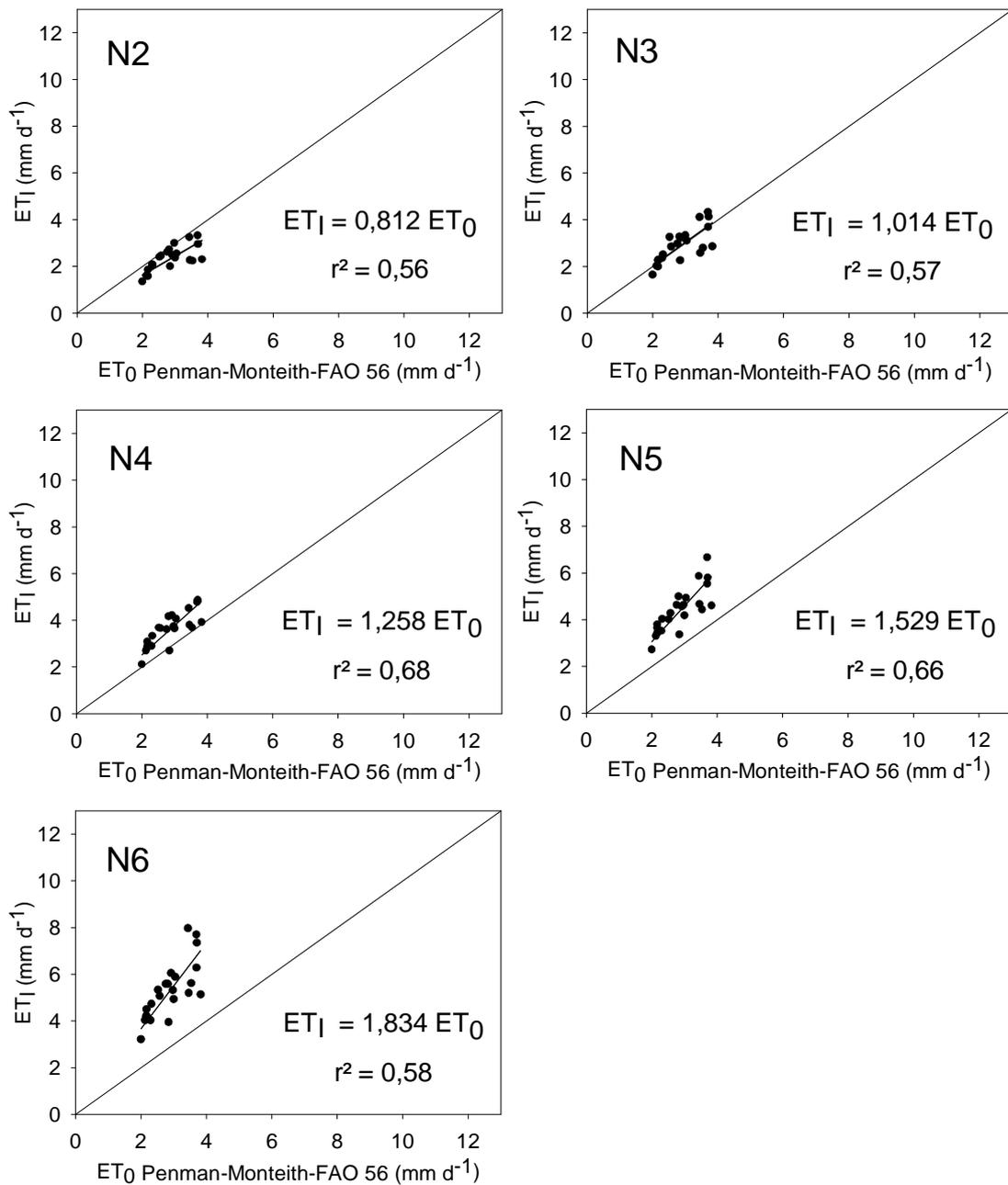


Figura 12 – Comparação entre a evapotranspiração estimada com o uso do Irrigâmetro, obtida com cinco níveis de água no evaporatório (N2, N3, N4, N5 e N6), e o valor de ET_0 obtido pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56 para os dados coletados durante a estação do inverno, para período de dois dias.

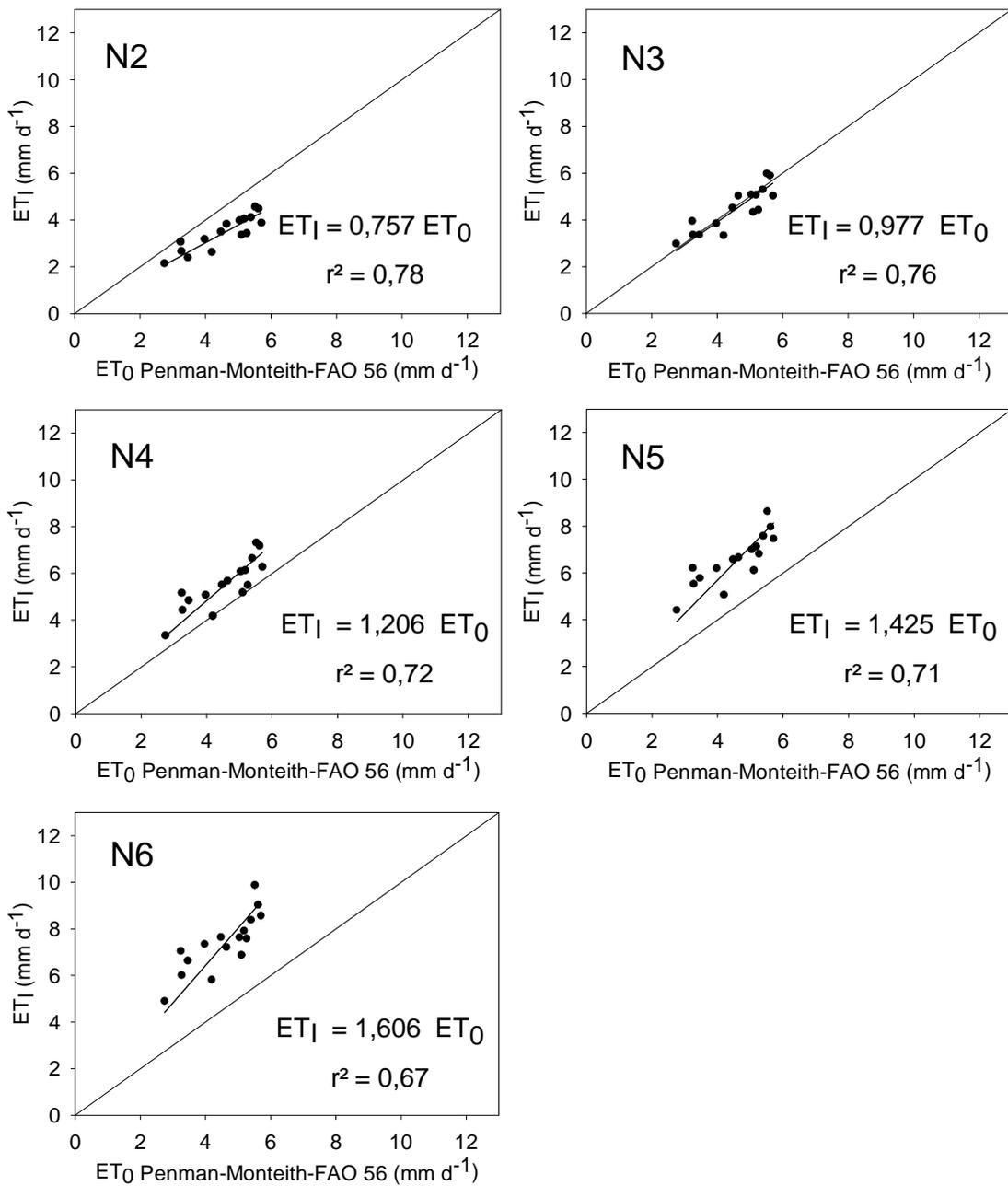


Figura 13 – Comparação entre a evapotranspiração estimada com o uso do Irrigâmetro, obtida com cinco níveis de água no evaporatório (N2, N3, N4, N5 e N6), e o valor de ET_0 obtido pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56 para os dados coletados durante a estação da primavera, para período de dois dias.

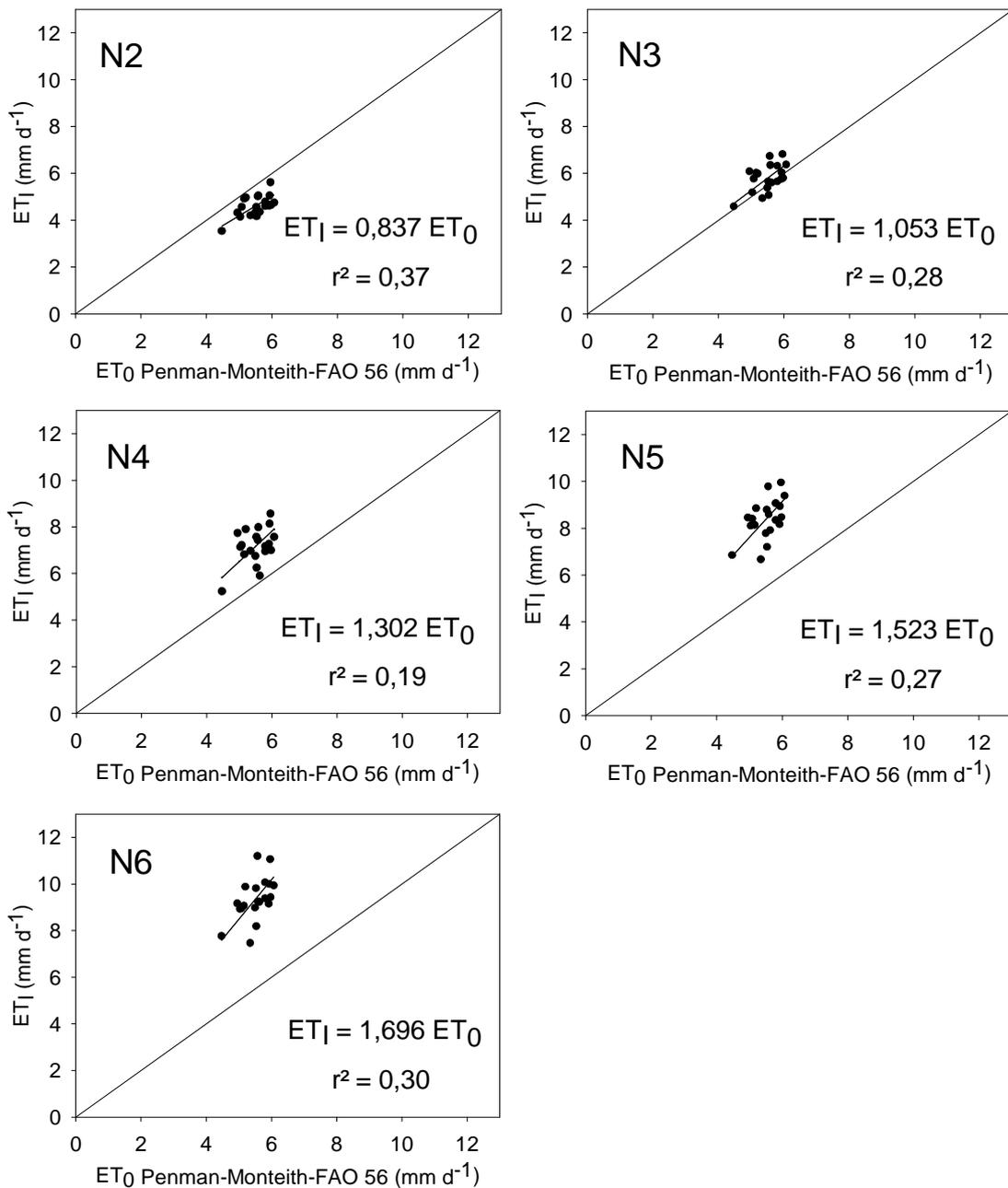


Figura 14 – Comparação entre a evapotranspiração estimada com o uso do Irrigâmetro, obtida com cinco níveis de água no evaporatório (N2, N3, N4, N5 e N6), e o valor de ET₀ obtido pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56 para os dados coletados durante a estação do verão, para período de dois dias.

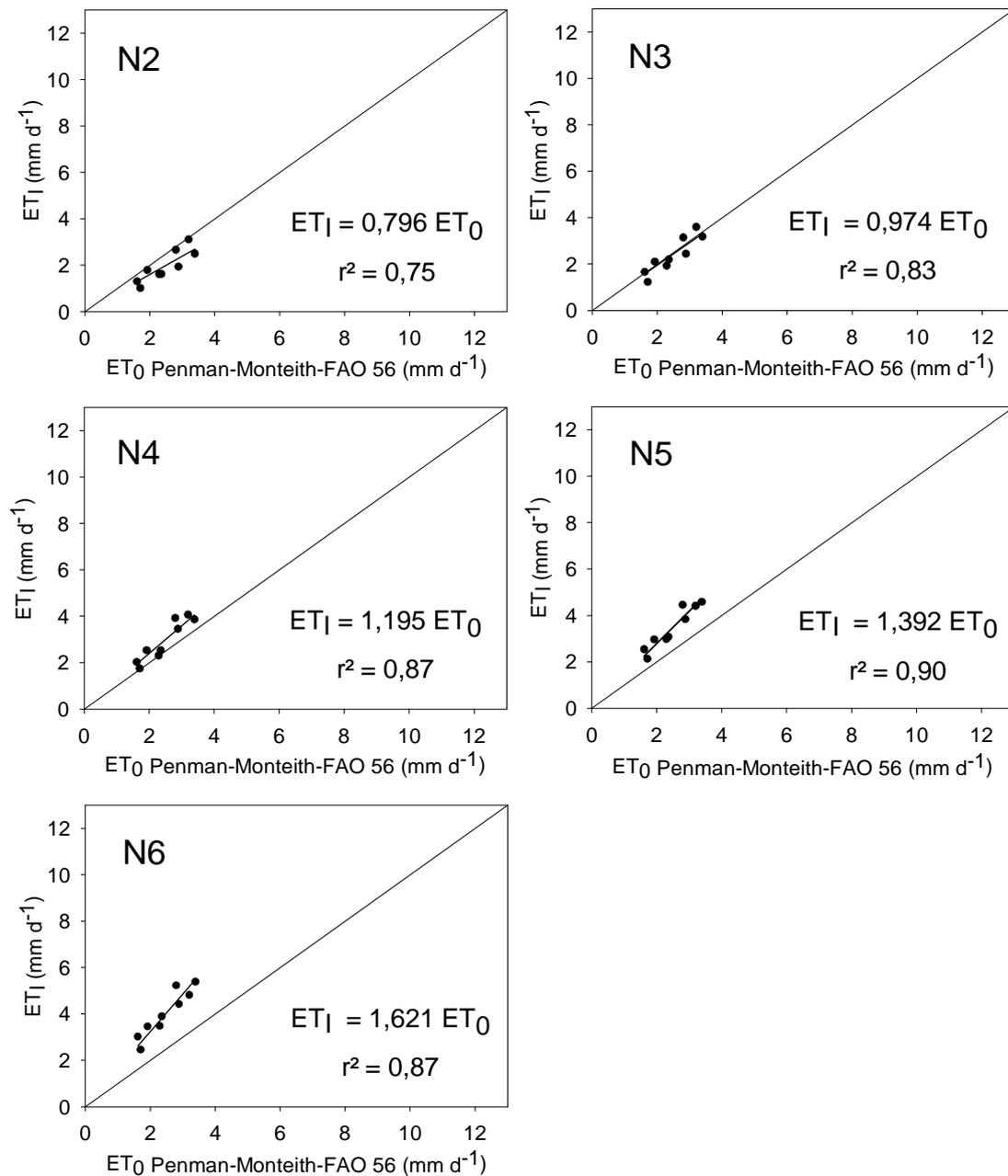


Figura 15 – Comparação entre a evapotranspiração estimada com o uso do Irrigâmetro, obtida com cinco níveis de água no evaporatório (N2, N3, N4, N5 e N6), e o valor de ET_0 obtido pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56 para os dados coletados durante a estação do outono, para período de quatro dias.

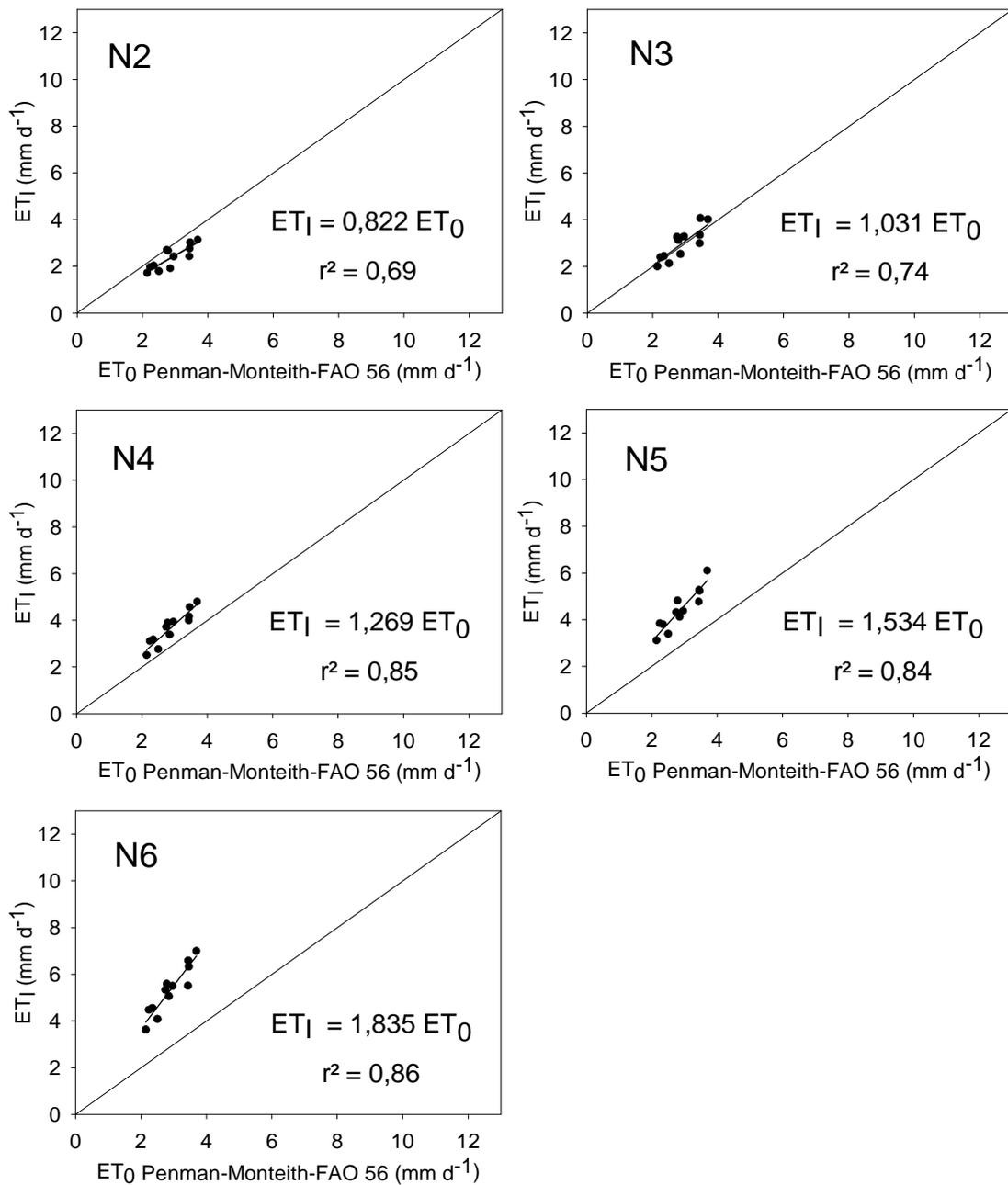


Figura 16 – Comparação entre a evapotranspiração estimada com o uso do Irrigâmetro, obtida com cinco níveis de água no evaporatório (N2, N3, N4, N5 e N6), e o valor de ET_0 obtido pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56 para os dados coletados durante a estação do inverno, para período de quatro dias.

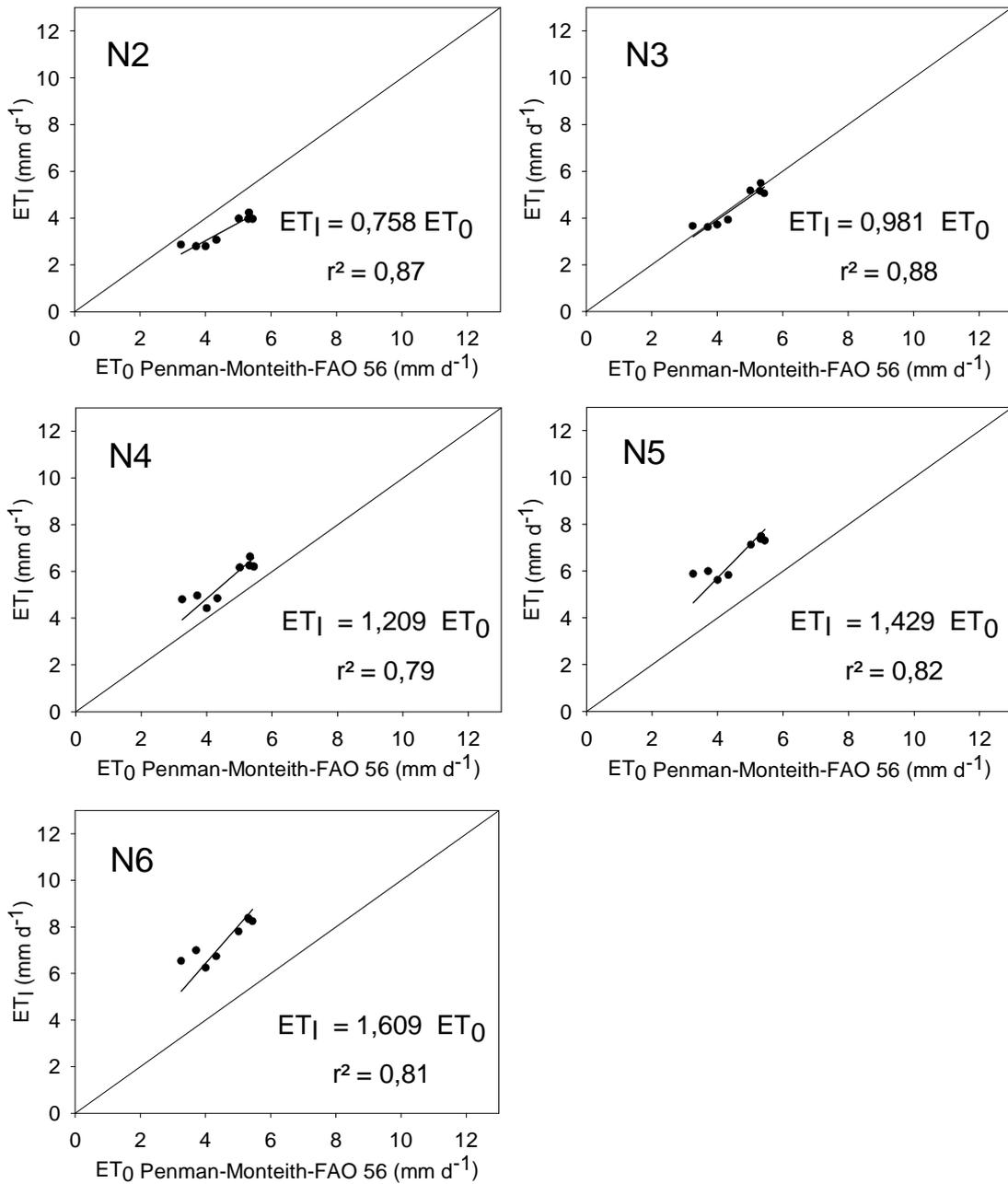


Figura 17 – Comparação entre a evapotranspiração estimada com o uso do Irrigâmetro, obtida com cinco níveis de água no evaporatório (N2, N3, N4, N5 e N6), e o valor de ET₀ obtido pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56 para os dados coletados durante a estação da primavera, para período de quatro dias.

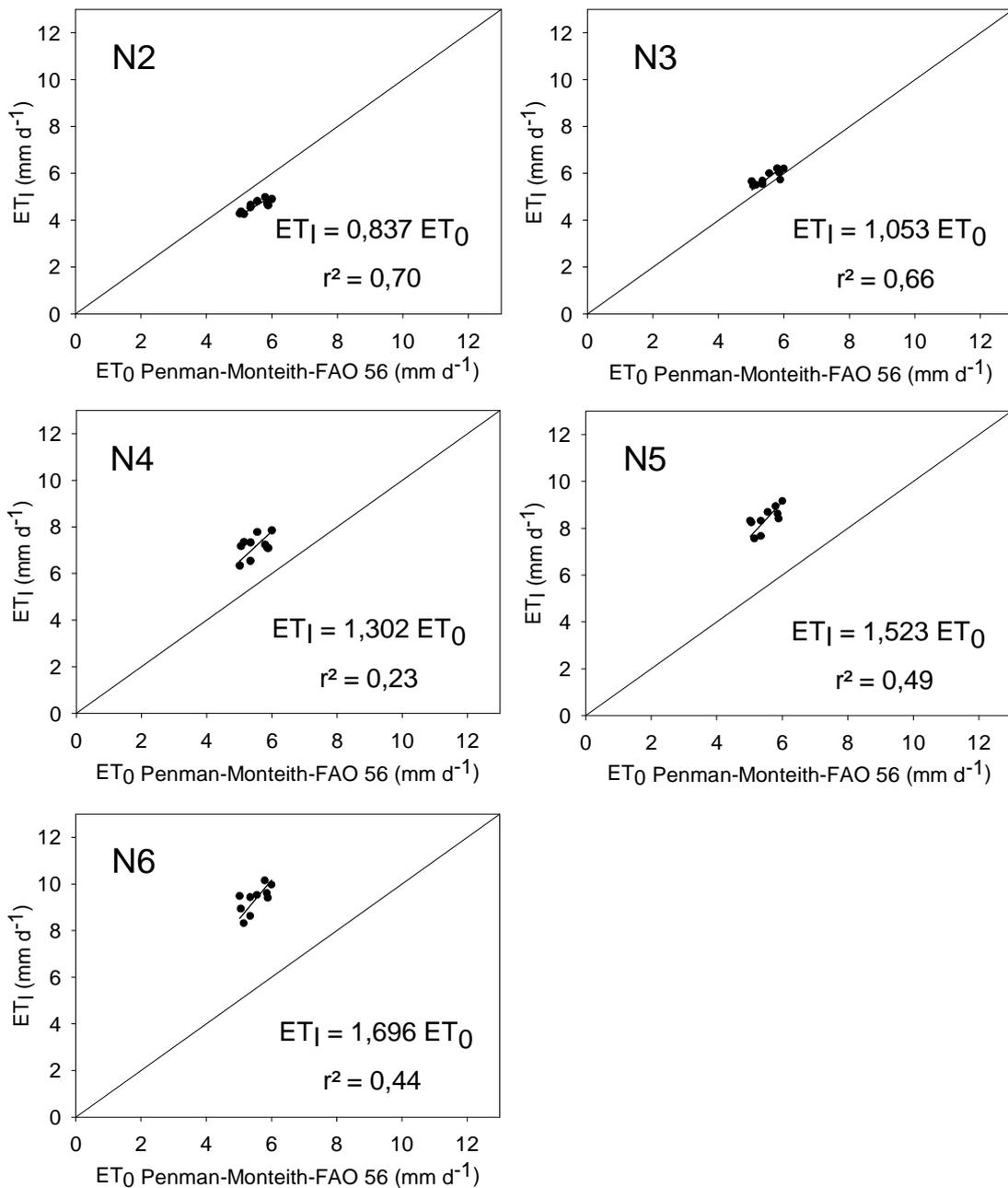


Figura 18 – Comparação entre a evapotranspiração estimada com o uso do Irrigâmetro, obtida com cinco níveis de água no evaporatório (N2, N3, N4, N5 e N6), e o valor de ET₀ obtido pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56 para os dados coletados durante a estação do verão, para período de quatro dias.

A melhor alternativa observada durante o desenvolvimento do trabalho em estudo, considerando todos os intervalos de tempo analisados e as quatro estações do ano, é aquela em que se trabalhou com o nível N3 de água no interior do evaporatório do

Irrigâmetro. De acordo com a análise dos valores de evapotranspiração de referência obtidos pelo Irrigâmetro, pode-se observar que o Irrigâmetro apresenta valores médios iguais aos valores obtidos pelo método-padrão de Penman-Monteith FAO-56.

Na análise das comparações apresentadas pelas Figuras 11 a 18, em períodos analisados de dois e quatro dias, ao longo das quatro estações do ano, constata-se que o Irrigâmetro trabalhando no nível N3 (melhor desempenho) de água no interior do evaporatório, subestima os valores de evapotranspiração de referência obtidos pelo método-padrão, nas estações do outono e da primavera e, superestima nas estações do inverno e do verão. Entretanto, ao se verificar o melhor desempenho do nível N3 em relação aos demais níveis em estudo, pode-se constatar que para todos os períodos de tempo analisados observa-se que para o nível N3 a linha de tendência acompanha a linha de valores de 1:1 para a estimativa da evapotranspiração de referência, com base no método-padrão de Penman-Monteith - FAO 56.

5 CONCLUSÕES

1. O Irrigâmetro apresenta eficiência e um desempenho satisfatório, comparativamente ao método de Penman-Monteith – FAO 56, para a estimativa de ET_0 nas estações outono, inverno, primavera e verão, nos intervalos de tempo analisados.
2. Os níveis de água recomendados para o interior do evaporatório nas estações do outono, inverno, primavera e verão são 3,06; 2,87; 3,08 e 2,71, respectivamente.
3. Os valores do coeficiente do Irrigâmetro (K_i) para as estações do outono, inverno, primavera e verão, trabalhando no nível N3 são 0,98; 1,02; 0,98 e 1,05 para períodos diários. Para períodos de dois e quatro dias são 0,98; 1,01; 0,97 e 1,05 e, 0,97; 1,03; 0,98 e 1,05, respectivamente.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Água, fatos e tendências**. Brasília: CEBDS, 2006.

ALBUQUERQUE, P. E. P de; DURÃES, O. M. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

ALFONSI, R. R. et al. Métodos Agrometeorológicos para controle da irrigação: guia agrometeorológico do agricultor irrigante, n.1. **Boletim Técnico Instituto Agrônômico**, Campinas, n.133,1990.

ALLEN, R. G. **REF-ET: Reference evapotranspiration calculator, Version 2.1**. Idaho: Idaho University, 2000. 82p.

ALLEN, R. G. et al. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. Reference evapotranspiration factors. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 117, n. 5, p. 758-772, 1991.

BAPTESTINI, J. C. M. **Efeitos de elementos meteorológicos na evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro na região sul do estado do Tocantins**. 2010. 53 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, C. E. **Manual de irrigação**. 8. ed.- Viçosa: UFV, 2008.

BRAGANÇA, R. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no estado do Espírito Santo. 2007. 68 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.

CAIXETA, S. P. **Efeitos de elementos meteorológicos na evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro nas condições climáticas da zona da mata mineira.** 2009. 38 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

CARDOSO, G. B. et al. Determinação da ET de referência pela razão de Bowen com psicrômetros instalados a diferentes alturas. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, n.1, p.16-23, 2005.

CONTIN, F. S. **Tecnologia do Irrigâmetro aplicada no manejo da irrigação do feijoeiro.** 2008. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Crop water requirement.** Rome: FAO, 1977.

FIETZ, C. R.; DA SILVA, F. C.; URCHEI, M. A. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Agroclimatologia**, v. 13, n. 2, p. 250-255, 2005.

FREVERT, D. K.; HILL, R. W.; BRAATEN, B. C. Estimation of FAO Evapotranspiration Coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 109, n. 2, p. 265-270, 1983.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering Agriculture**, New York: ASCE, v.1, n. 2, p. 96-99, 1985.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements.** New York: ASCE, 1990.

HOWELL, T. A. Irrigation Role in Enhancing Water use Efficiency. In: NATIONAL IRRIGATION SYMPOSIUM. 2000. Arizona: American Society of Agricultural Engineers, 2000. p. 66-80.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; POLARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2007.

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. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2002.

OLIVEIRA, E. M. **Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência na região do Alto Paranaíba-MG**. 2009. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

OLIVEIRA, R. A. et al. Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 12, n. 2, p. 166-173, mar./abr. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n2/v12n02a09.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2010.

OLIVEIRA, R. A.; RAMOS, M. M. **Manual do Irrigâmetro**. Viçosa: UFV, 2008.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agroclimatologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária. 2002.

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

PIMENTEL, J. da S. et al. Estimativa da transpiração em cafeeiros utilizando-se sensores de dissipação térmica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 187-195, 2010.

REIS, E. F. et al. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do Espírito Santo no período seco. **Idesia, Arica**, v. 25, n. 3, p. 75-84, 2007.

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; AZEVEDO, H. M. de. Ajuste do modelo Chistiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 263-268, 2003.

SEDIYAMA, G. C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília: ABEAS, 1996. 176p.

SENTELHAS, G. C.; CAMARGO, A. P. Equação para a estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, baseado no método de Hargreaves-1974. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p. 1-12, 1996.

SMITH, M. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome: FAO, 1991.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, n. 6, p. 977-80, 1992.

TAGLIAFERRE, C. **Desempenho do Irrigâmetro e de dois minievaporímetros para a estimativa da evapotranspiração de referência**. 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

TAGLIAFERRE, C. **Geração de tecnologia inovadora aplicada ao Irrigâmetro para o manejo racional da água de irrigação**. 2007. 50 f. Relatório (Pós-Doutorado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

TAGLIAFERRE, C. et al. Estimativa da evapotranspiração de referência usando minievaporímetro operando com Irrigâmetro modificado. **Engenharia na**

Agricultura, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 212-223, jul./set., 2006. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dea/reveng/arquivos/Vol14/v14n3p212-223.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2010.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: UFRS/ABRH, 2001. Cap. 7, p. 253-287.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for evaluation and comparisons of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)