

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

EVANDER FAVORETO FELETTI

**IRRIGAÇÃO REAL NECESSÁRIA EM CAFEIEIRO CONILON: ESTUDOS
METODOLÓGICOS**

ALEGRE – ES

2020

EVANDER FAVORETO FELETTI

**IRRIGAÇÃO REAL NECESSÁRIA EM CAFEIEIRO CONILON: ESTUDOS
METODOLÓGICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia na linha de pesquisa Solo e Água e Interação com Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis.

ALEGRE – ES

2020

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

Feletti, Evander Favoreto, 1990-
F288i Irrigação real necessária em cafeeiro conilon: estudos metodológicos / Evander Favoreto Feletti. - 2020.
57 f.: il.

Orientador: Edvaldo Fialho dos Reis.

Coorientador: José Francisco Teixeira do Amaral

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Irrigação. 2. Evapotranspiração de referência. 3. Dados meteorológicos. 4. Agronomia. 5. Café. I. Reis, Edvaldo Fialho dos. II. Amaral, José Francisco Teixeira do. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

EVANDER FAVORETO FELETTI

**IRRIGAÇÃO REAL NECESSÁRIA EM CAFEIEIRO CONILON: ESTUDOS
METODOLÓGICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia na linha de pesquisa Solo e Água e Interação com Plantas.

Aprovada em 05 de outubro de 2020

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis

Universidade Federal do Espírito Santo - Orientador



Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral

Universidade Federal do Espírito Santo – Membro interno do PPGPV



Dr. Lucas Rosa Pereira

Universidade Federal do Espírito Santo – Examinador externo ao PPGPV



Dr. Gustavo Sessa Fialho

Universidade Federal de Pelotas – Examinador externo ao PPGPV

A Deus, pela vida e oportunidade;
A minha esposa, filho, pais e sogros, que sempre me apoiaram incondicionalmente e
estiveram ao meu lado nessa caminhada.

DEDICO

"Bem-aventurado o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento."

Provérbios 3:13

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por tudo que conquisei em minha vida até hoje, sem Ele nada disso seria possível;

À minha esposa, que está comigo em todos os momentos, incentivando, acalmando, e principalmente, acreditando no meu sucesso e proporcionando momentos valiosos em minha vida;

Ao meu filho, que mesmo ainda dentro da barriga de sua mãe, me deu forças e inspiração para vencer mais essa etapa;

Aos meus familiares, em especial meus pais e irmã, os quais sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e acreditando no meu sucesso e nos meus sonhos;

Aos meus sogros, que são fundamentais em minha vida hoje, e me ajudaram com conselhos e incentivaram esse momento;

Ao Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis, pela orientação, amizade, apoio e confiança, desde o período da graduação até o encerramento deste ciclo;

Ao Prof. José Francisco Teixeira do Amaral, por ter emprestado a estação automática, pois sem esse ato não seria possível a realização deste experimento;

Aos amigos, que fizeram desta caminhada mais branda e animada, amigos estes que tenho imensa consideração e espero tê-los por toda minha vida;

A Universidade Federal do Espírito Santo, ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de cursar o mestrado e pelo crescimento profissional;

Ao IFES – Campus Alegre pela concessão da área experimental para realização da pesquisa, em especial o funcionário Luiz pela disponibilidade e colaboração;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa de estudos concedida;

Enfim, agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram para que eu vencesse mais essa etapa em minha vida.

RESUMO

Com a crescente utilização da agricultura irrigada no Brasil, a disponibilidade de água torna-se um dos principais fatores físicos que influenciam diretamente o desenvolvimento e a produção das culturas agrícolas. O Estado do Espírito Santo é o maior produtor nacional de café conilon (*Coffea canephora*), porém o déficit hídrico ainda limita a produção e produtividade por hectare, agindo de forma negativa na cultura. Neste sentido, o manejo da irrigação procura preencher as lacunas deixadas pelo momento de decidir quanto e quando irrigar, tendo como pilar o armazenamento de água no solo e o gasto hídrico da cultura. Logo, o manejo pode ser realizado através do conhecimento do teor de água no solo ou através de dados climáticos de determinada região. Objetivou-se neste trabalho avaliar a estimativa da evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani obtidos de dados climáticos de uma estação meteorológica automática local (EMAL) e de uma estação meteorológica automática do Inmet (EMAI) a uma distância de 5,0 km, e também a umidade do solo medida pelo TDR, com método termogravimétrico padrão da Estufa no manejo da irrigação do cafeeiro conilon. O estudo foi realizado em lavoura adulta de *Coffea canephora*, variedade “Conilon Vitória Incaper 8142”, pertencente ao Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, onde realizou-se a detecção da umidade do solo pelo aparelho TDR e pela metodologia da Estufa elétrica. A reposição de água na lavoura foi feita via TDR, com um turno de rega fixo de 4 dias, totalizando 18 eventos de irrigação analisados. Os coeficientes estimados para a correção da evapotranspiração do cafeeiro conilon adulto em virtude do método de evapotranspiração de referência foram os seguintes: 1,14 e 1,02 para Penman-Monteith; e 0,82 e 0,85 para Hargreaves-Samani. Penman-Monteith subestimou a IRN em $0,56 \text{ mm d}^{-1}$ e Hargreaves-Samani superestimou a mesma variável em $1,08 \text{ mm d}^{-1}$, quando foram obtidos de dados climáticos da EMAL; e quando se utilizou dados climáticos da EMAI, Penman-Monteith subestimou a IRN em $0,09 \text{ mm d}^{-1}$ e Hargreaves-Samani superestimou em $0,76 \text{ mm d}^{-1}$ em comparação com a Estufa. Penman-Monteith obteve classificação de desempenho como “bom” para ambas as estações e Hargreaves-Samani “mau” para EMAL e “mediano” para EMAI. O TDR conseguiu o melhor desempenho em relação a Penman-Monteith e Hargreaves-Samani, obtendo a classificação “ótima”.

Palavras-chave: estação meteorológica; dados climáticos; umidade do solo; irrigação.

ABSTRACT

With the increasing use of irrigated agriculture in Brazil, the availability of water becomes one of the main physical factors that directly influence the development and production of agricultural crops. The State of Espírito Santo is the largest national producer of Conilon coffee (*Coffea canephora*), however the water deficit still limits productivity per hectare, acting in a negative way in the crop. In this sense, the management of irrigation seeks to fill the gaps left by the act of how much and when to irrigate, having as pillar the storage of water in the soil and the water expenditure of culture. Therefore, management can be carried out through the knowledge of the water content in the soil or through climatic data of a given region. The objective of this work was to evaluate the reference evapotranspiration estimate by the methods of Penman-Monteith FAO 56 and Hargreaves-Samani obtained from climatic data from a local automatic weather station (EMAL) and an automatic weather station from Inmet (EMAI) to a distance of 5.0 km, and also the soil moisture measured by the TDR, with the standard greenhouse thermogravimetric method in the irrigation management of the conilon coffee. The study was carried out in an adult crop of *Coffea canephora*, variety "Conilon Vitória Incaper 8142", belonging to the Federal Institute of Espírito Santo - Campus de Alegre, where soil moisture was detected by the TDR apparatus and by the Electric Greenhouse methodology. The replacement of water in the fields was done via TDR, with a fixed irrigation shift of 4 days, totaling 18 irrigation events analyzed. The estimated coefficients for the correction of the evapotranspiration of the adult conilon coffee by virtue of the reference evapotranspiration method, were as follows: 1.14 and 1.02 for Penman-Monteith; and 0.82 and 0.85 for Hargreaves-Samani. Penman-Monteith underestimated the IRN by 0.56 mm d⁻¹ and Hargreaves-Samani overestimated the same variable by 1.08 mm d⁻¹, when they were obtained from EMAL climatic data; and when using EMAI climatic data, Penman-Monteith underestimated IRN by 0.09 mm d⁻¹ and Hargreaves-Samani overestimated by 0.76 mm d⁻¹ compared to the Greenhouse. Penman-Monteith obtained a performance rating of "good" for both seasons and Hargreaves-Samani "bad" for EMAL and "average" for EMAI. TDR achieved the best performance in relation to Penman-Monteith and Hargreaves-Samani, obtaining the "great" rating.

Keywords: weather station; climatic data; soil moisture; irrigation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Densidade do solo e valores de umidade referentes a capacidade de campo e ponto de murcha permanente de cada ponto e a média da área.....	25
Tabela 2. Classificação dos valores do índice de correlação de Pearson (r)	33
Tabela 3. Critérios de interpretação do índice de desempenho C.....	34
Tabela 4. Valores do viés para o erro sistemático (BIAS), estimativa do erro padrão (EEP), coeficiente de correlação de Pearson (r) e índice de desempenho (C) para os métodos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani e TDR em função do método da Estufa.....	36
Tabela 5. Estimativa da quantidade de água a ser irrigada (m ³ /ha) para os métodos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, TDR e Estufa.....	37
Tabela 6. Valores do viés para o erro sistemático (BIAS), estimativa do erro padrão (EEP), coeficiente de correlação de Pearson (r) e índice de desempenho (C) para os métodos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani e TDR em função do método da Estufa.....	39
Tabela 7. Estimativa da quantidade de água a ser irrigada (m ³ /ha) para os métodos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, TDR e Estufa.....	41

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Área experimental com a localização da Estação Meteorológica Automática IRRIPLUS e dos Pontos 1, 2 e 3 de coleta de dados.....24
- Figura 2. Calibração do aparelho TDR 300 no solo do experimento, contendo a equação de calibração e o coeficiente de determinação da regressão linear (R^2)36
- Figura 3. Precipitação acumulada (PREC) e temperatura mínima (MÍN), média (MÉD) e máxima (MÁX), na estação meteorológica automática local (EMAL), modelo E5000 da IRRIPLUS.....29
- Figura 4. Estação meteorológica automática local (EMAL), modelo E5000 da IRRIPLUS, instalada na área de café conilon onde o experimento foi conduzido.....30
- Figura 5. Estação meteorológica automática do Inmet (EMAI), localizada na Área Experimental do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUEFES)32
- Figura 6. Irrigação Real Necessária (IRN), em milímetros, em função das metodologias de estimativa de evapotranspiração de referência de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani obtidas de dados climáticos da EMAL e das umidades de solo obtidas pelo TDR e Estufa, para cada evento de irrigação.....35
- Figura 7. Irrigação Real Necessária (IRN), em milímetros, em função das metodologias de estimativa de evapotranspiração de referência de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani obtidas de dados climáticos da EMAI e das umidades de solo obtidas pelo TDR e Estufa, para cada evento de irrigação.....39
- Figura 8. Comparação entre a estimativa de evapotranspiração de referência (ET_0) coletada da EMAL e a irrigação real necessária (IRN), em milímetros, calculada com os dados de umidade observados pelo método da Estufa, com determinação do coeficiente K_z (coeficiente angular da equação da reta) e coeficiente R^243
- Figura 9. Comparação entre a estimativa de evapotranspiração de referência (ET_0) coletada da EMAI e a irrigação real necessária (IRN), em milímetros, calculada com os dados de umidade observados pelo método da Estufa, com determinação do coeficiente

Kz (coeficiente angular da equação da reta) e coeficiente
R².....43

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
Manejo da irrigação	17
Evapotranspiração de referência (ET ₀).....	19
Coeficiente cultural (K _c).....	20
Evapotranspiração de uma cultura (ET _c).....	21
OBJETIVOS	23
Geral.....	23
Específicos	23
MATERIAL E MÉTODOS	24
RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS	47

INTRODUÇÃO

A produção agrícola tem a água como recurso essencial, sendo que sua utilização deve procurar ser sempre de forma sustentável. Ainda mais, considerando o crescimento da população mundial e seus diversos usos é apenas um dos fatores que levam à diminuição da disponibilidade deste recurso natural. Sendo ainda que diante da preocupação com o uso racional da água, e tendo em vista que a irrigação é a atividade que faz maior uso desse recurso, tornou-se necessário o desenvolvimento de metodologias que possibilitem obter máxima produção com um mínimo consumo de água (ANDRADE et al., 2016).

Estima-se que a safra mundial de café no ano de 2020 seja em torno de 176,1 milhões de sacas, sendo que destes, 74,3 milhões de sacas correspondem ao conilon (*Coffea canephora*), onde o estado do Espírito Santo contribuiu aproximadamente com 9 milhões de sacas (12% da produção mundial de conilon) (MAPA, 2020). Aliado a isso, o estado capixaba possui uma área irrigada de café conilon em torno de 237 mil hectares, correspondendo a 81,0 % da área sob irrigação, sendo a grande maioria na região norte (IBGE-GCEA-LSPA, 2015; INCAPER, 2016; PEREIRA, 2019), onde a deficiência hídrica é o principal fator limitante ao crescimento e à produção do cultivo (INCAPER, 2017), o que torna necessário realizá-lo predominantemente sob irrigação. Dessa maneira, realizar o fornecimento de água em quantidades e intervalos corretos ocasionará um maior desenvolvimento inicial da lavoura cafeeira, diminuindo também as perdas para as plantas (LOPES et al., 2019).

Além deste fator primordial, para a cultura do cafeeiro, a irrigação tem se tornado mais significativa, onde a prática racional desta tecnologia oferece também um aumento na produtividade desses cultivos, independente da área de exploração, através do favorecimento da disponibilidade de nutrientes e da possibilidade de fertirrigação ou aplicação de defensivos (PINHEIRO, 2019).

Sendo assim, a irrigação assume o papel de possibilitar uma agricultura menos arriscada e mais lucrativa (MANTOVANI et al., 2009), onde o foco desta prática deva ser o manejo da própria, permitindo assim, que exista responsabilidade no uso dos recursos hídricos, assumindo o conhecimento do momento, a forma e a quantidade correta de irrigar, baseado na capacidade de armazenamento de água no solo e no gasto hídrico das plantas (PINHEIRO 2019).

Afim de garantir o sucesso no aproveitamento da água pelas plantas através do manejo da irrigação, é necessário a utilização de metodologias que estabeleçam a umidade em

que o solo se encontra, permitindo o monitoramento do teor de água no solo, visando evitar desperdícios deste recurso (BAYER et al., 2013).

O estudo da água no solo pode ser realizado por meio de diversas metodologias, entre elas, a técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), estimando o conteúdo de água disponível no solo em função de um determinado potencial matricial (GONÇALVES et al. 2018; RIBEIRO 2019; SILVA et al., 2019). Já o método termogravimétrico padrão é realizado utilizando estufa elétrica, o qual apresenta alta precisão, porém é um método destrutivo e com limitação pelo tempo de 24 horas para se obter os resultados (SANTOS et al., 2006).

De acordo com alguns autores, correlacionar a umidade do solo com os índices fisiológicos das plantas é fundamental, uma vez que reduções na disponibilidade de água afetam a absorção de nutrientes, o crescimento e produção das culturas, provocando alterações significativas no comportamento vegetal (NASCIMENTO et al., 2011; CRUSCIOL et al., 2015; COSTA, 2016; SILVA et al., 2019).

Deste modo, torna-se essencial conhecer as necessidades hídricas das culturas (FERRÃO et al., 2019). O gasto hídrico de uma cultura depende da demanda energética e atmosférica, da quantidade de água no solo e da resistência da planta à perda de água para a atmosfera. No que tange à questão do manejo de irrigação, a quantidade de água a ser aplicada em determinada cultura encontra-se associada ao seu ciclo e aos processos de evaporação do solo e de transpiração da planta (LOPES et al., 2019).

De maneira geral, as técnicas de cálculo da quantidade de água necessária às plantas se baseiam em informações meteorológicas. Levando-se em conta uma quantidade inicial de água disponível no solo, a definição da evapotranspiração da cultura (ETc) permite mensurar, a qualquer momento, a quantidade de água usada, sendo possível, com isso, indicar a lâmina de água necessária e o momento da irrigação, o que auxilia no manejo adequado desse recurso (LOPES et al., 2019).

Porém, não é um processo fácil a obtenção de ETc de forma direta, e por isso utiliza-se a evapotranspiração de referência (ET0) para estimar a ETc, multiplicando-se ET0 por um coeficiente de cultura (Kc) (ANDRADE et al., 2016).

Para estimar a ET0, são utilizados cálculos com dados obtidos de estações meteorológicas, como o método de Penman-Monteith FAO56 (MONTEITH, 1973), recomendado para uso pela FAO – *Food and Agriculture Organization* (ALLEN et al., 1998). Contudo, o método citado necessita de uma grande quantidade de variáveis climáticas, surgiu então, como opção o uso de equações mais simples que necessitam de

relações estatísticas ou experimentos de campo para serem eficientes, como é o caso da equação de Hargreaves-Samani (HARGREAVES-SAMANI, 1982; 1985).

O grande desafio de pesquisadores tem sido a determinação da evapotranspiração do cafeeiro, assim como os coeficientes utilizados no manejo da irrigação, onde os mesmos procuram caracterizar de forma regional estes fatores, buscando a condição ideal de suprimento hídrico da cultura (BERNARDO, 1995). O K_c é um indicador que possui significado físico e biológico, pois depende da área foliar, da arquitetura (parte aérea e sistema radicular), da cobertura vegetal e da transpiração da planta (ALLEN et al., 1994). O K_c pode variar com a textura e o teor de água do solo, com a profundidade e a densidade do sistema radicular, e com as características fenológicas da planta. Desta maneira, no transcorrer do período vegetativo, o valor de K_c modifica de acordo com o crescimento e o desenvolvimento da cultura, variando também com a fração de cobertura da superfície do solo pela vegetação à medida que as plantas envelhecem e atingem a maturação. Contudo, o conceito de K_c tem sido usado extensivamente para estimar a necessidade real de água de uma cultura por meio de estimativas ou medições de ET_c (SATO et al., 2007). Portanto, ainda há considerável carência de informações sobre a evapotranspiração do cafeeiro conilon (*Coffea canephora*), principalmente para o Estado do Espírito Santo. Logo, neste trabalho, teve-se o objetivo de, por meio do monitoramento do regime hídrico e climático, avaliar a estimativa de evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani e, também por meio do TDR, determinar a umidade do solo, para assim comparar as três metodologias citadas com o método termogravimétrico padrão da Estufa elétrica.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Manejo da irrigação

A irrigação, dentre outras, é uma técnica que proporciona melhoria das condições ambientais para que o material genético expresse todo o seu potencial produtivo em nível de campo, sendo também uma prática que concorre para o aumento da produtividade e da rentabilidade das culturas (CUNHA et al., 2018). Com isso, em virtude da demanda de alimentos e de uma população cada vez mais crescente, tem havido um aumento na implantação de cultivos irrigados, por consequência, consumindo mais os recursos hídricos (ANA, 2017).

Essa técnica trabalhada de forma apropriada, permite a otimização do uso do solo e de insumos, aumento na produtividade em relação a cultivos de sequeiros, minimização de riscos meteorológicos e climáticos, regularização da oferta de produtos agrícolas e fomento à instalação de agroindústrias (CONAB, 2017).

Porém, se realizada de forma inadequada, a irrigação gera desperdício de água, que, além de aumentar os custos de produção, compromete a disponibilidade e qualidade desse recurso (CULLEN, 2004; OLIVEIRA et al., 2006; MANTOVANI et al., 2009). Estima-se que, de toda a água captada para essa finalidade, mais de 30% são desperdiçadas antes de serem utilizadas pelas plantas (ANA, 2015; CHRISTOFIDIS, 2004). Dentre os fatores que contribuem para o desperdício cita-se: ausência de manejo da irrigação e assistência técnica especializada; falta de informação para aquisição de tecnologias mais eficientes no uso da água; alto custo e complexidade das tecnologias disponíveis (MANTOVANI et al., 2009; MAROUELLI et al., 2008; MAROUELLI et al., 2011).

Em decorrência destes fatores, promover o uso racional da água para se ter uma agricultura irrigada mais eficiente, torna-se a grande questão a ser solucionada. Para tal proposta, dentre outras ações, deve-se definir o momento de irrigar e a quantidade de água a aplicar (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012; MANTOVANI et al., 2009; BERNARDO et al., 2009). Situações que o manejo da irrigação procura responder e dar suporte ao produtor.

De acordo com Bernardo et al. (2009), para a execução de um projeto de irrigação com um manejo adequado deve-se atentar para os aspectos sociais e ecológicos da região, onde se objetiva melhorar ou manter as características físicas, químicas e biológicas do solo,

maximizar a produtividade e a eficiência do uso da água e manter a umidade do solo em condições propícias ao bom desenvolvimento da cultura.

O manejo da irrigação pode ser conduzido através de turno de rega fixo, onde as irrigações são programadas para acontecerem em dias fixos da semana e, no dia de se realizar a irrigação, é necessário conhecer o déficit hídrico do solo para programar o equipamento para aplicar uma lâmina de água que seja capaz de voltar a umidade do solo na “capacidade de campo”. Para definir a lâmina líquida, torna-se imprescindível conhecer o quanto a planta evapotranspirou entre a irrigação anterior e a seguinte. Tal necessidade, pode ser estimada através da evapotranspiração da cultura ou determinando-se a umidade que o solo se encontra. Nas duas situações, são necessários equipamentos e cálculos e a calibração prévia dos equipamentos para as condições locais de produção.

Entretanto, caso o manejo seja conduzido através de turno de rega variável, é necessário programar o equipamento de irrigação para operar quando o valor do teor mínimo de água no solo, que não provoca deficiência hídrica expressiva, for atingido. Tem-se então, o valor da quantidade de água que a planta retirou do solo e, portanto, essa será a lâmina de água a ser repostada pela irrigação. A estimativa da lâmina a ser aplicada varia com o desenvolvimento da cultura e com a profundidade efetiva do sistema radicular (EMBRAPA, 2009).

Quando o manejo da irrigação é realizado através de variáveis climáticas que determinam a evapotranspiração da cultura (ET_c), os dados utilizados nos cálculos são obtidos através de uma estação meteorológica, que pode ser convencional ou automática. Então, de posse destes, a evapotranspiração de referência (ET_0) é estimada através de métodos, como o de Penman-Monteith FAO56 (MONTEITH, 1973), recomendado para uso pela FAO – *Food and Agriculture Organization* (ALLEN et al., 1998). Com o alto nível de exigência de dados pelo método citado anteriormente, surgiu como alternativa o uso de equações simplificadas que necessitam de relações estatísticas ou experimentos de campo para serem eficientes, como é o caso da equação de Hargreaves-Samani (HARGREAVES & SAMANI, 1982; 1985).

Além destes métodos citados, o manejo da irrigação também pode ser executado através da determinação da umidade do solo, medindo-se diretamente através do método termogravimétrico ou indiretamente por sensores de umidade, como tensiômetros, sonda de neutros, TDR, entre outros (MEDEIROS et al., 2007).

O método termogravimétrico padrão é realizado utilizando estufa elétrica, o qual apresenta alta precisão, contudo é um método destrutivo e com limitação pelo tempo de

24 horas necessárias para a obtenção do resultado (SANTOS et al., 2006), como opção a este método surge a utilização de forno elétrico, sendo uma prática eficiente que traz benefícios como a redução de gastos e de tempo necessário para determinação da umidade do solo (BUSKE et al., 2014).

Em relação às tecnologias para medida indireta da umidade do solo, destaca-se a técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), que apresenta boa exatidão e possibilidade de automatização dos dados (COELHO et al., 2006), porém esta técnica apresenta algumas deficiências como a falta de informações na literatura sobre a precisão das leituras em solos brasileiros e pelo custo do equipamento (EMBRAPA, 2004).

Evapotranspiração de referência (ET₀)

A correta determinação da evapotranspiração de referência (ET₀) é fundamental para variadas áreas das ciências agrárias como climatologia e hidrologia. Também está relacionada com a produtividade agrícola, demandas de água para irrigação e planejamento dos recursos hídricos (ORTEGA-FARIAS et al., 2009; MARTINEZ; THEPADIA, 2010; LONG et al., 2013; RAZIEI; PEREIRA, 2013; FALAMARZI et al., 2014; MANCOSU et al., 2014; SILVA, 2016).

A ET₀ é medida por meio de técnicas e princípios físicos relativamente complexos e a forma direta mais precisa para sua estimativa é o balanço hídrico no solo com uso de lisímetros (CARVALHO et al., 2015). Contudo, em função do tempo de resposta e do alto custo, medidas diretas de ET₀ com o uso de lisímetros em diversas ocasiões não são passíveis de monitoramento de rotina no campo (TABARI et al., 2013; GHahreman; SAMETI, 2014; SILVA, 2016).

Em virtude deste método possuir as limitações supracitadas, surgiram como alternativa prática o uso de modelos físico - matemáticos. Nas últimas décadas diversos estudos foram realizados para se chegar em uma equação combinada de Penman - Monteith (PM), modificada por Allen et al. (1998), representando assim, melhor o processo da evapotranspiração, que é regido por fatores físicos e fisiológicos. Todavia, o uso dessa equação, apresenta como principal desvantagem a necessidade de um grande número de variáveis meteorológicas para a sua aplicação e, levando em consideração que muitas estações meteorológicas não possuem todos os sensores necessários, os quais, mesmo quando estão presentes, muitas vezes, fornecem dados com baixa qualidade (DROOGERS & ALLEN, 2002, CARVALHO et al., 2015).

Por outro lado, há aqueles mais simples, exigindo apenas a temperatura do ar e, adicionalmente, a latitude do lugar, como propõe a metodologia de Hargreaves-Samani (HARGREAVES & SAMANI, 1982; 1985; VEGA & JARA 2009; ALENCAR et al., 2015).

Para estimar a ET_0 , o método padrão escolhido pela FAO foi o de Penman-Monteith, pois este se aproxima da evapotranspiração do padrão grama nos locais analisados e apresenta superioridade em relação aos outros métodos (CAI et al., 2007; GAVILAN et al., 2007; XING et al., 2008; ALENCAR et al., 2015). Mesmo considerando que, em condições climáticas especiais, pode levar a erros próximos a 30% (WIDMOSER, 2009; ALENCAR et al.; 2015).

O uso da equação de Hargreaves (HARGREAVES & SAMANI, 1985) como alternativa para a estimativa da evapotranspiração, é recomendada quando somente os dados de temperatura do ar são disponíveis nas estações meteorológicas (ALLEN et al. 1998; ALENCAR et al. 2015).

Coefficiente cultural (K_c)

O coeficiente de cultura (K_c), é adimensional e representa a razão entre a evapotranspiração da cultura ET_c e a evapotranspiração de referência, ET_0 . Sua determinação se dá de forma empírica e varia com a cultura, com seu estágio de desenvolvimento, com o clima e práticas agronômicas adotadas (SEDIYAMA et al., 1998).

Sendo ainda que em condições de cobertura completa (estádio intermediário e final), o K_c pouco varia para determinada cultura, porém em condições de cobertura parcial (fases inicial e de desenvolvimento rápido) depende, essencialmente, da quantidade de água na superfície do solo, já que, nessas fases, a evaporação direta da água do solo representa grande parte da evapotranspiração da cultura (ET_c) (SOARES et al., 2001).

A distribuição temporal de K_c , para uma cultura irrigada, constitui a curva desta cultura, que são obtidas de forma experimental. Representam, portanto, o efeito integrado da mudança na área da folha, da altura da planta, do grau de cobertura, da resistência do dossel da planta e do albedo, sobre a ET_c em virtude da ET_0 . Salienta-se ainda que, estudos demonstram que a ET_c não pode ser, puramente, estimada para todas as situações climáticas com um simples valor de K_c . Sendo assim, é necessário determinar os coeficientes culturais para cada estágio de desenvolvimento da cultura (OLIVEIRA, 2003).

Os dados de Kc expostos na literatura ajudam como referencial quando não houver dados locais na região em que a cultura está implantada. Contudo, a estimativa de Kc, para as condições reais em que a cultura está implantada na área, é desejável em virtude das variabilidades climáticas e distintas práticas agrônômicas adotadas em cada região (PEREIRA E ALLEN, 1997; CAVALVANTE JÚNIOR, et al., 2012).

Em relação à cultura do cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.), ocorre grande variação nos valores de Kc, onde diversos autores procuram estimar um valor para certa região e determinado desenvolvimento fenológico. Gutiérrez e Meinzer (1994) expuseram um Kc de 0,58 para cafeeiros com um ano de plantio e valores médios de 0,75 e 0,79 no período de dois a quatro anos de idade. Allen et al. (1998) propõem Kc entre 0,90 e 0,95, na ausência de plantas daninhas, e de 1,05 a 1,10, na presença dessas, utilizando a estimativa de evapotranspiração de referência obtida pela metodologia de Penman-Monteith (FAO). Arruda et al. (2000) apresentaram valores de Kc que alteraram entre 0,73 e 0,75 nos primeiros anos de plantio e de 0,87 a 0,93 aos 7 e 8 anos, respectivamente.

Evapotranspiração da cultura (ETc)

A evapotranspiração (ET) é a variável mais ativa do ciclo hidrológico e o principal componente do balanço hídrico em ecossistemas agrícolas (RAZIEI & PEREIRA, 2013; CARVALHO et al., 2015). Portanto, ela é um ponto chave para estudos de avaliação ambiental e de manejo de bacias hidrográficas, para a estimativa da necessidade hídrica das culturas e para projetos e manejo de sistemas de irrigação (KUMAR et al., 2008; CARVALHO et al., 2015). A ET sofre forte influência das condições meteorológicas; sendo assim, pequenos erros em sua estimativa têm elevado impacto sobre o cálculo do balanço hidrológico de uma região (ALLEN et al., 2011b; CARVALHO et al. 2015).

Estimar a ET de forma precisa é fundamental para identificar as variações temporais sobre a necessidade de irrigação, aprimorar a alocação dos recursos hídricos e averiguar o efeito do uso da terra e as mudanças na gestão do balanço hídrico (ORTEGA-FARIAS et al., 2009; ALENCAR et al., 2015).

A evapotranspiração é afetada pelos seguintes elementos climáticos: radiação solar, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e velocidade do vento. Sendo ainda que o tipo da cultura, a densidade, a variedade e o estágio fenológico também afetam a evapotranspiração, pois diferenças na resistência estomática, altura da cultura, rugosidade do dossel, refletividade e cobertura do solo pela vegetação irão resultar em distintos

valores de ET sob as mesmas condições climáticas e de solo (ALLEN et al., 1998; ALENCAR et al., 2015).

Portanto, o conhecimento da evapotranspiração das culturas (ETc), seja para projeto e/ou manejo de irrigação, assume importância no volume de água a ser aplicado. Sendo assim, para se racionalizar o uso da água nessas situações, a estimativa da ETc (evapotranspiração da cultura) baseada no produto da ET0 pelo coeficiente da cultura (Kc) tem se mostrado como uma boa alternativa (LI et al., 2010; CARVALHO et al., 2011; TRAJKOVIC et al., 2011; MINUZZI et al., 2014; SILVA, 2016).

OBJETIVOS

Geral

Avaliar a estimativa da evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani obtidos de dados climáticos de uma estação meteorológica automática local (EMAL) e de uma estação meteorológica automática do Inmet (EMAI) a uma distância de 5,0 km, e compará-la com a obtida pelo método termogravimétrico padrão da Estufa, no manejo da irrigação em lavoura de *Coffea canephora* com turno de rega fixo.

Específicos

Estimar coeficientes para evapotranspiração da cultura (ETc) em função dos métodos de evapotranspiração de referência utilizados, para a estação meteorológica automática local (EMAL) e a estação meteorológica automática do Inmet (EMAI), em lavoura de cafeeiro conilon adulta;

Comparar o desempenho dos métodos de evapotranspiração de referência obtidos através de dados de uma estação meteorológica automática no local do experimento e uma estação meteorológica automática do Inmet, a uma distância de 5,0 km;

Avaliar o desempenho do TDR em um manejo de irrigação com turno de rega fixo em relação ao método termogravimétrico padrão.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em área de aproximadamente 0,42 ha de lavoura de cafeeiro conilon, constituída pelos 13 clones da variedade “Conilon Vitória Incaper 8142”, plantada no ano de 2010 em um espaçamento de 3,0 x 1,1 metros, a qual está localizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Campus de Alegre, Fazenda Caixa D’Água, em Rive, distrito de Alegre-ES, sob latitude 20°25'51" S, longitude 41°27'24" W e altitude de 137 m.

O período experimental abrangeu de outubro de 2019 a fevereiro de 2020. Sendo que, durante o mesmo, os tratos culturais e fitossanitários foram executados conforme as necessidades da cultura, seguindo as recentes recomendações para o café conilon (FERRÃO et al., 2017).

O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho amarelo e tendo como base a análise química do mesmo, foi realizada a aplicação de corretivos e de adubos químicos, conforme a 5ª aproximação do Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007).

Para a caracterização do solo e condução do experimento no local, foram definidos três pontos de coleta de dados na lavoura de cafeeiro conilon, utilizados como base para determinação da umidade indireta e direta do solo (Figura 1).



Figura 1. Área experimental com a localização da Estação Meteorológica Automática IRRIPLUS e dos Pontos P1, P2 e P3 de coleta de dados.

Fonte: Google Earth (2020).

Por meio da metodologia da EMBRAPA (2011) e com o uso de amostras deformadas, utilizaram-se a análise granulométrica e o triângulo textural da EMBRAPA para classificar a textura do solo dos três pontos como sendo argilosa. Já a densidade do solo, foi determinada de acordo com o método da proveta. Sendo ainda que com o auxílio do extrator de Richards, foi determinada a umidade do solo, em base gravimétrica, na capacidade de campo (10 kPa) e no ponto de murcha (1500 kPa) nos três pontos de coleta, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Densidade do solo e valores de umidade referentes a capacidade de campo e ponto de murcha permanente de cada ponto e a média da área

Pontos	Densidade do solo (kg/dm³)	Capacidade de campo (kg/kg)	Ponto de murcha permanente (kg/kg)
P1	1,131	0,273	0,137
P2	1,092	0,285	0,167
P3	1,140	0,282	0,144
Média da área	1,121	0,280	0,149

Através da utilização do aparelho TDR 300 no solo da área experimental (Figura 1) foi determinada a umidade indireta do solo por meio de uma equação de calibração (Equação 1), essa por sua vez foi elaborada com uma regressão linear entre as leituras do aparelho TDR com a umidade determinada pelo método da estufa na mesma profundidade (Figura 2), a fim de garantir que a utilização da equação padrão do aparelho correspondesse aos valores reais de umidade ao qual o solo se encontrava.

$$\hat{U} = 0,188 + (0,694 \times U_{\text{TDR}}) \quad (1)$$

em que:

- \hat{U} , umidade do solo, (%);
- U_{TDR} , umidade observada pelo aparelho TDR 300, (%).

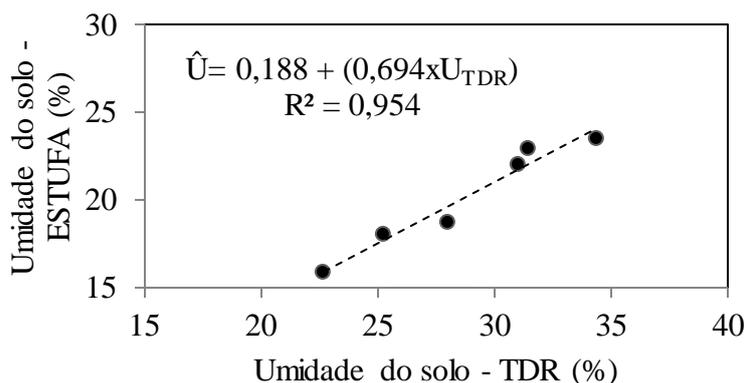


Figura 2. Calibração do aparelho TDR 300, contendo a equação de calibração e o coeficiente de determinação da regressão linear (R^2).

Em seguida, uma amostra de cada ponto foi coletada por meio de uma sonda de 20 centímetros, posteriormente, as mesmas foram levadas ao Laboratório de Recursos Hídricos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES), onde foi determinada a massa úmida de cada uma. Após, utilizando o método padrão para a determinação da umidade direta do solo, as mesmas foram levadas para estufa com circulação forçada de ar, onde permaneceram por 24 horas a uma temperatura de 105 °C. Após o tempo concluído, foi determinada a massa seca das amostras, assim como, a massa do recipiente utilizado e, por fim, a umidade foi calculada por meio da Equação 2.

$$U = \left(\frac{M_{su} - M_{ss}}{M_{ss} - M_r} \right) \times 100 \quad (2)$$

em que:

- U, umidade do solo, (%);
- M_{su} , massa de solo úmido, (g);
- M_{ss} , massa de solo seco, (g);
- M_r , massa do recipiente (g).

Para a realização da irrigação, foi adotado o manejo via umidade do solo, através do TDR. A prática da reposição de água na lavoura foi realizada por aspersão convencional, com o sistema disposto em 18 metros entre linhas por 18 metros entre aspersores, sendo operado na pressão média de 30 mca.

Utilizando como base para efeito comparativo a coleta de amostras para determinação da umidade do solo pelo método padrão termogravimétrico foi realizada no dia da reposição hídrica no mesmo, portanto, no dia estabelecido as leituras do TDR e a coleta de amostras para o método da estufa, que foram realizadas às 16:00 horas, sempre em triplicata.

A partir da determinação da umidade do solo pelos métodos supracitados, realizou-se a reposição de água no solo com um turno de rega fixo de 4 dias, sempre após às 16:00 horas, seguindo os procedimentos propostos por Bernardo et al. (2009), calculando a Irrigação Real Necessária (Equação 3), usando a média dos valores de umidade atual do solo detectados pelo método do TDR, totalizando 31 eventos de irrigação em todo período experimental.

Foi determinada a profundidade efetiva das raízes (Z) com 20 centímetros e utilizaram-se os valores médios da área das variáveis umidade na capacidade de campo (U_{cc}) e densidade do solo (D_s), expostos na Tabela 1.

$$IRN = \left(\frac{U_{cc} - U_a}{10} \right) \times D_s \times Z \quad (3)$$

em que:

- IRN, irrigação real necessária no solo, (mm);
- U_{cc} , umidade na capacidade de campo, (%);
- U_a , umidade atual determinada pelo TDR, (%);
- D_s , densidade do solo, (kg/dm^3);
- Z , profundidade efetiva das raízes, (cm).

Foi realizada a análise de uniformidade da aplicação de água através da metodologia de Christiansen (1942), calculando assim o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), utilizando a Equação 4.

$$CUC = 100 \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |Z_i - \bar{Z}|}{N \times \bar{Z}} \right) \quad (4)$$

em que:

- N = número de coletores ou pluviômetros;

- Z_i = lâmina de água aplicada no i -ésimo ponto sobre a superfície do solo e
- \bar{Z} = lâmina média aplicada.

O resultado desta análise foi de 83% e baseado na literatura de Mantovani et al. (2009), o sistema foi classificado em relação à uniformidade como “Bom”.

Foi realizada a medição da vazão dos aspersores com auxílio de um tubo flexível, recipiente com volume conhecido e cronômetro. Assim, a intensidade de aplicação (Equação 5) e a eficiência do sistema na aplicação de água foram determinadas (Equação 6).

$$I_a = \left(\frac{Q_a}{E_l \times E_{asp}} \right) \times 3600 \quad (5)$$

em que:

- I_a , intensidade de aplicação, (mm/h);
- Q_a , vazão dos aspersores, (m³/h);
- E_l , espaçamento entre linhas laterais, (m);
- E_{asp} , espaçamento entre aspersores, (m).

$$E_a = \left(\frac{L_{col}}{L_{apl}} \right) \times 100 \quad (6)$$

em que:

- E_a , eficiência de aplicação, (%);
- L_{col} , lâmina coletada pelos coletores, (mm);
- L_{apl} , lâmina aplicada pelos aspersores, (mm).

Os resultados obtidos destas análises foram os seguintes: $I_a = 9,52$ mm/h e $E_a = 86,73\%$. Seguindo a metodologia de Bernardo et al. (2009), também foram determinadas a Irrigação Total Necessária (Equação 7), considerando a eficiência do sistema na aplicação de água, e o Tempo de Irrigação (Equação 8), considerando a intensidade de aplicação, auxiliando assim, na prática da irrigação.

$$ITN = \frac{IRN}{E_a} \quad (7)$$

em que:

- ITN, irrigação total necessária, (mm);
- IRN, irrigação real necessária, (mm);
- Ea, eficiência de aplicação, em decimal.

$$TA = \frac{ITN}{Ia} \quad (8)$$

em que:

- TA, tempo de aplicação, (h);
- ITN, irrigação total necessária, (mm);
- Ia, intensidade de aplicação (mm/h).

Para a caracterização climática, os dados de precipitação acumulada e temperaturas máximas, mínimas e médias do período de estudo (Figura 3), foram coletados através de uma estação meteorológica automática local (EMAL) (Figura 4), modelo E5000 da IRRIPLUS, na área do experimento. Além destes elementos climáticos citados, a umidade do ar e velocidade do vento também foram coletados na área de lavoura de cafeeiro conilon por meio desta estação.

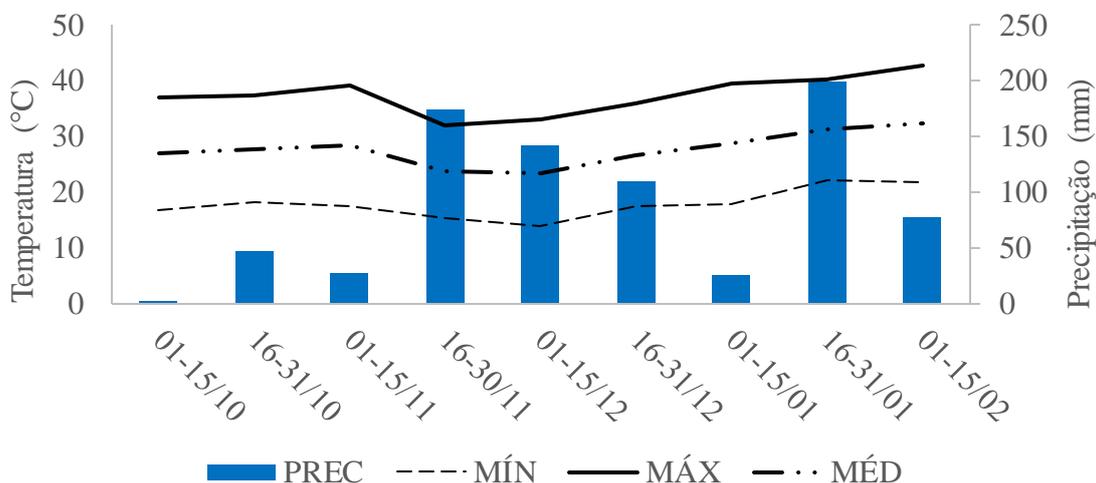


Figura 3. Precipitação acumulada (PREC) e temperatura mínima (MÍN), média (MÉD) e máxima (MÁX), na estação meteorológica automática local (EMAL), modelo E5000 da IRRIPLUS.



Figura 4. Estação meteorológica automática local (EMAL), modelo E5000 da IRRIPPLUS, instalada na área de café conilon onde o experimento foi conduzido.

As estimativas da evapotranspiração de referência (ET_0) foram realizadas pela metodologia padrão de Penman-Monteith-Padrão FAO (MONTEITH, 1973) e pela metodologia de Hargreaves-Samani (HARGREAVES & SAMANI, 1982; 1985), segundo as Equações 9 e 10, utilizando dados climáticos obtidos da EMAL e, para efeito de comparação, também foram utilizados dados climáticos obtidos da estação meteorológica automática do Inmet (EMAI), localizada na Área Experimental do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE/UFES), sob código OMM 86828, latitude $20^{\circ}44,5'32''$ S e longitude $41^{\circ}29'20''$ O (Figura 5). Onde a mesma, fica a uma distância de aproximadamente 5,0 km da EMAL na área do experimento. Sendo ainda, que em virtude de chuva excedente à lâmina de água necessária nos dias de coleta de dados, só foram aproveitados 18 eventos de irrigação durante o período experimental, para ambas as estações utilizadas.

$$ET_0 = \frac{0,4808 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900U_2}{T_{med} + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34U_2)} \quad (9)$$

em que:

- ET_0 , estimativa da evapotranspiração Penman-Monteith-Padrão FAO, (mm);
- Δ , declinação da curva de saturação do vapor d'água, (kPa/°C);
- R_n , saldo de radiação, (MJ/m²d);
- G , densidade do fluxo de calor no solo (MJ/m²d);
- γ , fator psicométrico (MJ/kg);
- U_2 , velocidade do vento (média diária) a 2 m acima da superfície do solo, (m/s);
- e_s , pressão de saturação do vapor, (kPa);
- e_a , pressão real do vapor (kPa);
- T_{med} , temperatura média, (°C).

$$ET_0 = 0,408 \times 0,0023 \times R_a \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times (T_{med} + 17,8) \quad (10)$$

em que:

- ET_0 , estimativa da evapotranspiração Hargreaves-Samani, (mm);
- R_a , radiação solar na ausência de atmosfera, (MJ/m²d);
- T_{max} , temperatura máxima do dia, (°C);
- T_{min} , temperatura mínima do dia, (°C);
- T_{med} , temperatura média do dia, (°C).



Figura 5. Estação meteorológica automática do Inmet (EMAI), localizada na Área Experimental do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUEFES).

Para análise dos dados obtidos utilizaram-se as ferramentas estatísticas: o viés (BIAS) para o erro sistemático; a estimativa do erro padrão (EEP); o coeficiente de determinação (r^2), o índice de concordância (D) de Willmott et al. (1985), o índice de correlação de Pearson (r), e o índice de desempenho “C”, calculados pelas Equações 11, 12, 13, 14 e 15, respectivamente. Os procedimentos estatísticos foram realizados com a utilização do software R (R core team, 2016). Também se analisou o comportamento dos dados pela determinação do coeficiente de relação entre o estimado e o observado (Kz), sendo o coeficiente angular (β_1) da reta, definido pela regressão linear, a qual tem seu início da reta na origem do plano cartesiano, ou seja, o coeficiente linear (β_0) é nulo (Equação 16) (TOLEDO & OVALLE, 2008).

$$\text{Bias} = N d^{-1} \sum_{i=1}^N (Y_{o_i} - Y_{e_i}) \quad (11)$$

$$\text{EEP} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_{e_i} - Y_{o_i})^2}{N-1}} \quad (12)$$

$$r = \frac{N \sum_{i=1}^N Y_{e_i} Y_{o_i} - \sum_{i=1}^N Y_{o_i} \sum_{i=1}^N Y_{e_i}}{\sqrt{N \sum_{i=1}^N Y_{o_i}^2 - (\sum_{i=1}^N Y_{o_i})^2} \sqrt{N \sum_{i=1}^N Y_{e_i}^2 - (\sum_{i=1}^N Y_{e_i})^2}} \quad (13)$$

$$D = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_{e_i} - Y_{o_i})^2}{\sum_{i=1}^N (|Y_{e_i} - \bar{Y}_o| + |Y_{o_i} - \bar{Y}_o|)^2} \right] \quad (14)$$

$$C = r \cdot D \quad (15)$$

$$K_Z = \frac{\sum_{i=1}^N Y_{e_i} \cdot Y_{o_i}}{\sum_{i=1}^N (Y_{o_i})^2} \quad (16)$$

em que:

- Y_{e_i} é o i -ésimo valor previsto ou estimado;
- Y_{o_i} é o i -ésimo valor observado;
- \bar{Y}_o é a média dos valores observados;
- N é o número de observações;
- N_d é o número de pares de dados.

Os valores dos índices de correlação e desempenho foram interpretados conforme Cunha et al. (2013) e Camargo e Sentelhas (1997), cujos sistemas de classificação aplicados são evidenciados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2. Classificação dos valores do índice de correlação de Pearson (r)

Índice de correlação (r)	Classificação
0,0 a 0,1	Muito baixa
0,1 a 0,3	Baixa
0,3 a 0,5	Moderada
0,5 a 0,7	Alta
0,7 a 0,9	Muito alta
0,9 a 1,0	Quase perfeita

Fonte: Cunha et al. (2013).

Tabela 3. Critérios de interpretação do índice de desempenho C

Índice de desempenho C	Classificação
>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).

No final de cada análise dos métodos de evapotranspiração de referência, foi elaborada uma equação (Equação 17) para cada metodologia, que representa a correção da evapotranspiração da cultura em virtude do Kz.

$$ETc_{PM \text{ ou } HS} = \left(\frac{1}{Kz_{PM \text{ ou } HS}} \right) \times ET0_{PM \text{ ou } HS} \quad (17)$$

Legenda: PM = Penman-Monteith; HS= Hargreaves-Samani.

em que:

- $ETc_{PM \text{ ou } HS}$, evapotranspiração da cultura corrigida de acordo com o método utilizado (Penman-Monteith ou Hargreaves-Samani), (mm);
- $Kz_{PM \text{ ou } HS}$, coeficiente de relação entre o estimado e o observado de acordo com o método utilizado (Penman-Monteith ou Hargreaves-Samani) e o método da Estufa;
- $ET0_{PM \text{ ou } HS}$, evapotranspiração de referência obtida de acordo com o método utilizado (Penman-Monteith ou Hargreaves-Samani), (mm).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentadas através da Figura 6 e Tabela 4, as variações com suas respectivas comparações, da quantidade de irrigação real necessária, em milímetros, baseada nas estimativas de evapotranspiração de referência pelas metodologias de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani, obtidas através de dados climáticos da estação meteorológica automática local (EMAL) na área do experimento, e com os dados de umidade do solo estimados pelo aparelho TDR, tendo como base para efeito de comparação o método termogravimétrico padrão (método da estufa).

Na Figura 6, para a maioria dos eventos de irrigação, pode-se observar que a evapotranspiração estimada pela metodologia de Hargreaves-Samani apresentou valores de IRN acima do método da Estufa, indicando que este método tende a superestimar o método padrão da estufa. Por outro lado, Penman-Monteith, apresentou valores de IRN próximos ou até menores que o método da Estufa. Já o TDR apresentou comportamento próximo com a Estufa entre todos os métodos analisados, compreendendo assim que a tecnologia do TDR conseguiu apresentar um desempenho que representa a diminuição do teor de água no solo em quantidades próximas ao que é estimado pelo método termogravimétrico padrão, no mesmo período.

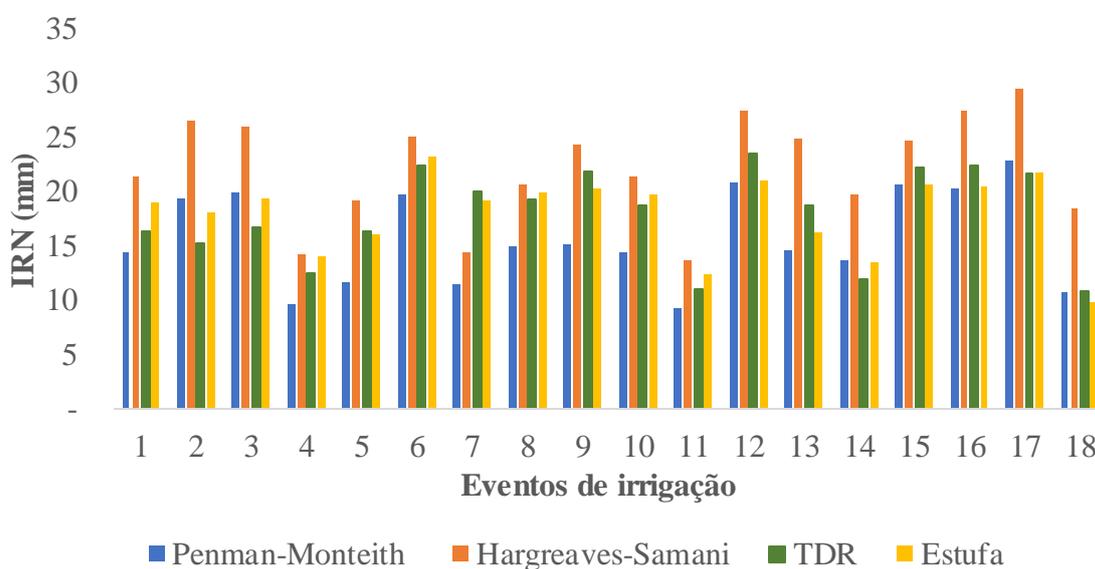


Figura 6: Irrigação Real Necessária (IRN), em milímetros, em função das metodologias de estimativa de evapotranspiração de referência de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani obtidas de dados climáticos da EMAL e das umidades de solo obtidas pelo TDR e Estufa, para cada evento de irrigação.

Tabela 4. Valores do viés para o erro sistemático (BIAS), estimativa do erro padrão (EEP), coeficiente de correlação de Pearson (r) e índice de desempenho (C) para os métodos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani e TDR em função do método da Estufa.

Métodos	BIAS (mm dia⁻¹)	EEP (mm dia⁻¹)	r	C
Penman-Monteith	0,56	2,45	0,76	0,68
Hargreaves-Samani	-1,08	4,51	0,65	0,48
TDR	0,04	0,16	0,90	0,89

Verifica-se na Tabela 4, que a irrigação real necessária calculada com os dados de unidade do solo através da metodologia do TDR, ocorreu a menor diferença, aonde o mesmo subestimou a IRN em 0,04 mm dia⁻¹; seguido então, pela estimativa de evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith, que subestimou a mesma variável em 0,56 mm dia⁻¹. Por outro lado, Hargreaves-Samani, superestimou a IRN em 1,08 mm dia⁻¹ em relação ao método padrão da Estufa.

Sendo assim, TDR obteve valor de estimativa do erro padrão (EEP), quando comparado com a Estufa, que pode ser considerado como insignificante para realização de um manejo da irrigação, sobretudo em áreas que antigamente não eram irrigadas ou irrigadas sem nenhum controle de eficiência na mencionada prática, ou seja, a irrigação com os dados provenientes da Estufa aumenta a irrigação apenas em 0,16 mm dia⁻¹ de água estimado por TDR. Já em relação ao método de Penman-Monteith, a irrigação com os dados provenientes da Estufa aumenta a irrigação em 2,45 mm dia⁻¹ de água estimado pelo presente método. Por outro lado, Hargreaves-Samani apresentou um valor de estimativa do erro padrão mais alto em relação ao método da Estufa, sendo que a irrigação com dados proveniente deste método aumenta em 4,51 mm dia⁻¹ de água em relação ao método padrão.

A classificação do coeficiente de Pearson (r) mostra como “quase perfeita” a correlação entre os dados de Estufa com o TDR e como “muito alta” e “alta” com Penman-Monteith e Hargreaves-Samani, respectivamente (Tabela 2), manifestando, portanto, forte relação de intensidade entre os conjuntos de dados da Estufa com os métodos analisados. No que diz respeito ao índice de desempenho (C), o TDR obteve classificação como “ótima”; já Penman-Monteith foi “bom” e Hargreaves-Samani foi “mau”, quando ambos foram comparados com a Estufa (Tabela 3).

Tal desempenho de Hargreaves-Samani pode ser relacionado com o comportamento deste método em superestimar os valores obtidos por outras metodologias, como visto na Figura 6, o que se deve às suas características em ser um método mais simples em relação ao modelo de Penman-Monteith, por exemplo, onde o mesmo utiliza um número maior de variáveis climáticas, conseguindo assim, se ajustar melhor em diferentes condições, o mesmo comportamento foi exposto por Pinheiro (2019), Borges Júnior et al. (2017) e Bragança et al. (2010).

Para obter uma maior clareza da variação ocorrida na irrigação real necessária entre os quatro métodos analisados acima (Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, TDR e Estufa), foi estimada a quantidade de água a ser irrigada em um hectare, usando os valores de IRN para os eventos de irrigação expostos na Figura 6 (Tabela 5).

Tabela 5. Estimativa da quantidade de água a ser irrigada (m³/ha) para os métodos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, TDR e Estufa.

Métodos	Quantidade de água a ser irrigada (m³/ha)
Penman-Monteith	2.832,58
Hargreaves-Samani	3.980,82
TDR	3.210,05
Estufa	3.237,26

Observa-se na tabela acima, que a quantidade de água a ser irrigada pelo TDR refere-se a 99,15% do montante calculado pela Estufa, totalizando diferença de 27,21 metros cúbicos, evidenciando mais uma vez a proximidade entre os valores calculados e estimados. Seguindo da mesma relação para a metodologia de Penman-Monteith, o resultado é de 87,49% do montante calculado pela Estufa, com uma diferença de 404,68 metros cúbicos. Em contrapartida, a quantidade de água a ser irrigada estimada por Hargreaves-Samani foi de 743,56 metros cúbicos a mais em relação à Estufa, totalizando 122,96% do montante calculado.

Observando esta diferença entre o calculado pela Estufa e o estimado pelas metodologias de Hargreaves-Samani e Penman-Monteith, verifica-se que há necessidade de um fator de correção para a evapotranspiração de referência, de modo a corrigir a evapotranspiração da cultura (ET_c) em função do método utilizado.

As equações 18 e 19, representam a ETc corrigida para os métodos de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani, respectivamente, estimados através da EMAL na área do experimento.

$$ETc_{PM} = 1,14 \times ET0_{PM} \quad (18)$$

em que:

- ETc_{PM} , evapotranspiração da cultura corrigida para o método de Penman-Monteith, (mm);
- 1,14 é a constante estimada para a correção;
- $ET0_{PM}$, evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith (mm).

$$ETc_{HS} = 0,82 \times ET0_{HS} \quad (19)$$

em que:

- ETc_{HS} , evapotranspiração da cultura corrigida para o método de Hargreaves-Samani, (mm);
- 0,82 é a constante estimada para a correção;
- $ET0_{HS}$, evapotranspiração de referência obtida pelo método de Hargreaves-Samani (mm).

São apresentadas através da Figura 7 e Tabela 6, as variações com suas respectivas comparações, da quantidade de irrigação real necessária, em milímetros, baseada nas estimativas de evapotranspiração de referência pelas metodologias de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani, obtidas através de dados climáticos da estação meteorológica automática do Inmet (EMAI) na área experimental da UFES, e nos valores calculados com os dados de umidade do solo obtidos pelo aparelho TDR, tendo como base para efeito de comparação o método termogravimétrico padrão (método da estufa).

Na Figura 7, pode-se observar que a evapotranspiração estimada pela metodologia de Hargreaves-Samani apresentou valores de IRN acima do método da Estufa na maioria dos eventos analisados, Penman-Monteith apresentou alguns eventos de IRN acima e,

outros abaixo do método padrão. Já o TDR apresentou novamente um comportamento próximo com a Estufa entre todos os métodos analisados.

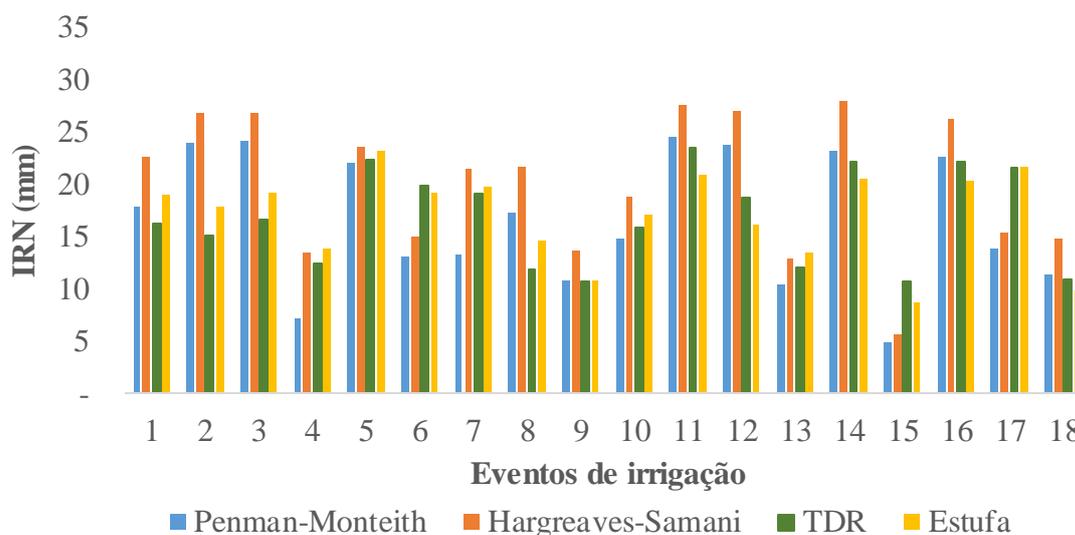


Figura 7: Irrigação Real Necessária (IRN), em milímetros, em função das metodologias de estimativa de evapotranspiração de referência de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani obtidas de dados climáticos da EMAI e das umidades de solo obtidas pelo TDR e Estufa, para cada evento de irrigação.

Tabela 6. Valores do viés para o erro sistemático (BIAS), estimativa do erro padrão (EEP), coeficiente de correlação de Pearson (r) e índice de desempenho (C) para os métodos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani e TDR em função do método da Estufa.

Métodos	BIAS (mm dia ⁻¹)	EEP (mm dia ⁻¹)	r	C
Penman-Monteith	0,09	0,41	0,68	0,67
Hargreaves-Samani	-0,76	3,33	0,69	0,62
TDR	0,05	0,26	0,91	0,90

Verifica-se na Tabela 6, que a irrigação real necessária calculada com os dados de umidade do solo através do TDR, ocorreu a menor diferença, aonde o mesmo subestimou a IRN em 0,05 mm dia⁻¹, seguido pelo método de Penman-Monteith que subestimou a IRN em 0,09 mm dia⁻¹. Por outro lado, Hargreaves-Samani superestimou a IRN em 0,76 mm dia⁻¹, respectivamente, em relação ao método padrão da Estufa.

Sendo assim, TDR e Penman-Monteith obtiveram valores de estimativa do erro padrão (EEP), quando comparados com a Estufa, que podem ser considerados como

insignificantes para realização de um manejo da irrigação, ou seja, a irrigação com os dados provenientes da Estufa aumenta a irrigação apenas em 0,26 mm dia⁻¹ e 0,41 mm dia⁻¹ de água estimados pelo TDR e Penman-Monteith, respectivamente. Por outro lado, a irrigação com Hargreaves-Samani aumenta em 3,33 mm dia⁻¹ de água em relação ao método padrão da Estufa.

Portanto, verifica-se que Hargreaves-Samani manteve o mesmo comportamento de superestimar outras metodologias, quando os dados climáticos foram obtidos através da EMAI. Já Penman-Monteith subestimou novamente a Estufa com os dados climáticos obtidos através da mesma estação, demonstrando assim, que estes métodos não sofreram grande influência da distância entre as estações analisadas.

A classificação do coeficiente de Pearson (r) mostra como “quase perfeita” a correlação entre os dados de Estufa com o TDR e com Penman-Monteith e Hargreaves-Samani como “alta” (Tabela 2), manifestando, portanto, forte relação de intensidade entre os conjuntos de dados dos métodos analisados com a Estufa. No que diz respeito ao índice de desempenho (C), o TDR obteve classificação como “ótima”; já Penman-Monteith foi “bom” e Hargreaves-Samani foi “mediano”, quando ambos foram comparados com a Estufa (Tabela 3).

Para verificar a variação ocorrida na irrigação real necessária obtida através de dados climáticos da EMAI, entre os quatro métodos analisados acima (Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, TDR e Estufa), foi estimada a quantidade de água a ser irrigada em um hectare, usando os valores de IRN para os eventos de irrigação expostos na Figura 7 (Tabela 7).

Tabela 7. Estimativa da quantidade de água a ser irrigada (m³/ha) para os métodos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, TDR e Estufa.

Métodos	Quantidade de água a ser irrigada (m ³ /ha)
Penman-Monteith	2.998,60
Hargreaves-Samani	3.617,19
TDR	3.023,51
Estufa	3.066,56

Observa-se na tabela acima, que a quantidade de água a ser irrigada pelo TDR e por Penman-Monteith refere-se a 98,59% e 97,78%, respectivamente, do montante calculado pela Estufa, totalizando 43,05 e 67,96 metros cúbicos, evidenciando mais uma vez a

proximidade entre os valores calculados e estimados pelas metodologias da Estufa com TDR e Penman-Monteith, onde os mesmos se mostraram ser métodos eficientes no manejo, determinando uma lâmina de irrigação sempre próxima que a quantidade necessária. E, caso o produtor opte pela utilização de um ou outro, se tornam uma boa ferramenta para aplicação de água na lavoura.

Em contrapartida, a quantidade de água a ser irrigada estimada por Hargreaves-Samani foi de 550,63 metros cúbicos a mais em relação à Estufa, totalizando 117,95% do montante calculado. Sem contar que a utilização do mesmo, implicaria no sistema ligado mais tempo, conseqüentemente, gastando mais energia e mão de obra para realização do manejo, o que resulta, portanto, em custos.

Observando os dados acima, no manejo realizado através do TDR, verifica-se que não há necessidade de um fator de correção para a umidade, pois estão próximos ao do método utilizado como padrão.

Em relação à diferença observada entre a calculada pela Estufa e a estimada pelas metodologias de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani, infere-se que há necessidade de um fator de correção para a evapotranspiração de referência, de modo a corrigir a evapotranspiração da cultura (ETc) em função do método utilizado.

As equações 20 e 21, representam a ETc corrigida para os métodos de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani, respectivamente, estimados através da EMAI na área experimental da UFES.

$$ETc_{PM} = 1,02 \times ET0_{PM} \quad (20)$$

em que:

- ETc_{PM}, evapotranspiração da cultura corrigida para o método de Penman-Monteith, (mm);
- 1,02 é a constante estimada para a correção;
- ET0_{PM}, evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith (mm).

$$ETc_{HS} = 0,85 \times ET0_{HS} \quad (21)$$

em que:

- ETc_{HS} , evapotranspiração da cultura corrigida para o método de Hargreaves-Samani, (mm);
- 0,85 é a constante estimada para a correção;
- $ET0_{(HS)}$, evapotranspiração de referência obtida pelo método de Hargreaves-Samani (mm).

Na comparação entre as estações meteorológicas utilizadas, verifica-se que os dados da EMAI houve menos diferença com a estufa para os métodos de evapotranspiração de referência em relação a EMAL, principalmente para a metodologia de Penman-Monteith, que exige uma quantidade maior de variáveis e estas quando são obtidas por uma estação mais confiável e testada como é a do Inmet, tem-se uma acurácia maior dos resultados.

Nas Figuras 8 e 9 foram determinados os coeficientes Kz de cada método de estimativa de evapotranspiração de acordo com a estação meteorológica utilizada, comparando-os com a metodologia da Estufa. Adotou-se a metodologia estatística que estabelece o início da linha de tendência dos dados na origem dos eixos cartesianos e determinando que o coeficiente angular desta reta é o coeficiente de cada método.

A citada metodologia utilizada nesta discussão igualmente foi utilizada para determinação de coeficientes relacionados às estimativas de evapotranspiração por Barbosa (2010).

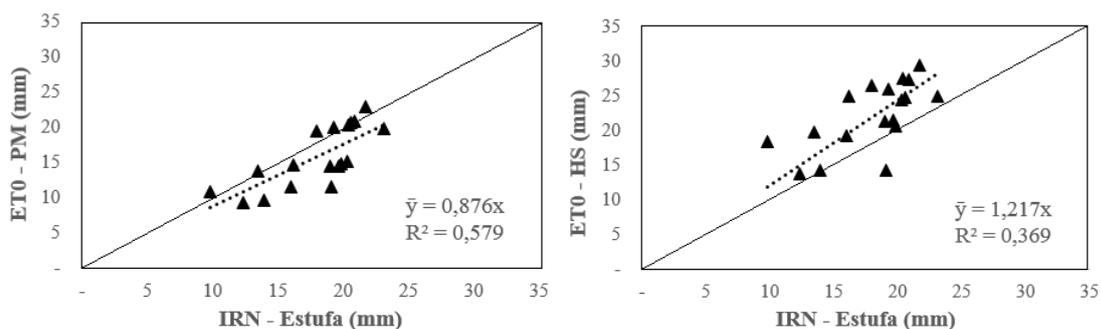


Figura 8. Relação dos valores de irrigação real necessária e estimativa de evapotranspiração de referência durante os períodos de irrigação, coletados da EMAL, com apresentação do coeficiente Kz (coeficiente angular da equação da reta) e o valor de R^2 (coeficiente de determinação).

Legenda: ET0: estimativa da evapotranspiração de referência; IRN: irrigação real necessária; PM: Penman-Monteith; HS: Hargreaves-Samani; \bar{y} : consumo hídrico estimado; e, x: consumo hídrico observado.

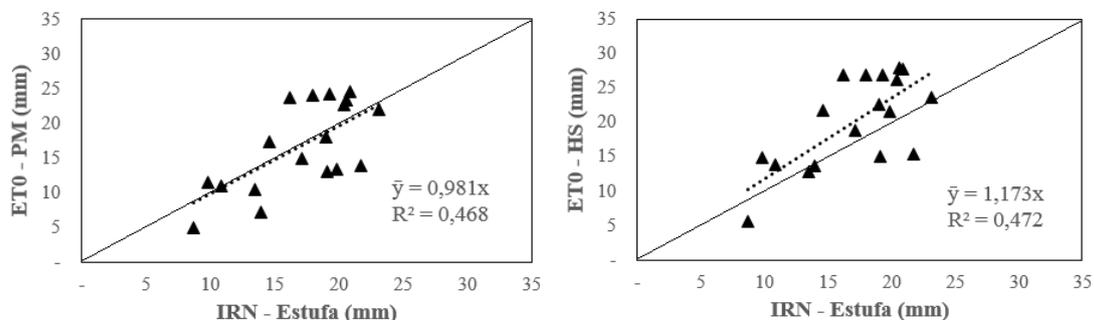


Figura 9. Relação dos valores de irrigação real necessária e estimativa de evapotranspiração de referência durante os períodos de irrigação, coletados da EMAI, com apresentação do coeficiente K_z (coeficiente angular da equação da reta) e o valor de R^2 (coeficiente de determinação).

Legenda: ET0: estimativa da evapotranspiração de referência; IRN: irrigação real necessária; PM: Penman-Monteith; HS: Hargreaves-Samani; \bar{y} : consumo hídrico estimado; e, x: consumo hídrico observado.

Durante todo período experimental, a determinação dos coeficientes K_z para os métodos de estimativa da evapotranspiração, Penman-Monteith obtido através dos dados da EMAL apresentou o melhor índice de determinação (0,57), sendo este modelo mais explicativo do que o modelo de Hargreaves-Samani obtido também através dos dados da mesma estação e também aos modelos relacionados a EMAI.

A evapotranspiração estimada por Penman-Monteith através dos dados da EMAL obteve desempenho de 12,4 % inferior à irrigação real necessária calculada pelo método da Estufa, com K_z de 0,876, e 1,9% inferior à irrigação real necessária calculada pelo mesmo método, com K_z de 0,981, quando se utilizaram os dados da EMAI, portanto, os valores obtidos pela metodologia de Penman-Monteith, através da EMAI, apresentaram maior proximidade com o método termogravimétrico padrão (método da Estufa), quando comparada a mesma estimativa de evapotranspiração obtida através da EMAL.

Já a estimativa de evapotranspiração pelo método de Hargreaves-Samani superestimou a IRN nas duas estações meteorológicas analisadas, quando comparada com o método da Estufa. Com os dados obtidos através da EMAL, superestimou em 21,7%, com K_z de

1,217, já os dados obtidos através da EMAI, Hargreaves-Samani superestimou em 17,3%, com Kz de 1,173, ou seja, praticamente não houve diferença na quantidade de água superestimada por Hargreaves-Samani em relação ao método da Estufa, independente do tipo e localização da estação meteorológica. Porém, o método propriamente dito estimado pela EMAL, apresentou baixo índice de concordância da regressão linear, com 36% dos dados explicados por este modelo.

A metodologia de Hargreaves-Samani obtida através da EMAI, apresentou maior concordância entre os dados ($R^2=0,47$), porém como dito anteriormente, praticamente superestimou a mesma quantidade de água, independente da estação meteorológica utilizada. Isto se deve à falta de adequação desta metodologia de estimativa da evapotranspiração para nosso clima, uma vez que a mesma foi desenvolvida para regiões de clima árido, tendo como implicância desta adequação uma característica de superestimação dos dados, como notado neste trabalho e em trabalhos de Pinheiro (2019) e Bragança et al. (2010).

Portanto, além das equações de correção de ETC em função dos métodos utilizados já apresentadas neste trabalho (Equações 18, 19, 20 e 21), a análise dos coeficientes de determinação para cada situação apresentada (Figuras 8 e 9), entende-se que estes também podem ser utilizados para ajustamento entre os métodos de estimativa do consumo hídrico e o real consumo das plantas, podendo ser considerados na utilização do coeficiente cultural, calculando a evapotranspiração potencial da cultura, realizando assim, a correção necessária para os atributos do clima, ambiente e cultura no campo, pois os mesmos possuem diferenças em relação aos atributos referências, variando também em relação à fase de desenvolvimento que a cultura se encontra (ALLEN et al., 1998; ROSA, 2018 e PINHEIRO, 2019).

Além das possibilidades citadas acima, os coeficientes Kz também podem ser utilizados para calibração das metodologias de quantificação da água no solo, somando ao conhecimento da estimativa da evapotranspiração das plantas a estes métodos, melhorando o manejo executado a partir destes.

Essa pesquisa apresentou resultados satisfatórios na medida do possível, por consequência, os dados climáticos obtidos de cada estação meteorológica, que possibilitam a estimativa da evapotranspiração de referência pelas metodologias de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani; o aparelho TDR e o método termogravimétrico padrão (Estufa) possibilitam o monitoramento e a realização da reposição de água no solo em cultivos agrícolas, consentindo maior eficiência no uso dos recursos hídricos e nos

investimentos realizados (CARVALHO et al., 2011; NETO et al., 2011 e PINHEIRO 2019).

As referidas metodologias apresentadas nesta pesquisa apresentam suas vantagens e desvantagens, como: a determinação da umidade do solo pelo método termogravimétrico padrão (Estufa) apresenta elevada precisão e serve de referência para a calibração de outros métodos (EMBRAPA, 2011), porém seu principal inconveniente é a demora no tempo de resposta (24 horas), além da necessidade de utilizar estufa e balança de precisão (FONSECA et al., 2009); o TDR que é rápido na obtenção de resultados, mas apresenta um custo de implantação que pode ser considerado alto dependendo do porte do empreendimento rural (COSTA et al., 2017) e a determinação da evapotranspiração que é de grande importância para planejar e manejar a tecnologia da irrigação (BIGGS et al., 2015), porém a escolha de qual método utilizar depende da disponibilidade de variáveis meteorológicas a uma determinada distância do local do cultivo agrícola (CARMO et al., 2005).

Dessa maneira, ocorre a necessidade de calibrações e correções das metodologias avaliadas para cada situação no campo, mas isso vai depender do poder aquisitivo do produtor rural, da oferta de dados e conhecimento e da necessidade de precisão no manejo de irrigação, para assim se definir qual metodologia seria mais propícia para cada caso estabelecido.

Como exemplo desses casos, pode-se citar que a utilização do TDR por produtores rurais é importante para ocasiões que se possa realizar um investimento maior e que necessite de resultados mais rápidos e precisos no manejo de irrigação; já a utilização de dados climáticos para realizar o manejo, parte da opção do produtor optar por ter sua própria estação meteorológica automática, possibilita boa precisão nos dados e economia em quantidade de água aplicada no solo, mas apresenta um custo de aquisição que pode ser considerado elevado dependendo do aporte financeiro empregado, ou ainda como opção viável e gratuita a qualquer pessoa, a utilização de dados climáticos de estações meteorológicas próximas ao cultivo agrícola, que podem ser acessadas e baixadas diretamente no site do Inmet (www.inmet.gov.br) e geram resultados bem precisos.

CONCLUSÕES

- Os coeficientes estimados para a correção da evapotranspiração do cafeeiro conilon adulto em virtude do método de evapotranspiração de referência, foram os seguintes: 1,14 e 1,02 para Penman-Monteith; e 0,82 e 0,85 para Hargreaves-Samani;
- Penman-Monteith subestimou a IRN em 0,56 mm d⁻¹ e Hargreaves-Samani superestimou a mesma variável em 1,08 mm d⁻¹, quando foram obtidos de dados climáticos da EMAL; e quando se utilizou dados climáticos da EMAI, Penman-Monteith subestimou a IRN em 0,09 mm d⁻¹ e Hargreaves-Samani superestimou em 0,76 mm d⁻¹ em comparação com a Estufa;
- Penman-Monteith obteve classificação de desempenho como “bom” para ambas as estações e Hargreaves-Samani “mau” para EMAL e “mediano” para EMAI;
- O TDR conseguiu o melhor desempenho em relação a Penman-Monteith e Hargreaves-Samani, obtendo a classificação “ótima”;
- A estimativa da irrigação em um hectare com o método da Estufa é superior à irrigação de Penman-Monteith em 67,96 metros cúbicos quando os dados climáticos utilizados foram da EMAI e em 404,68 metros cúbicos quando os dados climáticos utilizados foram da EMAL;
- O coeficiente Kz apresentou maior proximidade entre as evapotranspirações de referência obtidas a partir dos dados climáticos da EMAI e a irrigação real necessária calculada pelo método da Estufa foi de 0,981, representando a relação de Penman-Monteith com a Estufa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Informe 2017. Brasília: **Portal Brasil**, publicado em 05 dezembro de 2017. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf>>. Acesso: 17/07/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Informe 2014. Brasília: **Portal Brasil**, publicado em 21 abril de 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/03/ana-divulga-relatorio-de-conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso: 07/07/2020.

ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀ Padrão FAO) para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.35, n.1, p.39-50, 2015.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Cropevapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 301 p.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; HOWELL, T.A.; JENSEN, M.E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v.98, p.899-920, 2011a.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; HOWELL, T.A.; JENSEN, M.E. Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. **Agricultural Water Management**, v.98, p.921-929, 2011b.

ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S. An update for the definition of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, New Delhi, v.43, n.2, p.93, 1994.

ANDRADE, A. D.; MIRANDA, W. L.; CARVALHO, L. G.; FIGUEIREDO, P. H. F.; SILVA, T. B. S. Desempenho de métodos de cálculo do coeficiente de tanque para estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 119-130, 2016.

ARRUDA, F.B.; IAFFE, A.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R.O. Resultados anuais do coeficiente de cultura do cafeeiro em um ensaio em Pindorama - SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. *Resumos expandidos...* Brasília: EMBRAPA Café/MINASPLAN, 2000. v.2, p.790.

BARBOSA, V. S. Avaliação do desempenho do irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência para as condições da região sul do estado do Espírito Santo. 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias da UFES. Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES.

BAYER, A.; MAHBUB, I.; CHAPPELL, M.; RUTER, J.; VAN IERSEL, M. W. Water use and growth of *Hibiscus acetosella* “Panama Red” grown with a soil moisture sensor-controlled irrigation system. **HortScience**, v. 48, n. 8, p. 980–987, 2013.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995, 657p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A. & MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8 ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 625p.

BIGGS, T.; PETROPOULOS, G. P.; VELPURI, N. M.; MESSINA, A. Remote Sensing of Evapotranspiration from Croplands. In: THENKABAIL, P. **Handbook of Remote Sensing**. Taylor- Francis., 2015.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; OLIVEIRA, A. L. M.; ANDRADE, C. de L. T. de.; PINHEIRO, M. A. B. Equação de Hargreaves-Samani calibrada em diferentes bases temporais para Sete Lagoas, MG. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 38-49, 2017.

BRAGANÇA, R.; REIS, E. F. dos; GARCIA, G. de O.; PEZZOPANE, J. E. M. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência no período chuvoso para três localidades no estado do Espírito Santo. **Idesia**, Chile, v. 28, n. 2, p. 21-29, 2010.

BUSKE, T. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; ROSSO, R. B.; BRAGA, F. de V. A. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. **Irriga**. Botucatu, v. 19, n. 2, p. 315-325, abril-junho, 2014.

CAI, J.; LIU, Y.; LEI, T.; PEREIRA, L.S., Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman–Monteith equation using daily weather forecast messages. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 145, p. 22–35, 2007.

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.

- CARDUCCI, C. E.; BOSCO, L. C.; KOHN, L. S.; BARBOSA, J. S.; BENEVENTUTE, P. A. N.; REGAZOLLI, G. H. M. Dinâmica da água em cambissolo húmico sob cultivo do linho no planalto catarinense. *Scientia agraria*. vol. 18, nº. 1, Curitiba, p. 01-11, 2017.
- CARMO, R. L.; OJIMA, A. L. R. O.; OJIMA, R.; NASCIMENTO, T. T. Água virtual: o Brasil como grande exportador de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, **Anais**. Trabalho completo, João Pessoa, SBRH, CDROM, 2005.
- CARVALHO, D. F.; NETO, D. H. O.; RIBEIRO, R. L. D.; GUERRA, J. G. M.; ROUWS, J. R. C. Manejo da irrigação associada a coberturas mortas vegetais no cultivo orgânico da beterraba. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 269-277, 2011.
- CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. Viçosa, MG, UFV, 2012. 239p.
- CARVALHO, D. F.; ROCHA, H. S.; BONOMO, R.; SOUZA, A. P. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v.50, n.1, p.1-11, 2015.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.3, p.456-465, 2011.
- CASA, R.; RUSSELL, G.; LO CASCIO, B.; ROSSINI, F. Environmental effects on linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield and growth of flax at different stand densities. **European Journal of Agronomy**, v.11, p: 267–278, 1999.
- CAVALCANTE JUNIOR, E. G., MEDEIROS, J. F. MELO, T. K., SOBRINHO, J. E., GILMAR BRISTOT, G., ALMEIDA, B. M. Necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.3, p.261–267, 2013.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Station. 1942. 124p. Bulletin, 670.
- CHRISTOFIDIS, D. Distribuição da Irrigação no Brasil, 2004. In: Irrigação no mundo e no Brasil. Disponível em: <http://www.valmont.com.br/valley/mestre/irrig_mundo_e_brasil.pdf>. Acesso em: julho 2020.

COELHO, E. F.; VELLAME, L. de M.; FILHO, M. A. C.; LEDO, C. A. da S. Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipos de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.30, p. 23-30, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: v. 4 - safra 2016/17 - n. 5 - quinto levantamento. Brasília: CONAB, 2017, 166 p.

COSMO, B. M. N.; CABRAL, A. C.; PINTO, L. P.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D. de; BONASSA, G. Linhaça *Linum asitissimum*, Suas Características. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n.3, p. 189-196, 2014.

COSTA, B. F. D. Reflectometria no domínio do tempo (TDR) para determinação do conteúdo de água em solos tropicais do Distrito Federal. 2017. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília, Brasília-DF.

COSTA, J. D. O. Padrões de resposta termal ao déficit hídrico na cultura do café irrigado por gotejamento. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas. ESALq, Piracicaba, SP, 2016.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P. Absorção e exportação de micronutrientes pelo arroz de terras altas em função de lâminas de água aplicadas por aspersão. **Brazilian Journal of Agriculture**, v.78, n.3, p.380-393, 2015.

CULLEN, P. The journey to sustainable irrigation. In: IRRIGATION ASSOCIATION OF AUSTRALIA ANNUAL CONFERENCE, 2004, Adelaide. Proceedings... Sydney: Irrigation Association of Australia, 2004. Disponível em: <www.thinkers.sa.gov.au/lib/pdf/Cullen_Irrigation_Conf.pdf>. Acesso em: julho 2020.

CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B; RODRIGUES, C. R.; MORAES, G. S.; SILVA, I. O. F.; ALVES, D. K. M. Uniformidade de irrigação por gotejamento sob fertirrigação com fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza-Ceará. v.12, nº.7, p. 3118 -3128, 2018.

CUNHA, P. C. R.; NASCIMENTO, J. L.; SILVEIRA, P. M.; ALVES JÚNIOR, J. Eficiência de métodos para o cálculo de coeficientes do tanque classe A na estimativa da

evapotranspiração de referência. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 114- 122, 2013.

DROOGERS, P.; ALLEN, R.G. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. **Irrigation and Drainage System**, v.16, p.33-45, 2002.

EMBRAPA. **Manejo da Irrigação do Feijoeiro com o Uso do Irrigâmetro**, Circular Técnica, Dezembro, Santo Antônio de Goiás-GO, 2009.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

EMBRAPA. **Validação de 3 equipamentos de TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) para a medida da umidade de solos**, Documentos, São Carlos-SP, 2004.

EVETT, S. R. Soil water measurement by time domain reflectometry. **Encyclopedia of Water Science**, Marcel Dekker, Inc. New York, p.894-898, 2003.

EVETT, S. R.; SCHWARTZ, R. C.; CASANOVA, J. J. Soil water sensing for water balance, ET and WUE. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 1-9, 2012.

FALAMARZI, Y.; PALIZDANA, N.; HUANGB, Y. F.; LEE, T. S. Estimating evapotranspiration from temperature and wind speed data using artificial and wavelet neural networks (WNNs). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.140, n.10, p.26-36, 2014.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER. L. H (Eds). **Café conilon**. 2. ed. atualizada e revisada. Vitória, ES: Incaper, 2017. 784 p.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. **Café Conilon**. 3ed. atual e expandida. Vitória, ES: INCAPER, 2019, 974p.

FONSECA, S. O., ARAÚJO, G. L., FARIA, B. H. G., LIPARIZI JUNIOR, A., COSTA, J., REIS, E. F. Avaliação do método do forno elétrico para a determinação de umidade do solo em relação ao método padrão da estufa. **Anais.XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica**. 2009.

GAVILAN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R.G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman–Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, n. 89 n. 3, p. 275–286, 2007.

GHAHREMAN, N.; SAMETI, M. Comparison of M5 model tree and artificial neural network for estimating potential evapotranspiration in semi-arid climates. **Desert**, Tehran, v.19, n.1, p.75-81, 2014.

GONÇALVES, M. S.; RIBEIRO, W. R.; PINHEIRO, A.A; MARTINS, C. A; CÓSER, A.; REIS, E. F; GARCIA, G. O. Productive Aspects of Tropical Grasses under Different Soil Water Stresses. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.23, n.4, p.1-12, 2018.

GOOGLE EARTH-MAPAS. Disponível em: <http://mapas.google.com>. Acesso em: 20/06/2020.

GUTIÉRREZ, M.V.; MEINZER, F.C. Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.119, n.3, p.652-7, 1994.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimation of potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Division. ASCE**, v. 108, n. 3, p. 225-230, 1982.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Journal of Applied Engineering in Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **INCAPER inaugura novas estações meteorológicas no estado**. 2017. Disponível em: <[https://incaper.es.gov.br/Not%C3%ADcia/incaper-inaugura-novas-estacoes meteorologicas-no-estado](https://incaper.es.gov.br/Not%C3%ADcia/incaper-inaugura-novas-estacoes-meteorologicas-no-estado)>. Acesso em: 02 jul. 2020.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Acompanhamento semanal de preços recebidos pelos produtores em 2015**. Vitória, ES: Incaper, 2016. Disponível em: <<https://www3.incaper.es.gov.br/mercadoagropecuário/sispreco.php>. > Acesso em: jul. 2020.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Meteorológicos – Estações Automáticas**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTYxNw==>. Acesso em: 10 de junho de 2020.

JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, T. G. F. SOUZA, L. S. B.; ALVES, H. K. M. N.; ARAÚJO, J. F. N.; SILVA, G. I. N.; SILVA, J. O. N. Dinâmica da água no solo com

cultivo de palma forrageira sob quatro sistemas de plantio. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.2, p.357-365, 2019.

KUMAR, M.; BANDYOPADHYAY, A.; RAGHUWANSHI, N.S.; SINGH, R. Comparative study of conventional and artificial neural network-based ETo estimation models. **Irrigation Science**, v.26, p.531-545, 2008.

Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA. Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias – GCEA Vitória, ES: IBGE-GCEA-LSPA, dez. 2015. Relatório de pesquisa.

LI, Y.; HORTONB, R.; RENC, T.; CHEN, C. Prediction of annual reference evapotranspiration using climatic data. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, n.2, p.300-308, 2010.

LIRA, R. M. SANTOS, A. N.; SILVA, J. S.; BERNABÉ, M. J. C.; SOARES, H. R. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. **GEAMA**, v. 3, n. 1, p. 62-83, 2015.

LONG, H.; SHUAI, X.; LEI, Q.; ZHANG, R. Spatiotemporal distribution of calibration coefficients of Hargreaves equation for estimating potential evapotranspiration in Mainland China. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.139, n.4, p.293-299, 2013.

LOPES, L. C. L.; VIEIRA, H. D.; VIEIRA, G. H. S.; SOUZA, E. F. Projeto de Aplicativo móvel capaz de fornecer informações para o manejo de irrigação do café conilon. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 4, p. 874-889, 2019.

MANCOSU, N.; SNYDER, R. L.; SPANO, D. Procedures to develop a standardized reference evapotranspiration zone map. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.140, n.9, p.1-11, 2014.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 355 p. 2009.

MAROUELLI, W. A. Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças. Brasília: **Embrapa Hortaliças**, 2008. 15p.

MAROUELLI, W. A.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO, E. F.; NOGUEIRA, L. C.; SOUSA, V. F. Manejo da água de irrigação. In: **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF; Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 156-232.

- MARTINEZ, C. J.; THEPADIA, M. Estimating reference evapotranspiration with minimum data in Florida. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.136, n.7, p.494-501, 2010.
- MARTINS, C. C.; SOARES, A. A.; BUSATO, C.; REIS, E. F. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**, Oxford, v. 23, n. 2, p. 61- 69, 2007.
- MEDEIROS, J. D. F.; CASTRO, N.; GOLDENFUM, J. A.; CLARKE, R. T. Calibração de sondas do TDR em um latossolo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 19-25, 2007.
- MINUZZI, R. B.; RIBEIRO, A. J.; SILVA, D. O. da; KUNESKI, A. C. Estimativa da evapotranspiração de referência diária por Penman-Monteith FAO com dados de temperatura do ar para Santa Catarina. **Irriga**, Botucatu, v.19, n.3, p.548-558, 2014.
- MONTEITH, J. L. **Principles of environmental physics**. Edward Arnold, London, 1973. 241p.
- NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.853- 860, 2011.
- NETO, D. H. O.; CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CEDDIA, M. B. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da beterraba orgânica sob cobertura morta de leguminosa e gramínea. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 330-334, 2011.
- OLIVEIRA, A. S.; COELHO, E. F.; FACCIOLI, G. G. **Manejo básico da irrigação na produção de fruteiras**. Brasília, DF: LK, 2006. 136 p.
- OLIVEIRA, P. M. Estimativa de da evapotranspiração e do coeficiente de cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Dissertação de mestrado. UFLA - Lavras, Minas Gerais, 2003.
- ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENCA, R. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling, New York, **Irrigation Science**, v. 28 n. 1, p. 1–3, 2009.
- Pereira, L, S.; Allen, R. G. Novas aproximações aos coeficientes de cultura is. **Engenharia Agrícola**, v.16, p.118-143, 1997.
- PEREIRA, L. R. Produção do cafeeiro conilon vitória sob condições de sequeiro e irrigado em quatro safras. 2019. 68 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Centro

de Ciências Agrárias e Engenharias-CCAIE. Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES.

PINHEIRO, A. A. Manejo da irrigação utilizando umidade do solo e dados climáticos em lavoura de cafeeiro conilon. 2019. 73 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias e Engenharias-CCAIE. Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. (Eds). **Manual de recomendações de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo- 5ª Aproximação**. Vitória, ES. SEEA/INCAPER/CEDAGRO,305p. 2007.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2016. Disponível em: <https://www.r-project.org>. Acesso em 20/05/2020.

RAZIEI, T; PEREIRA, L.S. Estimation of ETo with Hargreaves-Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. **Agricultural Water Management**, v.121, p.1-18, 2013.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2012. 478 p.

RIBEIRO, W. R. Manejo da umidade do solo por Reflectometria no Domínio do Tempo na cultura do cafeeiro conilon clonal. 2019. 56 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Centro de Ciências Agrárias e Engenharias-CCAIE. Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES.

ROSA, M. C. A. A. Avaliação do coeficiente cultural pelo método do balanço hídrico. 2018. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônoma) – Instituto Superior de Agronomia. Universidade de Lisboa, Lisboa.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**, ed. Arbore, Campinas, 1996, 146 p.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, Noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 3, p. 142-149, 2010.

- SANTOS, R. M.; OLIVEIRA, A. S. de; VELLAME, L. M.; BRANDÃO, F. J. C. Montagem e acurácia de um sistema experimental de pesagem para calibração de sensores de umidade de solo. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 30, n. 6, p. 1162-1169, 2006.
- SATO, F. A.; SILVA, A. M.; COELHO, G.; SILVA, A. C.; CARVALHO, L. G. Coeficiente de cultura (Kc) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no período de outono-inverno na região de Lavras-MG. **Engenharia Agrícola**. vol. 27, n. 2, Jaboticabal, 2007.
- SEDYAMA, C. G.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. Relações clima-água-plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. *Simpósio... Poços de Caldas: UFLA/SBEA*, p.46-85, 1998.
- SENTELHAS, P.C., GILLESPIE, T.J., SANTOS, E.A. Evaluation of FAO Penman–Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canadá. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 5, p. 635-644, 2010.
- SILVA, M. G. Estimativa da evapotranspiração de referência padrão (Penman-Monteith FAO 56): Uma abordagem com dados meteorológicos limitados. **Nativa**, Sinop, v.4, n.4, p.253-260, 2016.
- SILVA, R. A. B.; LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A. C.D.; GONDIM, P. S.S; SOUZA, E.S.; BARROS JÚNIOR, G. Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 38, n. 1, p:147- 157, 2014.
- SILVA, S. F; BARBIERO, L. Z.; GRASSE, E. I.; MENDES, T. P.; AMARAL, J. F. T.; REIS, E. F. Índices fisiológicos do cafeeiro conilon em função de diferentes tensões de água no solo e dias após a indução de regimes hídricos. In: X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Vitória – ES, 2019.
- Soares, W. R., Sedyama, G. C., Ribeiro, A., Costa, J. M. N. Dependência do coeficiente de cultura no estágio inicial de desenvolvimento (Kcini) à lâmina de irrigação e textura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.23-27, 2001.
- SOUZA, C.; ANDRADE, A. P.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F. da. Balanço hídrico da cultura da mamona sob condições de sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 3–10, 2013

- TABARI, H.; GRISMER, M. E.; TRAJKOVIC, S. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. **Irrigation Science**, New York, v.31, n.2, p.107-117, 2013.
- TOLEDO, L. G.; OVALLE, I. I. **Estatística básica**. 2 ed. São Paulo: Ed. Atlas S. A., 2008.
- TOMMASELLI, J. T. G.; BACCHI, O. O. S. Calibração de um equipamento de TDR para medida da umidade de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 9, p. 1145-1154, 2001.
- TRAJKOVIC, S.; STOJNIC, V.; GOCIC, M. Minimum weather data requirements for estimating reference evapotranspiration. **Architecture and Civil Engineering**, v.9, n.2, p.335-345, 2011.
- VEGA, E. C.; JARA, J. C. Estimación de la evapotranspiración de referencia para das zonas (Costa Y Región Andina) del Ecuador. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, 2009.
- WIDMOSER, P. A discussion on and alternative to Penman–Monteith equation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, n. 96, p. 711–721, 2009.
- WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.
- XING, Z.; CHOW, L.; MENG, F.R.; REES, H.W.; STEVENS, L.; MONTEITH, J., Validating evapotranspiration equations using Bowen Ratio in New Brunswick. Maritime Canada. **Sensors**, Lausanne, n. 8. p. 412–428, 2008.