



**ELLEN CRISTINA FERREIRA SANTANA MARTINS**

**DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE TANQUE CLASSE  
“A” E ANÁLISE DE MÉTODOS DIFERENTES AO PENMAN-  
MONTEITH-FAO PARA A ESTIMATIVA DA  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO DE  
RIVAS – NICARÁGUA**

**LAVRAS-MG**

**2023**

**ELLEN CRISTINA FERREIRA SANTANA MARTINS**

**DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE TANQUE CLASSE “A” E ANÁLISE DE  
MÉTODOS DIFERENTES AO PENMAN-MONTEITH-FAO PARA A ESTIMATIVA  
DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO DE RIVAS –  
NICARÁGUA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho  
Orientador

Prof. Dr. Felipe Schwerz  
Coorientador

Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Martins, Ellen Santana.

Determinação do Coeficiente de Tanque Classe "A" e análise de métodos diferentes ao Penman Monteith-FAO para estimativa da evapotranspiração de referência na região de Rivas - Nicarágua / Ellen Santana Martins. - 2023.

47 p.

Orientador(a): Luiz Gonsaga de Carvalho.

Coorientador(a): Felipe Schwerz, Adriano Valentim Diotto.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. agrometeorologia. 2. agricultura. 3. manejo. I. de Carvalho, Luiz Gonsaga. II. Schwerz, Felipe. III. Diotto, Adriano Valentim. IV. Título.

**ELLEN CRISTINA FERREIRA SANTANA MARTINS**

**DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE TANQUE CLASSE “A” E ANÁLISE DE MÉTODOS DIFERENTES AO PENMAN-MONTEITH-FAO PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO DE RIVAS – NICARÁGUA**

**DETERMINATION OF CLASS “A” PAN COEFFICIENT AND ANALYSIS OF DIFFERENT METHODS TO PENMAN-MONTEITH FOR ESTIMATING THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN THE REGION OF RIVAS - NICARÁGUA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 29 de maio de 2023.

Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho - UFLA

Prof. Dr. Marco Aurelio de Mello Carvalho - UFPR

Prof. Dr. Ronaldo Fia - UFLA

---

Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho  
Orientador

---

Prof. Dr. Felipe Schwerz  
Coorientador

---

Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2023**

## RESUMO

O estudo aborda os desafios inerentes à estimativa da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) para aprimorar as práticas de manejo da irrigação, com um foco específico na região de Rivas, Nicarágua. A ET<sub>c</sub> desempenha um papel crucial ao determinar a quantidade adequada de água a ser aplicada nas culturas, e frequentemente é derivada da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>), que é ajustada pelo coeficiente de cultura. O objetivo central da pesquisa foi avaliar a eficácia do método do Tanque Classe A, proposto por Doorenbos & Pruitt, além dos métodos de Thornthwaite, Camargo e Hargreaves e Samani, na estimativa da ET<sub>0</sub> nessa região. Foram analisados dados diários coletados entre 1995 e 2021 de uma estação meteorológica na usina da Companhia Açucareira do Sul. O método de Penman-Monteith-FAO56 foi adotado como referência para comparação. Os resultados revelaram que nenhum dos métodos investigados demonstrou um desempenho satisfatório na estimativa precisa da ET<sub>0</sub> em Rivas. O desempenho variou predominantemente entre os níveis "péssimo" e "insatisfatório", conforme avaliado por múltiplos critérios, incluindo coeficiente de determinação, parâmetros das regressões lineares, erro-padrão da estimativa, índice de concordância de Willmott, coeficiente de correlação de Pearson e coeficiente de confiança. Portanto, a pesquisa conclui que os métodos explorados não são adequadamente aplicáveis para estimar a ET<sub>0</sub> de maneira acurada nessa região específica. Sugere-se, diante desses resultados, a necessidade de investigar outras abordagens de estimativa que se adaptem mais eficazmente às características climáticas locais, em benefício da produtividade agrícola e otimização dos recursos hídricos da região.

**Palavras-chaves:** Agricultura, Manejo, Agrometeorologia

## ABSTRACT

This study addresses the challenges inherent in estimating crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) to improve irrigation management practices in the Rivas region, Nicaragua. The ET<sub>c</sub> is crucial in determining the proper amount of water to apply to crops, and is often calculated from the reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>), which is adjusted by the crop coefficient to result the ET<sub>c</sub>. The main objective of this research was to evaluate the effectiveness of the Class A pan method, proposed by Doorenbos & Pruitt, in addition to the methods of Thornthwaite, Camargo and Hargreaves and Samani, in estimating the ET<sub>0</sub> in the region of Rivas. Daily weather data collected between 1995 and 2021 from a meteorological station at the Companhia Açucareira do Sul were the database analyzed. The Penman Monteith-FAO56 method was adopted as a reference for comparison. The results revealed that none of the investigated methods had a satisfactory performance in the precise estimation of the ET<sub>0</sub> in Rivas. Their performance varied predominantly between terrible and unsatisfactory levels, as assessed by multiple criteria, including determination coefficient, linear regression parameters, estimation standard error, Willmott concordance index, Pearson correlation coefficient, and reliability coefficient. Therefore, the research concludes that the evaluated methods are not adequate to accurately estimate ET<sub>0</sub> in this specific region. Given these results, it is suggested the need to investigate other estimation approaches that adapt more effectively to local climatic characteristics, to improve the agricultural productivity and optimize the use of water resources in the region.

Keywords: Agriculture, Management, Agrometeorology

## **AGRADECIMENTOS**

À FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado Minas Gerais) pelo apoio financeiro que tornou possível a realização deste trabalho de pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PPGRH) pela valiosa orientação e apoio ao longo da minha jornada acadêmica.

Ao meu dedicado orientador, cuja orientação sábia e apoio incansável foram fundamentais para o sucesso deste projeto, sou eternamente grata.

E a minha família, especialmente o meu filho, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo amor, incentivo e compreensão, não tenho palavras para expressar minha gratidão. Este trabalho não teria sido possível sem o suporte e a inspiração de todos vocês. Muito obrigada.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Demanda de alimentos e limitações para a produtividade agrícola .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Manejo de Irrigação .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Métodos diferentes para estimativa da evapotranspiração de referência .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4</b>	<b>A importância da caracterização climática no manejo de irrigação .....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização geográfica e agroeconômica da região .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Base de dados .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>Caracterização climática .....</b>	<b>15</b>
<b>3.4</b>	<b>Métodos para estimar a Evapotranspiração de Referência .....</b>	<b>15</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Método de Penman-Monteith-FAO .....</b>	<b>15</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Método do Tanque “Classe A” .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Método de Thornthwaite (1948) .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Método de Hargreaves e Samani (1985) .....</b>	<b>23</b>
<b>3.4.5</b>	<b>Método de Camargo (1971) .....</b>	<b>24</b>
<b>3.5</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização e classificação climática .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>Desempenho dos métodos de estimativas da evapotranspiração de referência entre julho de 1995 a junho de 2018 .....</b>	<b>29</b>
<b>4.3</b>	<b>Desempenho dos métodos de estimativas da evapotranspiração de referência entre janeiro de 2010 a junho de 2018 .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4</b>	<b>Desempenho da estimativa da evapotranspiração de referência pelo método do Tanque Classe “A” com Coeficiente de Tanque adaptado .....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Localizada na América Central, a Nicarágua ou República da Nicarágua é um país que possui suas atividades produtivas voltadas para o setor primário da economia, sendo a agricultura umas de suas principais fontes de receita. Nos últimos 15 anos, segundo o Banco Central de Nicarágua, o setor agrícola no país cresceu cerca de 53%, com destaque para os cultivos de café, cana-de-açúcar e amendoim, possuindo, inclusive, projeções otimistas para os próximos anos (USDA, 2020).

A agricultura de cana-de-açúcar desempenha um papel significativo nessa região. Com um clima tropical úmido e solos propícios, a região oferece condições favoráveis para o cultivo desse importante produto agrícola. A cana-de-açúcar é amplamente cultivada em extensas áreas e desempenha um papel econômico vital, contribuindo para a geração de empregos e a renda local.

Diante dessas informações e as projeções de crescimento da demanda por alimentos nas próximas décadas, o manejo de irrigação, como um dos fatores da produção agrícola que contribui para o aumento de produtividade, surge com a necessidade de determinar a quantidade de água adequada a ser aplicada nas culturas agrícolas e garantir, por consequência, um melhor gerenciamento dos custos de produção e consequente aumento de produtividades nas propriedades de modo geral.

Na agricultura irrigada, o conhecimento da evapotranspiração é indispensável para estimativa das necessidades hídricas das culturas agrícolas, bem como o manejo racional dos recursos hídricos. Segundo Saad *et al.* (2002), a irrigação bem planejada, sendo aplicada na quantidade correta, contribui para diminuição dos custos da produção, principalmente com o bombeamento e a economia da aplicação de água. Se, por um lado, o déficit hídrico leva a baixas produtividades, pois compromete o desenvolvimento e crescimento das plantas (BERGAMASCHI *et al.*, 2006), por outro, o excesso de água pode causar perdas de nutrientes na planta, degradação do solo (ALBUQUERQUE, 2010) e levar a ocorrência de doenças que diminuem a qualidade da cultura (MOURA *et al.*, 2013), até mesmo causando prejuízos metabólicos e fisiológicos (BARUCH, 1994).

Assim, em culturas irrigadas, pressupõe-se que todos os fatores de produção, tais como, o controle fitossanitário e nutricional, que o manejo da irrigação seja em condições ideais para o pleno crescimento e desenvolvimento das plantas. Dessa forma, a evapotranspiração em todas as fases fenológicas da planta ocorre em sua taxa máxima, portanto, variando somente com a idade da planta e condições meteorológicas, tendo-se sob tais condições a evapotranspiração potencial da cultura, simplesmente definida como evapotranspiração da cultura (ETc)

(BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). A  $ET_c$  é comumente calculada em duas etapas. Primeiro determinando a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e ajustando-a pelo coeficiente de cultura ( $K_c$ ). Da mesma forma que acontece com a  $ET_c$ , pressupõe-se que a  $ET_0$  esteja, em termos conceituais, sujeita às mesmas condições de manejo, com a exceção destacada da fixação da cultura (CARVALHO; DANTAS; NETO, 2010). A escolha frequente da grama batatais (*Paspalum Notatum*), que atinge seu desenvolvimento pleno na fase adulta do cultivo, ilustra esse ponto. Nesse contexto, a  $ET_0$  é considerada uma medida estritamente influenciada pelas condições meteorológicas. Para a determinação da  $ET_0$ , os dados meteorológicos são imprescindíveis, no entanto, em países em desenvolvimento, nem sempre estes encontram-se disponíveis devido às limitações técnicas e econômicas para a instalação de estações meteorológicas; por outro lado, muitas das vezes as séries de dados são incompletas e possuem dados inconsistentes (SOUZA *et al.*, 2014; ALENCAR; SEDIYAMA; MANTOVANI, 2015). Dentre os modelos de estimativa da  $ET_0$ , o método de Tanque Classe “A”, proposto por Doorenbos e Pruitt (1977), e os métodos de Thornthwaite (1948), Camargo (1971) e Hargreaves e Samani (1985) possibilitam a estimativa da demanda hídrica de uma região mesmo a partir de uma base mais limitada de dados meteorológicos.

O desempenho das diversas metodologias para cálculo da  $ET_0$  é bastante influenciado pelo clima da localidade. Dessa forma, a caracterização do clima da região em estudo foi realizada conforme as classificações climáticas de Köppen e Geiger (1928) e Thornthwaite (1948), complementado para isso com a elaboração do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather (1955), o qual possibilitou a identificação dos excessos e deficiências de água no solo em diferentes épocas do ano.

Nesse contexto, com este trabalho realizou-se a caracterização do clima da região, fundamentando-se em médias climatológicas de um período de 23 anos, determinou-se os valores de coeficiente de tanque ( $K_p$ ) específicos para a estimativa da evapotranspiração de referência pelo método do Tanque Classe A e analisou-se o desempenho de quatro metodologias para estimativa da  $ET_0$ , tendo como referência o método Penman-Monteith-FAO, para a região de Rivas, Nicarágua.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Demanda de alimentos e limitações para a produtividade agrícola**

A preocupação com o meio ambiente em consonância com a demanda crescente de alimentos no mundo cria cada vez mais a necessidade de pesquisas fomentadoras que avaliem alternativas para se obter uma melhor produtividade na agricultura.

De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015), uma em cada nove pessoas no mundo não tem comida suficiente para levar uma vida saudável e ativa. Nos próximos 50 anos, esse problema se tornará ainda mais alarmante ao observamos as projeções populacionais que indicam um crescimento acelerado e contínuo nas próximas décadas. Estima-se que em 2050 a população mundial será de cerca de 9,5 bilhões de pessoa, sendo necessário um aumento de 70% da produção atual para suprir a demanda de alimentos no mundo.

Na América Central, o nível de insegurança alimentar está cada vez mais crítico devido, principalmente, às crises econômicas motivadas pela pandemia do coronavírus somadas às catástrofes climáticas, bastante comuns nessa região. De acordo com o Programa Alimentar Mundial (PAM) das Nações Unidas, países como El Salvador, Honduras, Guatemala e Nicarágua, quase quadruplicaram o número de pessoas que vivem em situação de precariedade alimentar, passando de 2,2 milhões de pessoas em 2018 para 8 milhões em 2021 (PAM, 2021).

A restrição no uso de terras fomenta ainda mais o debate sobre a incapacidade de a agricultura conseguir atender às necessidades humanas por alimentos nos próximos anos. Segundo a FAO (2013) cerca de 90% das terras para a expansão agrícola estão na América Latina e África-Subsaariana. Na América Central, no entanto, de acordo com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (2014), o lento crescimento da expansão agrícola é consequência da limitada disponibilidade de terras nessa região. Estima-se que entre os anos de 1961 e 2007, a taxa de crescimento da produtividade desses países foi de apenas 1,1% (IADB, 2014).

Diante das restrições sobre a expansão do uso de terra para uso agropecuário na América Central, o aumento da produtividade se apresenta como um caminho necessário para a ampliação da oferta de alimentos. Segundo FAO (2013), foi exatamente o crescimento da produtividade que permitiu elevar a oferta acima da demanda mundial de alimentos no período pós-revolução tecnológica no campo.

Outro fator preocupante são os riscos ambientais comuns na América Central. Cerca de 22% dos danos causados por desastres provenientes de secas, cheias e tsunamis, recaem sobre o setor agrícola (FAO, 2013), prejudicando principalmente comunidades rurais e semirurais pobres que sofrem estes impactos e perdas.

Em países onde há maior riscos de ocorrer desastres naturais, é importante que haja uma preocupação mais assídua em relação aos impactos ligados à manutenção de um modelo agrícola predatório que podem ser multiplicados pelas mudanças climáticas da região. Essa condição de vulnerabilidade aos riscos climáticos é intensificada pelas mudanças ambientais

resultantes, por exemplo, da degradação do solo, tornando determinadas áreas mais vulneráveis frente à ocorrência de ameaças e seus eventos subsequentes (MEIRA; MARTINS; MANGANOTTI, 2012).

A agricultura com o manejo inadequado de uso do solo pode provocar a destruição da estrutura física do mesmo, aumentando sua compactação e conseqüentemente a intensificação dos processos erosivos. A irrigação quando feita de maneira mal planejada pode ocasionar a perda de nutrientes do solo, não disponibilizando para a planta, por lixiviação, aumentando a degradação do solo (ALBUQUERQUE, 2010), a incidência de doenças vegetais (MOURA *et al.*, 2013) e o desperdício de água.

Grande parte dos sistemas de bacias hidrográficas encontram-se instáveis diante da exploração econômica e predatória dos recursos da natureza (SANTOS, 2007). Esta instabilidade resulta no aumento da vulnerabilidade do meio em que habitamos, onde as ameaças e os riscos dos desastres ambientais relacionados à água tendem a se intensificar e se tornar cada vez mais frequente.

Observamos a necessidade de se implementar a promoção de técnicas sustentáveis de manejo do uso solo e da água principalmente em países os quais possuem uma maior vulnerabilidade para questões relacionadas aos desastres naturais. O manejo da irrigação eficiente poderá trazer diversos benefícios nesse sentido, proporcionando o crescimento da produtividade do cultivo sem a necessidade de aumentar a área do plantio, diminuindo o desperdício de água na região e reduzindo a vulnerabilidade às mudanças climáticas, garantindo, dessa forma, melhores condições de vida para a população.

O manejo de irrigação tem se configurado como uma excelente estratégia para se produzir mais em cada hectare sem comprometer a sustentabilidade do meio ambiente. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2020), 40% da água captada para manejo é mal utilizada devido aos sistemas inadequados de irrigação e/ou vazamentos nas tubulações. Além disso, a distribuição das reservas hídricas de muitos países não acompanha a concentração populacional nem a demanda hídrica de suas diferentes regiões, sendo necessário o uso consciente desse recurso com destaque para a agricultura que tem elevada retirada de água na natureza.

Sob boas condições de irrigação, a espécie cultivada aumenta gradativamente sua produtividade conforme aumentamos as lâminas de água até determinado patamar, aumentando a produção de folhas, a área foliar e o crescimento da altura (MEIRA; MARTINS; MANGANOTTI, 2012). Entretanto, para garantirmos o equilíbrio entre o desenvolvimento vegetativo e a maior rentabilidade sobre a produção, é necessário termos conhecimento do

momento correto da irrigação (ABBASZADEH; ALIABADI; MORTEZA, 2009). Dessa forma, o monitoramento preciso da evapotranspiração contribui para aperfeiçoar as técnicas de irrigação para um manejo sustentável, criando sistemas mais eficiente e adaptados às condições locais a fim de evitar desperdício de água e energia.

## 2.2 Manejo de Irrigação

A irrigação é um importante fator na produção agrícola vegetal que, quando utilizada, necessita de cuidados criteriosos para bem conduzi-la. Dentre as alternativas do manejo da irrigação, tem-se aquela que passa pela determinação da evapotranspiração da cultura e respectivo suprimento à cultura pelo sistema da irrigação.

A evapotranspiração é um processo de transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera que acontece simultaneamente e engloba a evaporação direta de água do solo e a transpiração que ocorre do tecido foliar da planta para a atmosfera (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

A taxa de evapotranspiração tem um papel fundamental na gestão dos recursos hídricos de atividades relacionadas à agricultura (ASSAD; PINTO, 2008). Através dela, conseguimos determinar as necessidades de água da cultura e a disponibilidade hídrica decorrente das precipitações de uma determinada região, permitindo, dessa forma, um melhor planejamento agrícola no manejo de irrigação (PEREIRA; NOVA; SEDIYAMA, 1997).

A determinação da evapotranspiração pode ser feita através de métodos diretos e indiretos (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). As metodologias diretas fazem uso de instrumentos como evapotranspirômetros (lisímetros) e ou balanço hídrico no solo. Por sua vez, as metodologias indiretas utilizam de equações empíricas que correlacionam a evapotranspiração com os elementos meteorológicos de uma região.

A quantidade de água consumida por uma cultura sem nenhum fator limitante para o seu desenvolvimento é chamada de evapotranspiração “potencial” da cultura ou simplesmente, e mais frequentemente utilizada, como sendo evapotranspiração da cultura (ETc) (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2009). De forma geral, esse processo pode ser entendido como a quantidade de água que pode ser consumida, sem nenhuma restrição hídrica, nutricional e fitossanitária em todos os períodos fenológicos de uma cultura. Dessa forma, subentende-se que essa cultura está sendo bem conduzida agronomicamente.

Para tanto a ETc é determinada com base na chamada evapotranspiração de referência, sendo esta ajustada pelo coeficiente de cultura. A evapotranspiração de referência é a lâmina de água que seria utilizada por uma superfície coberta em crescimento ativo sem restrição de água (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2009). Já o coeficiente de cultura (Kc) é determinado através de

estudos experimentais que relacionam a  $ET_c$  com a  $ET_0$  nas diferentes fases fenológicas das culturas. Estes, após tabelados, tornam-se imprescindíveis no ajuste da  $ET_0$  para a determinação da  $ET_c$  e respectivo manejo de irrigação.

Dentre os métodos de estimativa da  $ET_0$ , tem-se o método de Penman-Monteith-FAO, padronizado internacionalmente em 1990 pela Food and Agriculture Organization (FAO), sendo considerado o de melhor consistência nas diferentes partes do mundo (ALLEN *et al.* 1998). No entanto, este método, exige vários parâmetros de entrada relacionados aos elementos climáticos da região, como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação líquida (MENDONÇA *et al.*, 2006). Soma-se a isso o fato de algumas regiões possuírem um número limitado de estações meteorológicas para monitoramento dessas variáveis do tempo.

Dessa forma, novas abordagens mais simples, baseadas em poucos parâmetros de entradas, tornaram-se promissoras para cálculo da evapotranspiração de referência de uma região, como as metodologias propostas por Doorenbos e Pruitt (1977) com o uso do Tanque Classe A, Thornthwaite (1948), Hargreaves e Samani (1985) e Camargo (1971).

### **2.3 Métodos diferentes para estimativa da evapotranspiração de referência**

Sabe-se que o desempenho dos métodos diferentes para estimativa da  $ET_0$  irá variar em função das condições climáticas dos locais, sendo importante avaliarmos o grau de exatidão desses modelos, antes de utilizá-los para nova condição. Na literatura, podemos encontrar diversos trabalhos que fazem comparação entre várias metodologias para estimativa da  $ET_0$  em situações climáticas diferentes.

O método de Hargreaves e Samani (1985) tem a tendência de receber um desempenho satisfatório em períodos úmidos de regiões com clima semiárido quando comparado ao Penman-Monteith-FAO (CAVALVANTE JÚNIOR *et al.*, 2011). O método de Tanque Classe “A”, entretanto, tende a subestimar os valores de  $ET_0$  nessas regiões de forma acentuada quando utilizado no período seco.

Já em climas tropicais, segundo Cunha, Magalhães e Castro (2013), a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Hargreaves e Samani (1985) tende a ter um desempenho baixo quanto a sua eficiência, superestimando os valores observados. Resultados semelhantes também foram encontrados pelos autores Oliveira *et al.* (2007) para Viçosa-MG, Tagliaferre *et al.* (2010) em Eunápolis-BA e Alencar *et al.* (2011) em Uberaba-MG. Em regiões com as mesmas condições climáticas, o método de Thornthwaite (1948) tende a apresentar um bom desempenho, conforme apresenta os Silva *et al.* (2005), Back (2008) e Syperreck *et al.* (2008).

## 2.4 A importância da caracterização climática no manejo de irrigação

O planejamento eficiente do manejo de irrigação possui um papel importante para redução de incertezas relacionadas aos prejuízos causados pela falta ou insuficiência de chuvas. No entanto, para que cumpra este papel, é necessário conhecer também as características do clima da região.

A umidade do solo, a temperatura do ar e a velocidade do vento, por exemplo, são variáveis meteorológicas bastantes influenciadas pelo clima da região. Essa influência causa impacto direto sobre a evapotranspiração real da planta e, conseqüentemente, sobre a demanda de água necessária para irrigação. Um dos maiores desafios do planejamento das atividades agrícolas é a variabilidade climática e seus efeitos sobre o balanço hídrico do sistema solo-planta.

Uma alternativa para lidar com essa variabilidade climática é fazer o cálculo do balanço hídrico climatológico (BHC) da região, o qual buscará identificar o comportamento médio da demanda de água do local atrelada a certos níveis de probabilidade e incerteza em uma série histórica de 30 anos.

Segundo Jesus *et al.* (2017), o BHC desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) é uma metodologia bastante difundida para o monitoramento do armazenamento de água no solo, possibilitando, inclusive, a identificação das épocas de deficiência e excedente hídrico, a contabilização da entrada e saída da região e a realização da classificação climática.

A partir da classificação climática é possível identificar se a região de estudo possui zonas com características climáticas homogêneas visando fornecer informações valiosas sobre as condições climáticas, suas potencialidades agrícolas e o meio ambiente da região (ANDRADE *et al.*, 2015).

Além disso, a realização do BHC irá permitir realizar o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) da região, proporcionando a indicação de períodos ideais para plantio e semeadura da cana de açúcar de forma a evitar que as adversidades climáticas coincidam com as fases mais sensíveis da cultura, minimizando as perdas agrícolas (WALDHEIM *et al.*, 2006).

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Caracterização geográfica e agroeconômica da região

Situada na América Central, Rivas é um departamento pertencente à República da Nicarágua, localizada entre as coordenadas geográficas 11° 02' 50,7'' e 11° 40' 12'' de latitude norte e 85° 10' 31,64'' e 86° 10' 15,93'' de longitude oeste, a uma altitude variando entre -78 m a 419 m, com área territorial de 280,5 km<sup>2</sup> (BRITANNICA, 2008).

Em relação aos aspectos ambientais, a região pertence ao bioma Floresta Tropical Seca que é caracterizado por vegetação tropical e clima sazonal com verões chuvosos seguido por um longo período seco (HOLDRIGE, 1978). A atividade econômica predominante é a produção de cereais, frutas tropicais e pecuária.

A Figura 1 apresenta a localização do departamento de Rivas dentro da República da Nicarágua e da Companhia Açucareira do Sul (CASUR), local onde foram retirados os dados originários de uma estação meteorológica pertencente a esse empreendimento.

Figura 1 – Localização de Rivas e da Companhia Açucareira do Sul (CASUR) na República da Nicarágua.



Fonte: Dos autores (2023).

### 3.2 Base de dados

Para as análises, foi utilizada uma série histórica com 23 anos (julho de 1995 à junho de 2018) de dados diários de temperatura mínima, média e máxima (°C), umidade relativa mínima, média e máxima (%), horas de brilho solar (h), evaporação do tanque “Classe A” (mm), precipitação pluvial (mm). Os dados são originários de uma estação meteorológica pertencente ao Instituto Nicaraguense de Estudos Territoriais (INETER), localizado em área pertencente da Companhia Açucareira do Sul (CASUR) no município de Potosi, Departamento de Rivas, cuja localização é representada pelas coordenadas geográficas 11° 30' 17'' N e 85° 50'30.11'' W e altitude de 55 m.

Para garantir que dados de boa qualidade fossem usados, o procedimento de controle de qualidade de Quej *et al.* (2016) foi empregado: (1) se houvesse valores incorretos ou ausentes por mais de cinco dias consecutivos em um mês, os dados do mês inteiro eram excluídos e (2) se menos de cinco valores consecutivos incorretos ou ausentes fossem encontrados em 1 mês, a interpolação era usada para preencher os dados.

### 3.3 Caracterização climática

Após a análise da qualidade da série de dados meteorológicos diários, foi elaborado o balanço hídrico climatológico conforme a proposição de Thornthwaite e Mather (1955) cuja passo a passo metodológico é citado por Vianello e Alves (1991). Os índices de aridez ( $I_a$ ), hídrico ( $I_h$ ) e de umidade ( $I_u$ ) foram determinados segundo as equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$I_a = \frac{DEF}{EXC} * 100 \quad (1)$$

$$I_h = \frac{EXC}{ETP} * 100 \quad (2)$$

$$I_u = I_h - I_a \quad (3)$$

Na sequência, foi realizado a classificação climática com base nas metodologias de Thornthwaite (1948) e Köppen e Geiger (1928), propostas por Vianello e Alves (1991).

Foi realizada também a caracterização de todas as variáveis climáticas disponíveis, identificando suas médias mensais e anuais no período citado. Com isso, foi possível gerar gráficos que deram embasamento para as análises e discussão dos modelos de evapotranspiração em estudo, permitindo observar a relação dos modelos analisados com outros padrões de clima.

### 3.4 Métodos para estimar a Evapotranspiração de Referência

#### 3.4.1 Método de Penman-Monteith-FAO

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) diária, base para avaliação dos demais métodos, foi o método de Penman-Monteith-FAO (Equação 4) por ser este o método

universalmente utilizado por sua excelente concordância com a  $ET_0$  medida em diferentes partes do mundo (ALLEN *et al.*, 1998).

$$ET_0 = \frac{s}{s + \gamma^*} * (R_n - G) * \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma^* * 900}{(s + \gamma^*) * (T + 273)} * U_2 * (e_s - e_a) \quad (4)$$

em que,

$ET_0$  – Evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$s$  – Declividade da curva de pressão de saturação do vapor d'água ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );

$\gamma^*$  – Coeficiente psicrométrico modificado ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );

$R_n$  – Radiação líquida na superfície ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ );

$G$  – Fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ );

$\lambda$  – Calor latente de evaporação ( $\text{MJ kg}^{-1}$ );

$\gamma$  – Coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );

$T$  – Temperatura média do ar ( $^\circ\text{C}$ );

$U_2$  – Velocidade do vento a dois metros de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );

$e_s$  – Pressão de saturação de vapor d'água ( $\text{kPa}$ );

$e_a$  – Pressão atual do vapor d'água ( $\text{kPa}$ ).

Todas as variáveis da Equação 4 foram determinadas por equações específicas conforme descritas por Allen *et al.* (1998):

Declividade da curva de pressão de saturação do vapor d'água ( $s$ ) foi calculada conforme a Equação 5.

$$s = \frac{4098 * e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (5)$$

A pressão de saturação de vapor d'água ( $e_s$ ), foi calculada pela equação de Tetens conforme a Equação 6.

$$e_s = 0,6108 * 10^{\frac{7,5 * T}{237,3 + T}} \quad (6)$$

O coeficiente psicrométrico modificado ( $\gamma^*$ ), foi calculado conforme a Equação 7.

$$\gamma^* = \gamma * (1 + 0,33 * U_2) \quad (7)$$

em que,

$\gamma$  = coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>)

A velocidade do vento a 2 metros de altura ( $U_2$ ), foi calculada conforme a Equação 8.

Colocar aqui a equação geral de conversão do vento de altura qq. Para 2 m .

$$U_2 = 0,75 * U_{10} \quad (8)$$

em que,

$U_{10}$  = velocidade do vento a 10 metros de altura (m/s), normalmente padrão de observação nas estações meteorológicas de redes de estações de serviços meteorológicos.

O calor latente de evaporação ( $\lambda$ ), foi calculado conforme a Equação 9.

$$\lambda = 2,501 - (2,361 - 10^{-3}) * T \quad (9)$$

A pressão atual de vapor ( $e_a$ ), foi calculada conforme a Equação 10.

$$e_a = UR * e_s \quad (10)$$

A radiação líquida na superfície ( $R_n$ ), foi calculada conforme a Equação 11.

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

em que,

$R_{ns}$  – Saldo de radiação de ondas curtas (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

$R_b$  – Saldo de radiação de ondas longas (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

O saldo de radiação de ondas curtas ( $R_{ns}$ ), foi calculado conforme a Equação 12.

$$R_{ns} = (1 - r) * R_s \quad (12)$$

em que,

r - Albedo da cultura hipotética (r = 0,23)

$R_s$  – Radiação solar incidente (MJ m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>)

A radiação solar incidente ( $R_s$ ), por sua vez, foi calculada conforme a Equação 13.

$$R_s = \left(0,25 + 0,50 * \frac{n}{N}\right) * R_a \quad (13)$$

em que,

$N$  – Duração do dia (h);

$n$  – Insolação diária (h);

$R_a$  – Radiação na ausência ou “topo” da atmosfera ( $J m^{-2} d^{-1}$ )

A duração do dia ( $N$ ), foi calculada pela Equação 14.

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

em que:

$\omega_s$  – Ângulo horário do nascer ou pôr do sol (rad);

O ângulo horário do nascer ou pôr do sol ( $\omega_s$ ), foi calculado pela Equação 15.

$$\omega_s = \arccos(-\tan\phi * \tan\delta) \quad (15)$$

em que:

$\phi$  - Latitude do local (rad);

$\delta$  - Declinação solar (rad);

A declinação solar ( $\delta$ ), foi calculada pela Equação 16.

$$\delta = 0,4093 * \text{sen} \left( \frac{2\pi}{365} * J - 1,405 \right) \quad (16)$$

em que:

$J$  – Dia juliano.  $J$  corresponde ao número de dias transcorridos desde o dia 1º de janeiro.;

A radiação na ausência de atmosfera ( $R_a$ ), por sua vez, foi calculada por meio da Equação 17.

$$R_a = 37,586 * dr (\omega_s * \text{sen} \phi * \text{sen} \delta + \cos \phi * \cos \delta * \text{sen} \omega_s) \quad (17)$$

em que,

$dr$  – Distância relativa Terra-Sol

A distância relativa Terra- Sol ( $dr$ ) foi calculada pela Equação 18:

$$dr = 1 + 0,33 * \cos\left(\frac{2\pi}{365} * J\right) \quad (18)$$

O saldo de radiação de ondas longas ( $R_{nl}$ ), foi calculado pela Equação 19.

$$R_{nl} = - \left( 0,9 * \frac{n}{N} + 0,1 \right) * (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) * \sigma * (T_{kx}^4 + T_{kn}^4) * \frac{1}{2} \quad (19)$$

em que,

$\sigma$  - Constante de Stefan-Boltzmann ( $4,903 \times 10^{-9} \text{ MJm}^{-2} \text{ d}^{-1} \text{ K}^{-4}$ );

$T_{kx}$  – Temperatura absoluta máxima do ar (K);

$T_{kn}$  – Temperatura absoluta mínima do ar (K);

O fluxo de calor no solo (G), na escala diária, será considerado zero.

### 3.4.2 Método do Tanque “Classe A”

O Tanque “Classe A” consiste num recipiente circular construído com chapa de ferro galvanizado ou aço inoxidável nº22, com 1,21 m de diâmetro e 0,26 m de profundidade, sendo instalado sobre um estrado de madeira nivelado a 0,15 m da superfície do solo. A evaporação é medida por diferença de nível da água no tanque em altura de lâmina com o uso do “poço tranquilizador” e “parafuso micrométrico”, sendo a unidade usual o “mm”. Normalmente as leituras são realizadas diariamente no período da manhã em horário fixo.

O Método de Tanque Classe “A”, proposto por Doorenbos e Pruitt (1977), é um método relativamente simples, bastante utilizado em projetos de irrigação. O método consiste em correlacionar a evapotranspiração de referência (evapotranspiração de superfície gramada -  $ET_0$ ) com a evaporação da água em contato direto com a atmosfera (superfície livre) contida num tanque, conhecido como Tanque Classe A (ECA). Ambos os processos, ECA e  $ET_0$  são governados pelas mesmas condições meteorológicas locais. Pressupõe-se que a ECA seja superior à  $ET_0$  pelo fato de que na ECA, a água encontra-se em contato direto com a atmosfera, o que não acontece com  $ET_0$ , pois a água inicialmente no solo deverá ser absorvida pelas raízes e deslocando-se por gradientes de potenciais hídricos na planta até as folhas e destas para a atmosfera, tendo, portanto, a água, resistências ao seu fluxo e conseqüentemente tendo uma taxa menor que a ECA. Por esse motivo, a relação entre  $ET_0$  e ECA, comumente menor que a unidade (1) conforme os valores constantes na Tabela 1, representam os valores desta relação, os quais são denominadas coeficiente de tanque ( $K_p$ ).

Na prática, desejando-se efetuar o manejo da irrigação, com base na determinação prévia da  $ET_0$  a partir da ECA, toma-se o valor da leitura de ECA e seleciona-se o valor de  $K_p$ , o qual multiplicado pela ECA, tem-se a  $ET_0$  (Equação 20).

$$ET_0 = ECA * Kp \quad (20)$$

Segundo Doorenbos e Pruitt (1977), os valores de  $Kp$  podem variar de acordo com as condições de instalações do tanque, velocidade do vento e umidade relativa do ar, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficiente para o Tanque Classe A ( $Kp$ ) para diferentes coberturas do solo, níveis médios de umidade relativa, vento em 24 horas e bordadura.

		Tanque instalado em área gramada			Tanque instalado em solo nu			
Umidade Relativa média (%)		<40	40-70	>70	<40	40-70	>70	
Vento (km/d)	Bordadura de grama (m)				Bordadura de solo nu (m)			
Leve (<175)	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado (175 - 425)	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte (425 - 700)	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito Forte (>700)	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

Fonte: Doorenbos e Pruitt (1977).

A adoção dos coeficientes  $K_p$  (indicados na TABELA 1) muitas vezes é alvo de críticas devido à sua falta de congruência com as condições climáticas locais. Isso suscita a possibilidade de estabelecer valores específicos que melhor se ajustem às diversas condições climáticas, sempre que viável, visando aperfeiçoar a adaptação do método à região em questão. Com relação ao uso específico do Tanque Classe A, para além da avaliação de desempenho do método com base nos dados da Tabela 1, esta pesquisa propõe determinar os coeficientes  $K_p$  a partir das informações disponíveis, isto é, os dados meteorológicos diários.

Diante disso, os dados foram separados em dois grupos. O primeiro grupo compõe um período de 15 anos (julho - 1995 a dezembro - 2009). Este será adotado para estimativas diárias da  $ET_0$  pelo método Penman-Monteith-FAO cujos valores foram relacionados com a ECA para obtenção de valores de  $K_p$  (Equação 20).

Para conduzir esta análise, os valores de  $K_p$  extraídos do primeiro grupo foram categorizados em duas configurações distintas. A primeira configuração envolveu a subdivisão dos  $K_p$ 's em doze médias mensais. A segunda configuração, por sua vez, baseou-se nas condições meteorológicas da região, onde os  $K_p$ 's médios foram calculados considerando os parâmetros de instalação do tanque, velocidade do vento (m/s) e umidade relativa (%), correspondendo às médias diárias durante esse período, seguindo a abordagem metodológica delineada por Doorenbos e Pruitt (1977).

Quanto ao segundo conjunto de dados, ele foi empregado para avaliar a eficácia dos  $K_p$ 's gerados na estimativa da Evapotranspiração de Referência ( $ET_0$ ), abrangendo o período subsequente de 8 anos, ou seja, de janeiro de 2010 a junho de 2018. Para avaliar a acurácia desses valores médios de  $K_p$  na estimativa da  $ET_0$ , eles foram empregados na determinação da  $ET_0$  através do método do Tanque Classe "A". Posteriormente, os resultados foram cotejados com os valores de  $ET_0$  determinados pelo método de Penman-Monteith FAO durante o mesmo período.

Em virtude dessa segmentação dos dados meteorológicos, os métodos delineados a seguir não apenas foram avaliados abarcando o período total de análise (1995-2018), mas também foram submetidos a uma análise específica abrangendo o período correspondente ao segundo grupo (2010-2018).

### **3.4.3 Método de Thornthwaite (1948)**

A evapotranspiração de referência proposta pela metodologia de Thornthwaite, originalmente denominada de evapotranspiração potencial ( $ET_{PTH}$ ) foi estimada pela sequência das Equação 21 à Equação 26:

$$ET_{PP} = 16 * \left( \frac{10 * T_{med}}{I} \right)^a \quad (21)$$

em que,

$ET_{PP}$  - Evapotranspiração potencial padrão (mm mês<sup>-1</sup>);

$T_{med}$  - Temperatura média do mês (°C);

I - Índice calorífico anual;

a – índice, obtido como função cúbica de I;

O índice calorífico anual (I) é definido como a soma de 12 valores dos índices caloríficos mensais, calculado pela Equação 22.

$$i_j = \sum_{j=1}^{12} \left( \frac{T'_{jJ}}{5} \right)^{1,514} \quad (22)$$

em que,

$T'_{jJ}$  – Temperatura normal do mês (°C);

O índice “a” da equação de Thornthwaite foi determinado pela Equação 23.

$$a = 6,75 * 10^{-7} * I^3 - 7,71 * 10^{-5} * I^2 + 1,79 * 10^{-2} * I + 0,49239 \quad (23)$$

No presente estudo, entende-se, por temperatura normal, dada à limitação dos dados, as médias mensais das temperaturas do período de disponibilidade de dados (23 anos).

O cálculo da evapotranspiração de referência realizada pela Equação 21, considera um padrão para um mês típico de 30 dias, considerando que cada dia tenha 12 horas de insolação máxima possível. No entanto, com o intuito de corrigir esse valor para o número de dias do mês em questão e para a respectiva insolação máxima diária média possível no mês, utiliza-se o Fator de Correção (FC), calculado pela Equação 24.

$$FC = \frac{NDM}{30} * \frac{N}{12} \quad (24)$$

em que,

NDM – Número de dias no mês;

N – Duração média dos dias do mês;

Logo, o cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Thornthwaite será realizado pela Equação 25.

$$ET_{PTH} = ET_{PP} * FC \quad (25)$$

em que,

$ET_{PTH}$  – Evapotranspiração de referência estimada pelo método de Thornthwaite (mm mês<sup>-1</sup>).

No caso do método de Thornthwaite, como a estimativa da evapotranspiração é realizada na escala mensal (mm mês<sup>-1</sup>), da série de dados meteorológicos diários, ao tomar a temperatura média diária, aplicando na Equação 21, em princípio tem-se a  $ET_{PTH}$  nessa escala (mm mês<sup>-1</sup>), daí então, surge a necessidade da divisão do resultado pelo número de dias do mês correspondente para ter-se de fato a evapotranspiração na escala diária (mm d<sup>-1</sup>):

$$ET_{OTH} = \frac{ET_{PTH}}{NDM} \quad (26)$$

Ou seja, por exemplo, se a temperatura média da série diária de dados utilizada na equação 21, for de qualquer dia do mês de janeiro, NDM será igual a 31, estornando a  $ET_{OTH}$  para a escala diária do dia correspondente à temperatura média.

#### 3.4.4 Método de Hargreaves e Samani (1985)

A evapotranspiração de referência pela metodologia de Hargreaves e Samani (1985) foi calculada pela Equação 26.

$$ET_{OHS} = 0,0023 * Ra * (T_{med} + 17,8) * (T_{max} - T_{min})^{0,5} \quad (26)$$

em que,

$ET_{OHS}$  – Evapotranspiração de referência de Hargreaves e Samani (mm d<sup>-1</sup>);

$Ra$  – Radiação na ausência ou “topo” da atmosfera (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

$T_{med}$  – Temperatura média diária do ar (°C);

$T_{max}$  – Temperatura diária máxima do ar (°C);

$T_{min}$  – Temperatura diária mínima do ar (°C);

O cálculo da radiação na ausência ou “topo” da atmosfera foi feito pela Equação 17, anteriormente descrita.

### 3.4.5 Método de Camargo (1971)

O método original de Thornthwaite foi adaptado por Camargo *et al.* (1999). Neste método, a temperatura média ( $T_{med}$ ) será substituída pela temperatura efetiva ( $T_{ef}$ ) através da Equação 27.

$$T_{ef} = \beta * (3 * T_{max} - T_{min}) \quad (27)$$

em que,

$T_{ef}$  – Temperatura efetiva (°C);

$\beta$  – Parâmetro de Camargo;

$T_{max}$  – Temperatura máxima diária (°C);

$T_{min}$  – Temperatura mínima diária (°C);

Consideraremos o parâmetro  $\beta$  de Camargo com o valor original de 0,36. Dessa forma, a estimativa da Evapotranspiração de referência pelo método de Camargo ( $ET_{CA}$ ) será calculada pela Equação 28.

$$ET_{CA} = \frac{N}{360} * K_{ca1} * \left(10 * \frac{T_{ef}}{I}\right)^\alpha \quad (28)$$

em que,

$ET_{OCA}$  – Evapotranspiração de referência ( $mm\ d^{-1}$ );

$K_{ca1}$  – Coeficiente de Camargo;

Consideraremos o valor original do coeficiente de Camargo ( $K_{ca}$ ) igual a 16.

### 3.5 Análise estatística

A precisão e adequação dos modelos foram avaliadas comparando os valores obtidos pelo método de Penman-Monteith-FAO com aqueles encontrados por meio dos métodos alternativos baseando-se nos seguintes indicadores estatísticos: erro padrão de estimativa (EEP), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e coeficiente de confiança (c).

O Erro Padrão de Estimativa (EEP), proposto por Allen *et al.* (1996) foi calculado pela Equação 29:

$$EPE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (29)$$

em que,

EEP – Erro padrão de estimativa (mm/d);

Y<sub>i</sub> – Evapotranspiração de referência estimada pelo método padrão (mm d<sup>-1</sup>);

X<sub>i</sub> – Evapotranspiração de referência obtida pelo método alternativo (mm/d);

n = número de observações;

O Índice de Concordância (d) proposto por Willmott (1982), foi calculado pela Equação 30.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n [(|Y_i - X_{med}|) + (|X_i - X_{med}|)]^2} \quad (30)$$

em que,

d - índice de concordância ou ajuste de Willmott;

X<sub>med</sub> - média dos valores de evapotranspiração obtidos pelo método testado (mm/d);

Os valores de “d” podem variar entre valores de 0 a 1, onde não existe concordância e há concordância perfeita, respectivamente. O coeficiente de correlação de Pearson (r), foi calculado pela Equação 31.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (|X_i - X_{med}|) * (|Y_i - Y_{med}|)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{med})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{med})^2}} \quad (31)$$

em que,

r – coeficiente de correção de Pearson;

Y<sub>med</sub> - média dos valores de evapotranspiração obtidos pelo método padrão (mm/d);

O coeficiente correlação, segundo Cohen (1988), pode ser classificado como: “quase perfeito” (r>0,9), “muito alto” (0,7 < r < 0,9), “alto” (0,5 < r < 0,7), “moderado” (0,3 < r < 0,5), “baixo” (0,1 < r < 0,3) e “muito baixo” (r < 0,1). O coeficiente de confiança (c), por sua vez, proposto por Camargo e Sentelhas (1997), é calculado pela Equação 32.

$$c = d \times r \quad (32)$$

O coeficiente de confiança (c), é classificado de acordo com os valores encontrados como: "ótimo" ( $c > 0,85$ ); "muito bom" (c entre 0,76 e 0,85); "bom" (c entre 0,66 e 0,75); "mediano" (c entre 0,61 e 0,65), "sofrível" (c entre 0,51 e 0,60), "mau" (c entre 0,41 e 0,50) e "péssimo" ( $c < 0,40$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização e classificação climática

As temperaturas, as precipitações pluviais e os principais dados obtidos no balanço hídrico climatológico (BHC) conforme a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955) para Rivas, Nicarágua, são observadas na Tabela 2 e fazem referência a série de dados de julho de 1995 a junho de 2018. A temperatura média anual do referido período foi de 27°C, variando entre 26,3 °C no mês de janeiro e 28,4 °C em abril. Por sua vez, a precipitação mensal observada foi bastante variável, apresentando médias do total acumulado mensal de 2,1 mm no mês de fevereiro e 308,8 mm no mês de outubro. O total de precipitação anual, média do período, foi de 1.376 mm na série observada de 23 anos, sendo que o período chuvoso vai de maio a outubro (1257mm) correspondendo à 91,35 % do total anual.

Tabela 2 – Extrato do balanço hídrico climatológico para temperatura média (T), precipitação pluvial (P), evapotranspiração potencial e real (ETP e ETR), deficiência e excesso hídrico (DEF e EXC) mensais e anual em Rivas, Nicarágua no período de julho de 1995 à junho de 2018.

Mês	T(°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,3	8,7	89,7	37,5	52,2	0
Fevereiro	26,6	2,1	92,5	15,8	76,7	0
Março	27,5	2,2	116,9	8,4	108,5	0
Abril	28,4	9,0	119,6	11,5	108,0	0
Maiο	28,1	177,9	95,9	80,1	15,8	37,6
Junho	27,3	214,0	64,8	64,8	0,0	113,9
Julho	27,2	139,7	68,3	67,2	1,0	74,6
Agosto	27,2	186,4	75,1	73,6	1,5	114,9
Setembro	26,8	230,4	70,1	69,9	0,2	156,2
Outubro	26,5	308,8	66,1	66,1	0,0	240,8
Novembro	26,7	80,6	75,6	71,4	4,1	22,5
Dezembro	26,5	15,8	87,0	57,5	29,5	0
Ano	27	1.376	1.022	624	398	761

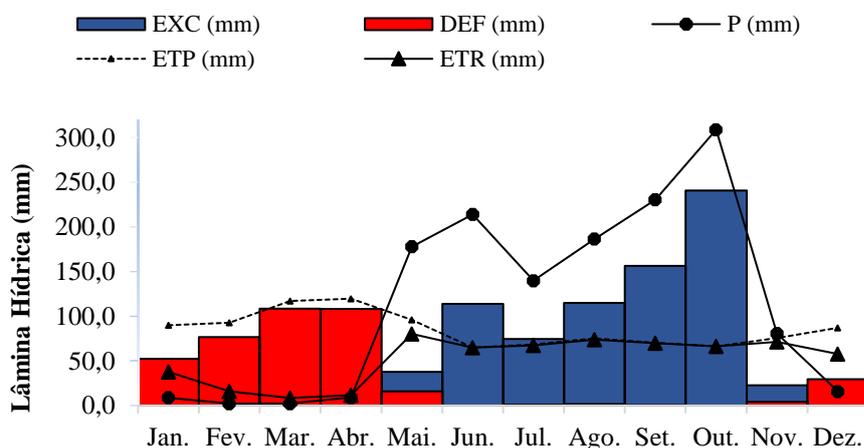
Fonte: Elaborado pelos autores baseado em Thornthwaite e Mather (1955).

Embora o padrão de chuvas de Rivas seja irregular, é bom atentar em relação à agricultura para regiões que apresentam distribuição irregular das chuvas. Ribeiro, Simeão e Santos (2015) recomendam um planejamento adequado da melhor época para o plantio das principais culturas, de modo que a sementeira seja feita em períodos de melhor disponibilidade hídrica para que as fases de máxima exigência hídrica da cultura não coincidam com o período de máxima deficiência de água no solo. Tem-se assim que o conhecimento do padrão das chuvas e do balanço hídrico climatológico fornecem informações imprescindíveis para um bom planejamento e manejo agrícola.

O BHC foi realizado para série histórica considerando a capacidade de armazenamento da água no solo (CAD) de 100 mm. Observou-se que os valores da evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) foram de 1.022 mm e 624 mm, respectivamente. Os meses com maiores e menores valores de ETP foram abril, com 119,6 mm, e junho, com 64,8 mm, respectivamente. De acordo com Ribeiro, Simeão e Santos (2015) esse aumento da taxa de evapotranspiração é proveniente do aumento da temperatura podendo fazer com que o consumo de água pelas plantas seja maior que a quantidade disponível no solo ocasionando a deficiência hídrica no solo.

Na Figura 2 tem-se a representação gráfica do BHC considerando a CAD 100 mm. Observa-se que os meses de maiores precipitações são os meses de maior excedente hídrico. O inverso ocorre nos meses mais secos, onde a deficiência hídrica no solo é evidenciada pelos baixos valores de precipitação, que conseqüentemente, à exceção do mês de novembro, são menores que a evapotranspiração potencial.

Figura 2 – Representação gráfica do BHC para o município de Rivas – Nicarágua, considerando a CAD do solo de 100 mm.

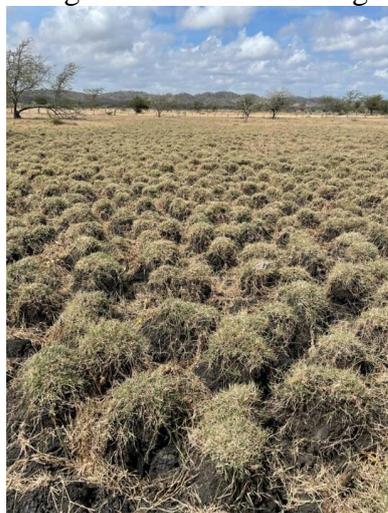


Fonte: Dos autores (2023).

Observa-se também na Figura 2 que a deficiência hídrica (DEF) anual acumulada foi de 398 mm, distribuída majoritariamente entre os meses de fevereiro a abril, sendo esses meses responsáveis por cerca de 73,8% da deficiência hídrica média anual na região; para o excedente hídrico (EXC) anual, tem-se para o município de Rivas valores de 761 mm concentrados majoritariamente entre os meses de agosto e outubro.

O clima de Rivas, segundo a classificação climática de Köppen, é **Aw**, tropical, com inverno seco e precipitação invernal menor que  $60 \text{ mm mês}^{-1}$ , com temperatura de todos os meses maior que  $18^{\circ}\text{C}$ . Uma das vegetações características desse clima é conhecida como "Floresta Seca Tropical" ou "Floresta Tropical Caducifólia". Este tipo de vegetação é adaptado às condições climáticas da região, incluindo as variações sazonais nas precipitações e temperaturas. Durante a estação seca, as árvores perdem suas folhas para conservar água, e durante a estação chuvosa, o ambiente se revigora com um aumento nas chuvas. Esse tipo de floresta é um exemplo da adaptação das plantas às condições climáticas específicas do local.

Figura 3 – Vegetação arbustiva de baixa estatura com predominância de pastagem observada na região de Rivas - Nicarágua



Fonte: Dos autores (2023).

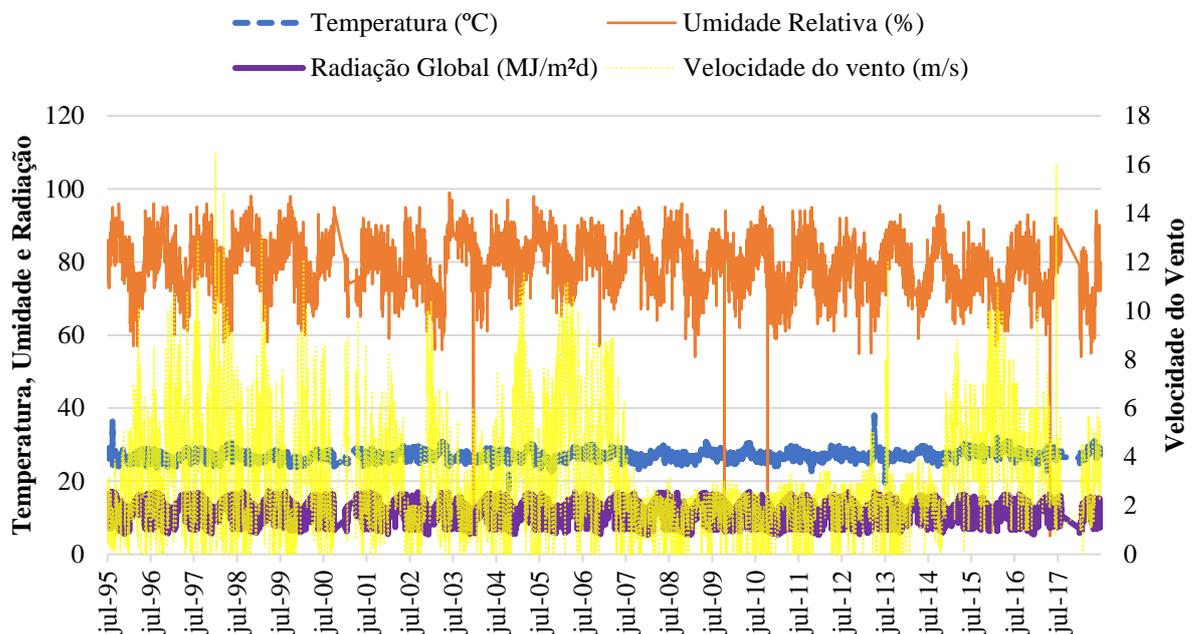
O índice hídrico (Ih) da classificação climática de Thornthwaite da região foi igual a 74,4 %, o índice de aridez (Ia) igual a 38,9%, o índice de umidade (Iu) igual a 51,1 % mm e a relação da evapotranspiração de verão sobre a evapotranspiração potencial anual (ETPv/ ETP) igual a 32,5 %.

De acordo com a classificação climática proposta por Thornthwaite, para os dados da

série no período estudado (1995-2018), o clima de Rivas é **B<sub>2</sub> W<sub>2</sub> B'<sub>4</sub> a'**, ou seja, clima seco, com grande deficiência de água no inverno e largo excesso no verão, também mesotérmico, e com uma ETP acumulada de 1.022 mm no ano, sendo que 32,5% dessa ETP ocorre no verão.

Na Figura 4, encontram-se os valores médios diários de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento além radiação solar incidente à superfície ( $R_s$ ) total diária ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) estimados durante o período estudado. Os valores diários de  $R_s$  variaram entre 5,3 e 17,3  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , sendo seus valores mínimos ocorridos entre os meses de outubro e dezembro, e os máximos compreendidos entre março e junho. Esse comportamento influenciou os valores de temperatura e conseqüentemente, os valores de umidade relativa do ar. Os valores médios de umidade relativa variaram entre 72,2% em abril e 85,0% em outubro. Por sua vez, os valores médios mensais de velocidade do vento variaram de 1,8  $\text{m s}^{-1}$  em setembro e 4,3  $\text{m s}^{-1}$  em janeiro.

Figura 4 – Variação diária das médias de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa (%) e da velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) e da radiação solar total diária incidente à superfície ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) no período de julho de 1995 a junho de 2018 em Rivas, Nicarágua.



Fonte: Dos autores (2023).

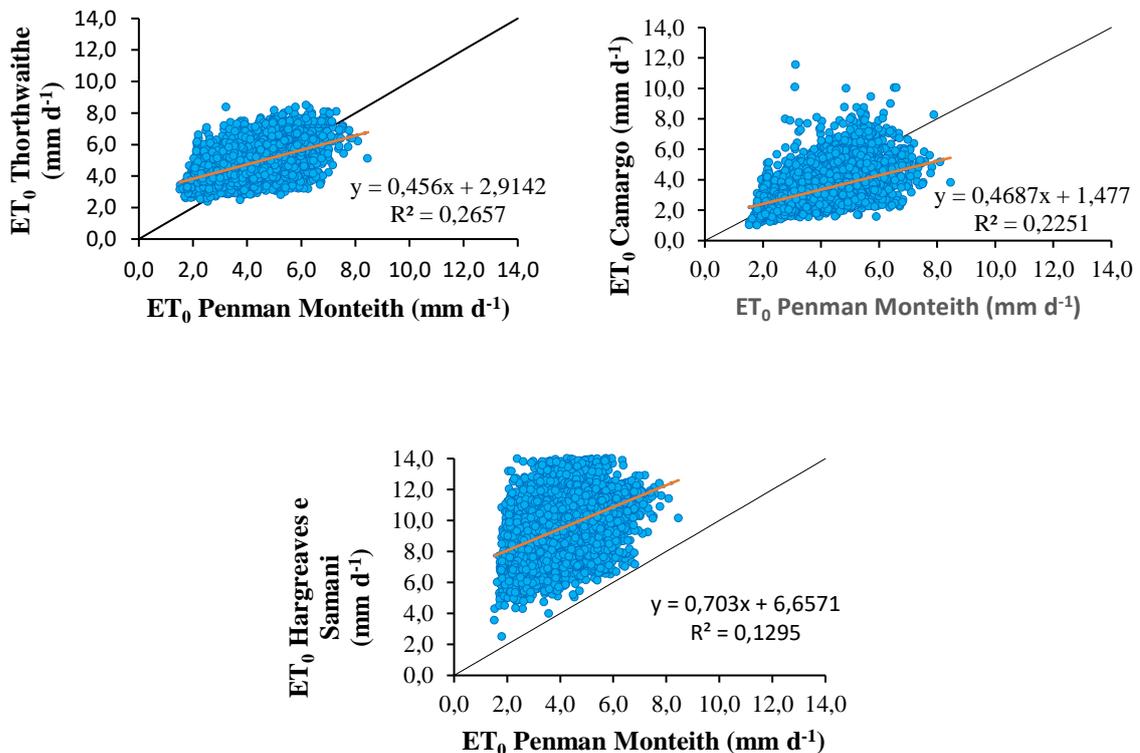
#### 4.2 Desempenho dos métodos de estimativas da evapotranspiração de referência entre julho de 1995 a junho de 2018

Na Figura 5 estão apresentados os gráficos e modelos resultantes da regressão linear da comparação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência com o método

Penman-Monteith padronizado pela FAO entre junho de 1995 a julho de 2018. Observa-se, com base na reta de regressão, que o método de Thornthwaite (1948) subestimou os valores de  $ET_0$  quando o método de Penman-Monteith-FAO acusou estimativas acima de  $4,6 \text{ mm d}^{-1}$ . Por sua vez, o método de Camargo (1971) subestimou a  $ET_0$  quando os valores de Penman-Monteith-FAO acusaram estimativas superiores a  $2,5 \text{ mm d}^{-1}$ .

O método de Hargreaves e Samani (1985) por sua vez superestimou os valores de  $ET_0$ , independente das estimativas de Penman-Monteith-FAO, corroborando com Alencar *et al.* (2011) em Montes Claros, Espinosa e Salinas, na região Norte de Minas Gerais. Segundo Oliveira (2021), esses valores superestimados provenientes do método Hargreaves e Samani (1985) sem calibrações deve-se principalmente ao tamanho da série analisada, pois, dessa forma, o tamanho da série de dados pode fazer com que a média flutue abaixo ou acima de um valor previamente. Oliveira (2021) observou melhorias na exatidão do método Hargreaves e Samani (1985) para a região de Montes Claros, Espinosa e Salina quando houve ajuste da metodologia.

Figura 5 – Valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) diária obtidos pelo método de Penman-Monteith-FAO comparados com os valores de  $ET_0$  obtidos pelos métodos de Thornthwaite (1948), Hargreaves e Samani (1985) e Camargo (1971) entre julho de 1995 e junho de 2018. (Continua)



Fonte: Dos autores (2023).

Observa-se também na Figura 5 que os modelos de Camargo, Thornthwaite e Hargreaves e Samani apresentaram ajustes muito baixos com base no coeficiente de determinação ( $r^2$ ) comparados com o método de Penman-Monteith-FAO, com valores distantes da unidade (1).

Entretanto, a simples adoção do  $r^2$  como o único critério de definição da qualidade de métodos não é o bastante, uma vez que este método não estabelece o tipo e a magnitude das diferenças entre um valor padrão e um valor previsto por modelos de estimativa (BARROS *et al.*, 2009), recomendando-se o complemento de outros indicadores estatísticos para a avaliação e respectiva análise dos modelos.

Em relação aos coeficientes de regressão, todos os métodos atingiram desempenhos ruins no valor de "a" e "b", em destaque o método de Hargreaves e Samani ( $a = 0,703$  e  $b = 6,65$ ) com o coeficiente linear muito superior aos demais e o coeficiente angular muito distante da unidade.

Na Tabela 3 visualizam-se as estimativas do erro padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), correlações de Pearson (r) e o índice de desempenho de Camargo e Sentelhas, obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pelo método de Penman-Monteith-FAO com os obtidos pelos métodos estudados no mesmo período para as estimativas diárias.

Tabela 3 – Estimativas do erro padrão (EEP), índice de concordância de Willmott (d), correlação de Pearson (r), índice de coeficiente de confiança e desempenho de Camargo e Sentelhas (c), obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) estimados pelos métodos estudados com os valores estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO no entre julho de 1995 a julho de 2018 em Rivas, Nicarágua.

Método	$ET_0$ média	EEP	d	r	c	Desempenho
Thornthwaite	4,88	1,13	0,6695	0,5155	0,3451	péssimo
Camargo	3,50	1,34	0,6279	0,4744	0,2979	péssimo
Hargreaves e Samani	9,69	5,71	0,2471	0,3599	0,0889	péssimo

Fonte: Dos autores (2023).

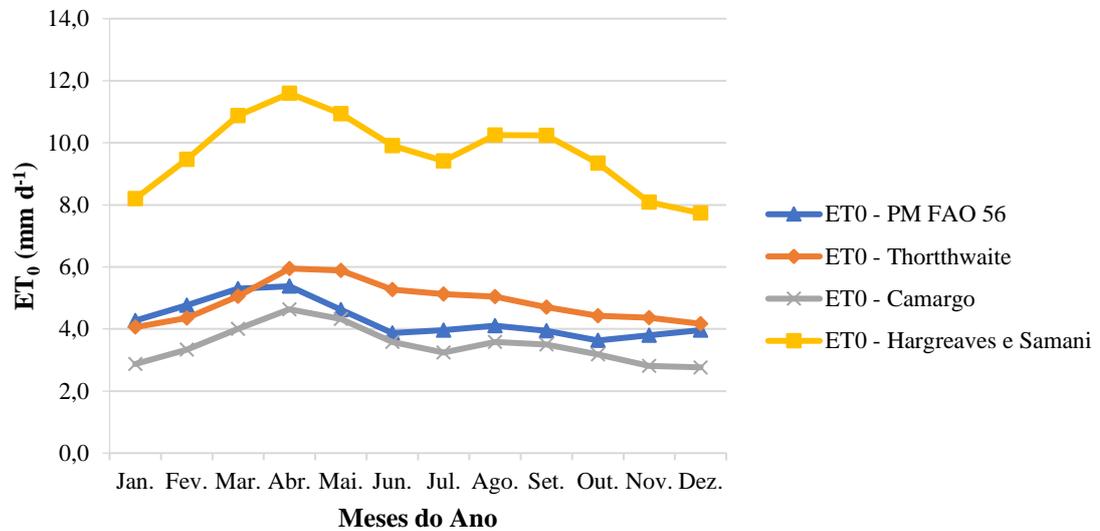
Observa-se que, conforme os indicadores estatísticos (Tabela 3) dentre os métodos estudados para estimativa da  $ET_0$  diária para a região em estudo que nenhum obteve um desempenho satisfatório.

O método de Thornthwaite, apesar de ter obtido um desempenho relativamente “alto” comparado aos demais enquadra-se pelo índice “c” como ruim. Observou-se uma similaridade de desempenho entre o método de Thornthwaite e de Camargo o que pode ser justificado devido o segundo método ter sido desenvolvida com base no primeiro. Apesar de ambos os métodos serem eficazes para regiões de clima tropical e equatorial úmidos, para região de Rivas obteve-se desempenho “péssimo” das estimativas de  $ET_0$ , corroborando com Cavalcante Júnior *et al.* (2011).

O desempenho “péssimo” do método Hargreaves e Samani e o alto valor de EEP nessa região pode ser justificada devido às diferenças entre temperatura máxima e a mínima nele usadas, que refletem, de certa forma, as condições de umidade do ar na região (SAMANI, 2000), pois, em geral e em condições médias, há a tendência de quanto maior a umidade relativa, menor a amplitude térmica associada às temperaturas mínimas baixas. Resultados análogos foram encontrados em Conceição e Mandelli (2005).

Alguns autores ainda afirmam que o método de Hargreaves e Samani, no Brasil, se adapta melhor para condições semiáridas do nordeste brasileiro, sendo ideal para estimar com maior eficiência a  $ET_0$  nos meses de seca com umidades inferiores a 70% e temperatura bastante elevada. Na Figura 6 observa-se que durante todo o ano o método de Hargreaves e Samani superestima a  $ET_0$  comparando com PM-FAO. No inverno, porém, período característico de seca, entre dezembro e fevereiro, os valores de  $ET_0$  superestimaram a  $ET_0$ , em média, cerca de  $8,5 \text{ mm d}^{-1}$ . Nos demais períodos, os valores foram superestimados em cerca de  $10,1 \text{ mm d}^{-1}$  em média. No entanto, ainda que haja essa diferença, observa-se que essa metodologia também não possuiu desempenho satisfatório para ser utilizada na região de Rivas – Nicarágua.

Figura 6 – Valores médios mensais da  $ET_0$  estimada pelo método de PM-FAO e os obtidos pelos demais métodos entre os meses de julho de 1995 e junho de 2018 na região de Rivas - Nicarágua.



Fonte: Dos autores (2023).

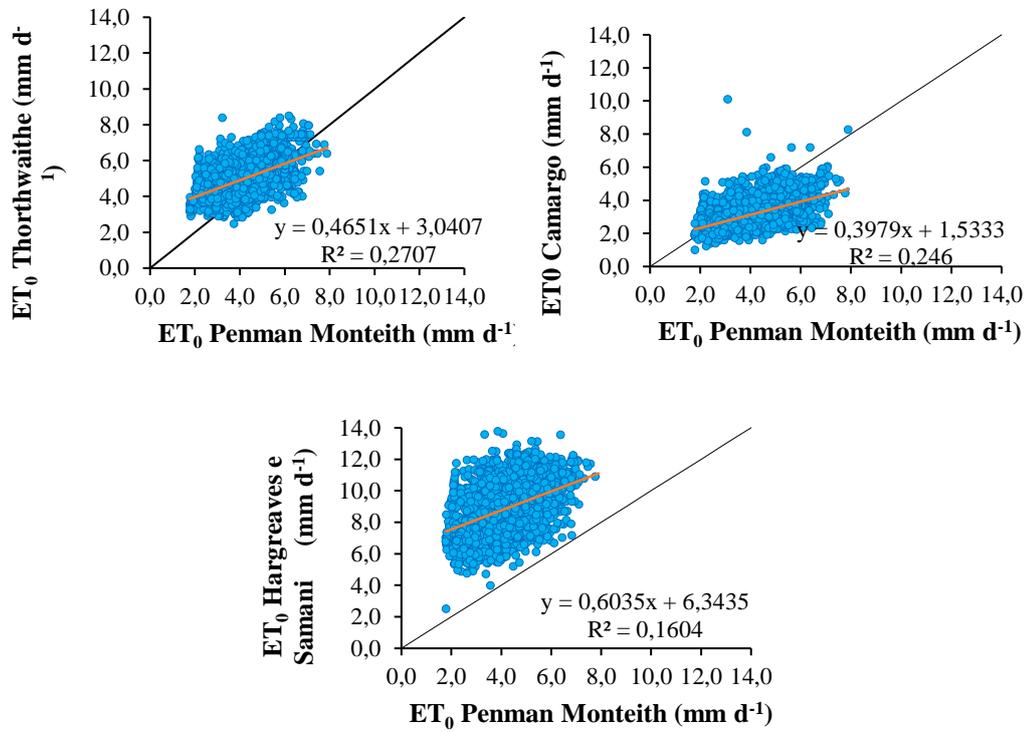
Pereira *et al.* (2009) realizam um estudo nos anos de 2007 e 2008 objetivando estimar a evapotranspiração de referência durante o período seco e chuvoso para a bacia hidrográfica de ribeirão Lavrinhas, região da Serra da Mantigueira, em Minas Gerais e concluiu que as estimativas do método Hargreaves e Samani foram consideradas “sofríveis” quando comparadas ao método padrão. Da mesma forma, Palaretti, Mantovani e Sediyaama (2014) em seu estudo realizado na cidade de Bebedouro – SP, com clima tipo Aw, segundo a classificação climática de Koppen, observaram que o método de HS superestimava valores mensais em 13% comparado ao método padrão. Tais resultados corroboram com os do presente estudo. No entanto, Magalhães e Cunha (2012) encontraram para diferentes localidades do Mato Grosso do Sul resultados satisfatórios na comparação dos métodos.

Segundo Lacerda e Turco (2015), estes resultados variam completamente devido às características intrínsecas de cada região, sendo necessário buscar o estudo mais adequado.

#### 4.3 Desempenho dos métodos de estimativas da evapotranspiração de referência entre janeiro de 2010 a junho de 2018

Para o segundo período de divisão dos dados meteorológicos do (janeiro de 2010 a junho de 2018) pode-se observar que os desempenhos dos métodos anteriormente citados foram semelhantes às análises feitas entre o período de 1995 a 2018, como ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) diária obtidos pelo método de Penman-Monteith-FAO comparados com os valores de  $ET_0$  obtidos pelos métodos de Thornthwaite (1948), Hargreaves e Samani (1985), Camargo (1971) no período 2 (2010-2018).



Fonte: Dos autores (2023).

Observa-se que todas as metodologias continuaram com desempenhos ruins tanto em relação aos de coeficiente de regressão ( $r^2$ ), quanto em relação aos coeficientes lineares e angulares, com destaque à metodologia de Hargreaves e Samani ( $b = 6,3435$ ), com valor de “b” muito distante da unidade (1) e superestimava dos valores de  $ET_0$  em todos os meses.

Nos meses de fevereiro e março, o método de Thornthwaite (1948) subestimou os valores de  $ET_0$  cerca de 5,04% e 3,35%, respectivamente. Nos demais meses essa metodologia superestimou os valores  $ET_0$  em uma média de 22,5%. Cavalcante Júnior *et al.* (2011) observaram melhor ajustamento desses métodos para climas quentes e secos, o que justifica seu baixo desempenho durante os meses de muita chuva.

O método de Camargo (1971), por sua vez, superestimou a  $ET_0$  quando os valores de Penman-Monteith-FAO acusaram estimativas inferiores a 3,7  $mm\ d^{-1}$ . Nos outros meses, o método subestimou os valores de  $ET_0$  com média de 24,81%.

#### 4.4 Desempenho da estimativa da evapotranspiração de referência pelo método do Tanque Classe “A” com Coeficiente de Tanque adaptado

Os valores médios obtidos dos coeficientes de tanque ( $K_p$ ) referente aos doze valores médios mensais e as condições meteorológicas da região, estão apresentados na Tabela 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4 – Valores dos coeficientes do tanque ( $K_p$ ) médios mensais na região de Rivas, Nicarágua, entre 07/1995 e 12/2009.

<b>Mês</b>	<b><math>K_p</math></b>
janeiro	0,68
fevereiro	0,67
março	0,63
abril	0,63
maio	0,72
junho	0,80
julho	0,80
agosto	0,82
setembro	0,88
outubro	0,86
novembro	0,78
dezembro	0,71

Fonte: Dos autores (2023).

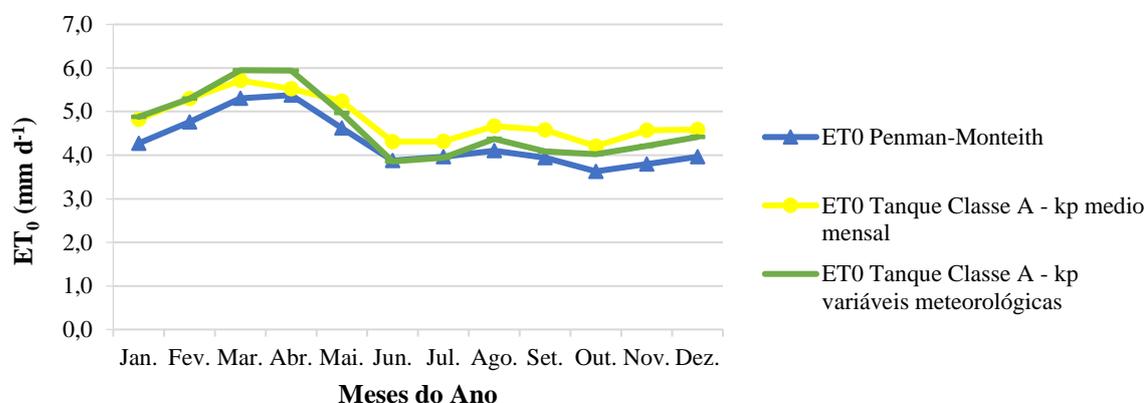
Tabela 5 – Valores dos coeficientes do tanque ( $K_p$ ) médios conforme abordagens propostas por Doorenbos e Pruitt (1977) na região de Rivas, Nicarágua, entre 07/1995 e 12/2009.

		Tanque instalado em área gramada		
Umidade Relativa média (%)		<75	75-85	>85
Vento (m/s)	Bordadura de grama (m)			
Leve (<2)	10	0,64	0,75	0,91
Moderado (2 - 5)	10	0,63	0,72	0,79
Forte (>5)	10	0,67	0,69	0,80

Fonte: Dos autores (2023).

Na Figura 8 são apresentados os valores médios mensais da  $ET_0$  obtida pelo método PM-FAO e pelo método do Tanque Classe “A” (TCA), calculada com os valores de coeficiente de tanque ( $K_p$ ) estabelecidos pelas duas configurações empregadas.

Figura 8 – Valores médios mensais da  $ET_0$  estimada pelo método de PM-FAO e os obtidos pelo método do Tanque Classe A, utilizando os valores de  $K_p$  obtidos conforme o Tabela 4 e 5, entre os meses de janeiro de 2011 e junho de 2018, na região de Rivas - Nicarágua.



Fonte: Dos autores (2023).

Observa-se que as estimativas de  $ET_0$  realizadas apresentaram a mesma tendência de variação ao longo do ano, com valores mais elevados durante os meses mais secos, entre fevereiro e abril, e valores mais baixos nos meses mais chuvosos, mais especificamente no verão entre os meses de agosto e outubro. Este fato evidencia a interdependência entre a  $ET_0$  e os elementos meteorológicos, tais como precipitação e temperatura, que no ciclo anual seguem a mesma tendência de oscilação. Esse mesmo comportamento de variação dos valores da  $ET_0$  entre meses mais secos e chuvosos, também foi observada por Cunha (2011) em experimento realizado em Botucatu – SP com o mesmo objetivo de avaliar diferentes métodos de determinação de  $K_p$ .

Além disso, nota-se na Figura 8 que a metodologia a qual utilizou a média dos  $K_p$  mensais, colocadas na Tabela 4, superestimou o método padrão (PM-FAO) em todos os meses cerca de 12,54% em todas as épocas do ano. A metodologia que utilizou os valores de  $K_p$  com base nas condições meteorológicas, colocados na Tabela 5, por sua vez, por sua vez, subestimou o método padrão apenas no mês de junho, nos demais meses, esta metodologia também superestimou o método padrão principalmente nos meses mais secos do ano (janeiro, fevereiro, março e abril). Esses resultados são semelhantes aos observados por Braga *et al.* (2008) em estudo similar desenvolvido no município de Juazeiro-BA.

Os elementos meteorológicos apresentados na Tabela 5 interferem diretamente na estimativa da  $ET_0$  pelo método do TCA. A velocidade do vento, por exemplo, é um elemento importante nos processos evaporativos. O aumento da turbulência do ar faz com que haja remoção de água, deslocando grandes quantidades de ar para acima da superfície evaporante,

criando uma condição favorável ao aparecimento de um gradiente de pressão de vapor e, conseqüente, aumentado o poder evaporativo do local (ESTEVEES *et al.*, 2010)

Outra explicação plausível, segundo Duarte, Barros e Assunção (2003), é que essas superestimativas da  $ET_0$  são devido à área relativamente pequena do TCA, a absorção da radiação pelas paredes do recipiente e pelo fato dele criar seu próprio ambiente aerodinâmico ao ficar exposto acima do solo, obtendo-se assim valores de evaporação muitas vezes acima do esperado.

Na Tabela 6 estão apresentadas as médias mensais da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento medidas a 2 m de altura para os 8 anos de dados utilizados nas análises.

Tabela 6 – Valores médios mensais de temperatura do ar (Tar), umidade relativa média (UR), velocidade do vento a 2 m (VV) e precipitação pluvial (P) dos entre o período de janeiro de 2010 e julho de 2018.

Meses	Tar (°C)	UR (%)	VV (m s <sup>-1</sup> )	Precipitação (mm mês <sup>-1</sup> )
Janeiro	26,5	75,4	3,4	4,6
Fevereiro	26,9	74,2	3,5	1,3
Março	27,5	71,2	3,6	0,4
Abril	28,7	70,9	2,8	9,4
Mai	28,6	75,2	2,8	124,0
Junho	27,8	79,9	2,6	197,1
Julho	27,3	81,7	3,2	137,3
Agosto	27,2	82,8	2,3	186,8
Setembro	27,1	83,5	1,9	136,4
Outubro	26,9	83,3	1,7	223,4
Novembro	27,1	79,1	2,9	59,0
Dezembro	26,7	76,0	3,5	9,3

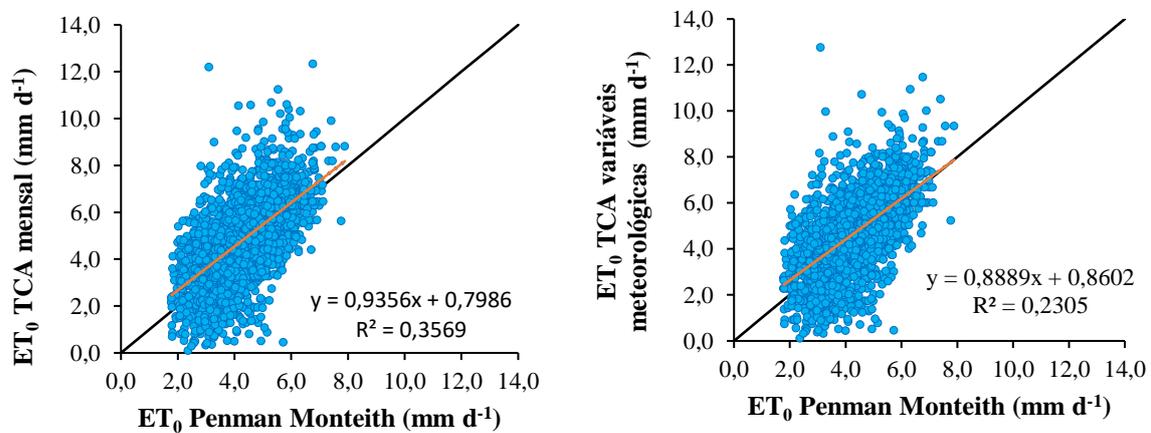
Fonte: Dos autores (2022).

De acordo com Allen *et al.* (1998), o coeficiente do Tanque Classe A irá variar de acordo com o local e as condições climáticas da região. Na região de Rivas, Nicarágua, os meses em que se obteve menores valores de Kp médio mensal foram aqueles com baixa precipitação e alta velocidade do vento. Observa-se então que esse comportamento, nessa região, acontece principalmente nos meses de inverno, entre fevereiro e abril. Essas condições fazem com que a taxa de evapotranspiração seja mais reclusa já que a planta responde a essas condições climáticas com o fechamento dos estômatos restringindo e, ou regulando a quantidade de água

transpirada, sendo esse mecanismo um “autocontrole” que as plantas conseguem realizar e assim conseguir desenvolver suas atividades fisiológicas de maneira mais equilibrada.

Na Figura 9 analisamos o comparativo entre a estimativa  $ET_0$  determinada pelo método do TCA, fazendo uso das 2 configurações citadas anteriormente para obtenção do  $K_p$ , e as estimativas de  $ET_0$  realizadas pelo método de PM-FAO, considerando as médias mensais do período 2 (2010-2018).

Figura 9 – Valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) diária obtidos pelo método de Penman-Monteith-FAO comparados com os valores de  $ET_0$  obtidos pelo método de Tanque Classe A, calculada com os valores de coeficiente de tanque ( $K_p$ ) estabelecidos pelas diferentes configurações empregadas no período 2.



Fonte: Dos autores (2023).

Pode-se observar, com base na reta de regressão, que o coeficiente angular ( $b$ ) para as duas configurações de obtenção do  $K_p$  são menores que 1, indicando uma subestimativa em relação à  $ET_0$  obtida pelo método padrão, contrário dos valores médio mensais do período completo da avaliação. Este resultado é bastante semelhante àquele apresentado por Peixoto, Levien e Bezerra (2010) em trabalho apresentado em Mossoró-RN, resultado possivelmente apresentado devido as condições aerodinâmicas da região, sendo influenciada principalmente pela velocidade do vento e as altas temperatura.

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados obtidos da análise estatística dos dados a partir das correlações entre os valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pelo método de Penamn-Monteith-FAO com os obtidos pelos métodos com as duas configurações de  $K_p$  estudadas no período 2, entre janeiro de 2010 a junho de 2018, para as estimativas diárias.

Tabela 7 – Estimativas diárias do erro padrão (EEP), concordância de Wilmott ( $d$ ), correlação de Pearson ( $r$ ), coeficiente de confiança ( $c$ ) e desempenho de Camargo e Sentelhas,

obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) estimados pelos métodos estudados, com valores estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO no período 2 em Rivas, Nicarágua.

Método	$ET_0$	EEP	d	r	c	Desempenho
Thornthwaite	3,05	1,20	0,58	0,52	0,30	Péssimo
Camargo	3,26	1,43	0,58	0,49	0,28	Péssimo
Hargreaves e Samani	8,96	4,86	0,27	0,40	0,11	Péssimo
TCA (Kp mensal)	4,85	1,40	0,70	0,59	0,41	Mau
TCA (Doorenbos e Pruitt)	4,71	1,73	0,59	0,48	0,28	Péssimo

Fonte: Dos autores (2023).

Observa-se pelos indicadores estatísticos que nenhuma das metodologias alcançaram desempenho satisfatório no período 2 para a região de Rivas, Nicaraguá, de acordo com o EPP e o índice de desempenho de Camargo e Sentelhas (1997).

O método de Thornthwaite e Camargo continuaram com ajuste “alto” e “moderado”, respectivamente, com base no coeficiente de correlação de Person (r). No entanto, devido os baixos valores apresentados do indicador de concordância de Willmot, ambas as metodologias apresentaram desempenho “péssimo”, segundo Camargo e Sentelhas (1997).

De forma análoga ao período anterior o método de Hargreaves e Samani ajustou-se como “moderado” de acordo com o coeficiente de correlação de Person ( $r = 0,4005$ ) e desempenho “péssimo” classificado de acordo com Camargo e Sentelhas ( $c = 0,1116$ ), sendo o pior ajuste encontrado para esta região.

Os valores de  $ET_0$  estimados pela metodologia do Tanque Classe A, calculada com os valores de Coeficiente de Tanque (Kp) estabelecidos, também foram classificadas como “mau” e “péssimo” segundo a classificação de Camargo e Sentelhas (1997).

Na Tabela 7 observa-se que os valores de coeficiente de correlação de Person (r) para as metodologias de Tanque Classe A variaram entre 0,48 a 0,59 enquanto o índice de concordância de Willmott (d), que mede a concordância ou similaridade entre os métodos variou de 0,59 e 0,70. Esses dados indicam que os valores médios mensais de Kp encontrados de ambas as configurações, são restritivos quanto ao seu uso para estimativa da  $ET_0$  com base na evaporação do Tanque Classe “A” e conseqüentemente como base para determinação do consumo de água no manejo da irrigação de culturas agrícolas.

É importante observar que a região de Rivas exhibe uma notável variabilidade climáticas. As flutuações nas precipitações e temperaturas ao longo do ano, por exemplo, exercem uma

influência significativa sobre os padrões de evapotranspiração. As precipitações sazonais e a temperatura desempenham um papel crucial nas condições de umidade do solo e na taxa de evapotranspiração. Além disso, eventos climáticos extremos, como tempestades tropicais e furacões, que são recorrentes na região, podem distorcer ainda mais os padrões climáticos e afetar a estimativa da evapotranspiração. Dessa forma, ao comparar diversos métodos de estimativa de evapotranspiração em Rivas, é essencial considerar essa variabilidade climática, incluindo as flutuações sazonais e os impactos das precipitações, temperatura e eventos climáticos extremos, para garantir resultados mais precisos e relevantes para o contexto climático dinâmico da região.

A necessidade premente de desenvolver um modelo multilinear de ajuste para estimar a evapotranspiração na região de Rivas é uma resposta direta à acentuada variabilidade climática característica desse contexto. A região experimenta oscilações climáticas notáveis, manifestadas por mudanças frequentes e significativas nas condições de temperatura, umidade e padrões de precipitação. Essa dinâmica climática imprevisível demanda uma abordagem mais abrangente para compreender e prever a evapotranspiração. A implementação de um modelo multilinear que leve em consideração a interconexão entre múltiplos fatores climáticos pode oferecer uma visão mais refinada e integrada da relação entre as flutuações climáticas e os processos de evapotranspiração. A habilidade de capturar essa intrincada complexidade abriria caminho para uma avaliação mais precisa das demandas hídricas e permitiria uma gestão mais adaptativa dos recursos naturais na região de Rivas, em resposta contínua à variabilidade climática inerente.

## **5 CONCLUSÕES**

Do exposto, pode-se descrever que a deficiência hídrica anual acumulada foi de 397,6 mm, distribuída majoritariamente entre fevereiro e abril; o excedente hídrico anual na região é de 760 mm concentrados entre os meses de junho a outubro. A classificação climática de acordo com a metodologia de Köppen e Geiger ficou composta pelo código Aw, ou seja, a região é considerada tropical, com inverno seco e precipitação invernal menor que 60 mm/mês, apresentando temperatura de todos os meses maior que 18°, também mesotérmico, e com uma ETP de 1021,0 mm no ano, sendo que 32,5% dessa ETP ocorre no verão. Foram constatadas significativas variações temporais nos índices pluviométricos, com valores médios mensais variando entre 2 mm e 308,7 mm

Observou-se com as análises realizadas que nenhum dos métodos estudados apresentaram desempenho satisfatório para estimativa da ETo na região Rivas, Nicarágua, tendo desempenho predominante entre “péssimo” e “mau”

Futuros estudos são sugeridos com outros métodos de estimativas que venham a se adequar melhor ao clima de Rivas. Da mesma forma, propõe-se o estudo de fatores de correção mensais para estimativa do método de Thornthwaite, Camargo e Hargreaves e Samani, visto que nenhum obteve desempenho satisfatório.

## REFERÊNCIAS

ABBASZADEH, B.; ALIABADI, F. H.; MORTEZA, E. Effects of irrigation levels on essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.). **American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture**, v. 3, p. 53-56, 2009.

ALBUQUERQUE, P. E. P. de A. **Estratégias de manejo de irrigação: exemplos de cálculo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica 136). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/25532/1/Circ-136.pdf>. Acesso em: 13 maio. 2023.

ALLEN, R. G. *et al.* **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage, n. 56).

ALLEN, R. G. *et al.* Modifications to the FAO crop coefficient approach. In: **Evapotranspiration and Irrigation Scheduling**. Proceedings of the International Conference, November, 1996. p. 3-6.

ALENCAR, L. P. de *et al.* Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no Norte de Minas Gerais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, n. 5, p. 437-449, set./out. 2011. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v19i5.260>. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/233>. Acesso em: 13 maio. 2023.

ALENCAR, L. P. de; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimation of reference evapotranspiration (ETo) under FAO standards with missing climatic data in Minas Gerais, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 39-50, 2015.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2013/jan. 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil). Acesso em: 13 maio. 2023.

ANDRADE, A. D. *et al.* Desempenho de métodos de cálculo do coeficiente de tanque para estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 119-119, jan./mar. 2016. DOI: 10.15809/irriga.2016v21n1p119-130. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1912>. Acesso em: 13 maio. 2023.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. **Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira**. São Paulo: EMBRAPA, 2008.

BACK, A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 449-466, out./dez. 2008. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2008v13n4p449-466>. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3383>. Acesso em: 13 maio. 2023.

BARROS, V. R. *et al.* Avaliação da evapotranspiração de referência na Região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 2, p. 198-203, 2009.

BARUCH, Z. Responses to drought and flooding in tropical forage grasses. **Plant and soil**, v. 164, p. 97-115, jul. 1994.

BERGAMASCHI, H. *et al.* Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 243-249, fev. 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/118024>. Acesso em: 13 maio. 2023.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p

BIDDE DESENVOLVIMENTO, Banco Interamericano. Relatório Anual. **Anos Diversos**, 2014.

BRAGA, M. B. *et al.* Coeficientes do tanque classe “A” para estimativa da evapotranspiração de referência na região do Vale do Submédio São Francisco, estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 16, n. 1, p. 49-57, abr. 2008. Disponível em; <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA-2009-09/40427/1/OPB2285.pdf>. Acesso em: 13 maio. 2023.

BRITANNICA, Enciclopédia *et al.* **Britannica enciclopédia concisa**. Enciclopédia Britannica, Inc., 2008.

CAVALCANTE JUNIOR, E. G. *et al.* Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1699-1708, 2011. DOI: 10.5433/1679-0359.2011v32Suplp1699. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/64835/1/S1525.pdf>. Acesso em: 13 maio. 2023.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 303-307, 2005.

CUNHA, A. R. Coeficiente do tanque Classe A obtido por diferentes métodos em ambiente protegido e no campo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 451-464, abr./jun. 2011. DOI: 10.5433/1679-0359.2011v32n2p451. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/3260>. Acesso em: 13 maio. 2023.

- CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. de. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul-MS. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 21, n. 2, p. 159-172, 2013. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v21i2.346>. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/313#:~:text=Os%20melhores%20m%C3%A9todos%20para%20estimativa,%2DSamani%20e%20Jensen%2DHaise>. Acesso em: 13 maio. 2023.
- CAMARGO, A. P. **Balço hídrico no estado de São Paulo**. Boletim n. 116. 3.ed. Campinas: IAC, 1971. 24p.
- 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, p. 89-97, 1997.
- CAMARGO, A. P. *et al.* Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e super-úmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.
- CARVALHO, L. G.; DANTAS, A. A. A.; NETO, P. C. **GNE 109** - Agrometeorologia. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010. 172p.
- COHEN, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. **New Jersey: Lawrence Erlbaum**, 1988, 569 p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Irrigation and Drainage Paper, 24. Rome: FAO, 1977. 179p.
- DUARTE, W. O.; BARROS, D. D. L.; ASSUNÇÃO, W. L. Comparação entre as leituras diárias do tanque classe “A” e o evaporímetro de piché, da estação climatológica da Universidade Federal de Uberlândia. *In: Simpósio Regional de Geografia: Perspectivas para o Cerrado no Século XXI, 2., 2003, Uberlândia. Anais...* Uberlândia: UFU, 2003. p. 1-5
- EMBRAPA. **Intensificação e sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola**. 2. ed. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2020.
- ESTEVES, B. dos S. *et al.* Avaliação do Kt para estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 274-278, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000300006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/9NwqCkbvPy7kR8jVqztqnHS/?lang=pt>. Acesso em: 13 maio. 2023.
- FIGUEIRÊDO, V. B. *et al.* Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, p. 231-240, abr./jun. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000200006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/3RsvGXHvtybV4VdGYCMWK8c/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 maio. 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **FAO Statistical Yearbook 2013**: world food and agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. 307p.

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

HOLDRIDGE, L. R. **Life zone ecology**. San Jorge, Costa Rica: Tropical Science Center, 1978.

JESUS, T. C. L. *et al.* Impacto do aumento da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> no balanço hídrico climatológico do cerrado. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LACERDA, Z. C. de. **Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a mesoregião do triângulo mineiro e alto Paranaíba-MG**. 2012. 69f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Jaboticabal, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/100805>. Acesso em: 13 maio. 2023.

LACERDA, Z. C. ; TURCO, J. E. P. Estimation methods of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) for Uberlândia –MG. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 27-38, jan./fev. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p27-38/2015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/zQTmx5jcQ7VpStpQ6rhxYxq/abstract/?lang=en>. Acesso em: 13 maio. 2023.

MAGALHÃES, F. F.; CUNHA, F. F. Desempenho do software SEVAP na estimativa da evapotranspiração no Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Agrária**, v. 5, n. 16, p. 151-160, 2012.

MEIRA, M. R.; MARTINS, E. R.; MANGANOTTI, S. A. Crescimento, produção de fitomassa e teor de óleo essencial de melissa (*Melissa officinalis* L.) sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 352-357, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722012000200015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/Djsh7L8fJcJXQbP7FkG7DHG/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 maio. 2023.

MENDONÇA, J. C. *et al.* Coeficientes do tanque classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, n. 1, p. 123-128, 2006. Disponível em: [http://www.cpatas.embrapa.br/public\\_eletronica/downloads/OPB2285.pdf](http://www.cpatas.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB2285.pdf). Acesso em: 13 maio. 2023.

MOURA, A. P. de *et al.* **Recomendações técnicas para o manejo integrado de pragas na cultura do alho**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2013. 13p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica 118). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/956460>. Acesso em: 13 maio. 2023.

MUNDIAL-PAM, Programa Alimentar. Programa Alimentar Mundial-PAM. 2021.

OLIVEIRA, L. F. C. de *et al.* Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 122–126, 2007. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/2473> Acesso em: 13 maio. 2023.

OLIVEIRA, A. L. M. **Calibração da equação de hargreaves-samani e de um novo método para estimativa da evapotranspiração de referência na região mineira da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. 2021. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del-Rei, 2016.

PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Análise da sensibilidade dos componentes da equação de Hargreaves – Samani para a região de Bebedouro – SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 2, p. 299-306, jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/Wvkyt3bDwqmHNNTvnWfjNvh/?lang=pt>. Acesso em: 13 maio. 2023.

PEIXOTO, T. D. C.; LEVIEN, S. L. A.; BEZERRA, A. H. F. Comparação entre diferentes equações de Tanque Classe “A” para cálculo da ETo em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p. 161-165, 2010.

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

PEREIRA, D. P. *et al.* Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2488-2493, dez. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000900016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/PHJtRknSvQJFBR8FsKLNLPf/?lang=pt#:~:text=Na%20regi%C3%A3o%20da%20Serra%20da,apenas%20a%20temperatura%20do%20ar>. Acesso em: 13 maio. 2023.

QUEJ, V. H., J. *et al.* Empirical models for estimating daily global solar radiation in Yucatán Peninsula, Mexico. **Energy Convers. Manage**, [s. l.], v. 110, n. 2, p. 448–456, fev. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.12.050>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S019689041501153X>. Acesso em: 13 maio. 2023.

RIBEIRO, A. A.; SIMEÃO, M.; SANTOS, A. R. B. Balanço hídrico climatológico para os municípios de Piripiri e São João do Piauí, Piauí, Brasil. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, n. 3, p. 228-235, set. 2015. DOI: 10.18011/bioeng2015v9n3p228-235.

SAAD, J. C. C. *et al.* Estudo da Distribuição da Evapotranspiração de Referência Visando o Dimensionamento de Sistemas de Irrigação. **Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 10-17, 2002. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2002v7n1p10-17>. Disponível: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3061>. Acesso em: 13 maio. 2023.

SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, [s. l.], v. 126, n. 4, p. 265-267, jun. 2000.

SANTOS, R. F. dos (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007. 192p.

SILVA, V. de P. R. da S. *et al.* Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 547-553, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000400017>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/PD5mRQLz9XsSJJqtMjvqM8F/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 maio. 2023.

SOUZA, J. M. de *et al.* Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration in two locations of Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 2, p. 114-126, 2014. DOI: 10.7127/rbai.v8n200225.

STATISTICS, F. A. O. Food and Agriculture organization of the United Nations. **Retrieved**, v. 3, n. 13, 2015.

SYPERRECK, V. L. G. *et al.* Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, p. 603-609, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1807-86212008000500001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/FTHhWRbc3VfNm4Ks9Tt9qrd/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 maio. 2023.

TAGLIAFERRE, C. *et al.* Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis-BA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 103-111, jan./mar. 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/1509>. Acesso em: 13 maio. 2023.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance: publications in climatology. New Jersey: Drexel Institute of Thechnology, 1955. 104 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. Washington, DC: USDA, 2002. 440p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, R. A. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991.

WALDHEIM, P. V. *et al.* Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 30-43, 2006. Disponível em: <https://ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/4866>. Acesso em: 13 maio. 2023.

WILLMOTT, C. J.; AKLESON, G. S.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistic for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p.8995-9005, 1985