

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**

**AGRONOMIA**

**DÉRICK ALBERTO ARRUDA**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE  
REFERÊNCIA E OBTENÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA  
O MUNICÍPIO DE PRESIDENTE FIGUEIREDO, AM.**

**ITACOATIARA – AM**

**2022**

**DÉRICK ALBERTO ARRUDA**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E OBTENÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA O MUNICÍPIO DE PRESIDENTE FIGUEIREDO, AM.**

Trabalho apresentado a Universidade Federal do Amazonas,  
como requisito para obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Aristóteles de Jesus Teixeira Filho

**ITACOATIARA – AM**

**2022**

### Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

A779a Arruda, Dérick Alberto  
Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência e obtenção do balanço hídrico climatológico para o município de Presidente Figueiredo, AM. / Dérick Alberto Arruda .2022  
25 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Aristóteles de Jesus Teixeira Filho  
TCC de Graduação (Agronomia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Penman-Monteith. 2. Evapotranspiração. 3. Irrigação. 4. Regime hídrico . I. Teixeira Filho, Aristóteles de Jesus. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**AGRONOMIA**


**DÉRICK ALBERTO ARRUDA**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE  
REFERÊNCIA E OBTENÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA  
O MUNICÍPIO DE PRESIDENTE FIGUEIREDO, AM.**

Trabalho apresentado a Universidade Federal do Amazonas,  
como requisito para obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo

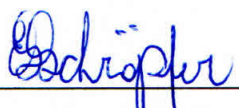
Aprovado em: 28 de abril de 2022.


**Banca Examinadora**

Documento assinado digitalmente  
 ARISTOTELES DE JESUS TEIXEIRA FILHO  
Data: 09/05/2022 14:47:45-0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>

---

Dr. Aristóteles de Jesus Teixeira Filho  
Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia / UFAM

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Edivânia dos Santos Schropfer  
Faculdade de Ciências Agrárias / UFAM

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Jhony Vendruscolo  
Faculdade de Ciências Agrárias / UFAM

Dedico este trabalho a todos os que me  
ajudaram ao longo desta caminhada,  
incentivando e torcendo pelo meu sucesso.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe Kélia, minha maior fonte de inspiração e força, pela história de vida, pelo amor, pela dedicação e perseverança ao me ensinar o caminho da justiça.

Ao meu padrasto Lázaro, por acreditar e apoiar meus estudos.

À Universidade Federal do Amazonas, e a todos os docentes do curso de Agronomia pelos anos de aprendizagem e experiência que me habilitaram chegar até aqui.

Ao meu orientador Prof. Dr. Aristóteles de Jesus Teixeira Filho, por aceitar meu convite, por disponibilizar o seu tempo para o enriquecimento deste trabalho pelos ensinamentos, dedicação, confiança e pela oportunidade oferecida.

Ao Prof. Dr. Gerlândio Suassuna Gonçalves, pelo período como orientador de iniciação científica, pela paciência e por todo o ensinamento.

Às pessoas incríveis que tive a honra de conhecer e considerá-las verdadeiras amigas, em especial ao Lucas Cidade, João Cleber, João Victor, Sidney Souza e Bruno Sousa, tornando minha jornada mais leve e divertida.

Ao Eterno, que me conduz.

## RESUMO

A evapotranspiração é um processo de grande importância na determinação das necessidades hídricas de uma cultura, constatando períodos de excessos ou escassez de água, sendo este fundamental para a elaboração do balanço hídrico climatológico, ferramenta essencial no planejamento agrícola. Portanto, o objetivo do estudo foi comparar os métodos de Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves e Jensen-Haise com o método de Penman-Monteith, recomendado pela FAO como método padrão para estimativa da evapotranspiração de referência e determinar o balanço hídrico climatológico para o município de Presidente Figueiredo, AM. Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos na estação meteorológica automática de Presidente Figueiredo, compreendendo dados diários de uma série temporal de 10 anos (janeiro de 2009 a dezembro de 2018). Os indicadores estatísticos utilizados foram, o coeficiente de correlação ( $r$ ), coeficiente de determinação ( $r^2$ ), índice de exatidão ( $d$ ) e o coeficiente de segurança ou desempenho ( $c$ ). A classificação do método de Blaney-Criddle foi satisfatória, tendo seu coeficiente de desempenho como “ótimo”, seguido pelos métodos de Hargreaves e Jensen-Haise, “bom” e “muito bom”, respectivamente, podendo ser utilizado pelos agricultores da região, enquanto o de Camargo teve pior desempenho, sendo “péssimo”. Não foi constatado período de deficiência hídrica para o município de Presidente Figueiredo - AM, entretanto de julho a outubro foram os meses de menores excedentes hídricos, podendo ser necessário o uso de irrigação.

**Palavras-chave:** Penman-Monteith, evapotranspiração, irrigação, regime hídrico.

## ABSTRACT

Evapotranspiration is a process of great importance in determining the water needs of a crop, noting periods of excess or scarcity of water, which is fundamental for the elaboration of the climatological water balance, an essential tool in agricultural planning. Therefore, the objective of the study was to compare the Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves and Jensen-Haise methods with the Penman-Monteith method, recommended by FAO as a standard method for estimating reference evapotranspiration and to determine the climatological water balance for the municipality of Presidente Figueiredo, AM. The meteorological data used were obtained from the Presidente Figueiredo automatic meteorological station, comprising daily data from a 10-year time series (January 2009 to December 2018). The statistical indicators used were the correlation coefficient ( $r$ ), determination coefficient ( $r^2$ ), accuracy index ( $d$ ) and the safety or performance coefficient ( $c$ ). The classification of the Blaney-Criddle method was satisfactory, with its coefficient of performance as "great", followed by the Hargreaves and Jensen-Haise methods, "good" and "very good", respectively, and can be used by farmers in the region, while Camargo's had the worst performance, being "terrible". There were no periods of water deficiency for the municipality of Presidente Figueiredo - AM, however from July to October were months of lower water surpluses, which may require the use of irrigation.

**Keywords:** Penman-Monteith, evapotranspiration, irrigation, water regime.



## LISTAS DE FIGURAS

- Figura 1.** Recorte do mapa do Município de Presidente Figueiredo – AM. 7
- Figura 2.** Fluxograma para a obtenção das estimativas da evapotranspiração de referência. 8
- Figura 3.** Valores médios diários para cada mês de ETo estimado pelos diversos modelos para o município de Presidente Figueiredo – AM. 17
- Figura 4.** Relação entre valores da evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith (eixo X), empregando-se os métodos de Blaney-Criddle (A), Camargo (B), Hargreaves (C) e Jensen-Haise (D) (eixo Y) em Presidente Figueiredo – AM, de 2009 a 2018. 18
- Figura 5.** Representação gráfica do balanço hídrico climatológico para o município de Presidente Figueiredo – AM. 21
- Figura 6.** Extrato do balanço hídrico climatológico para o município de Presidente Figueiredo – AM. 21

## LISTAS DE TABELAS

- Tabela 1.** Valores do coeficiente de desempenho conforme Camargo e Sentelhas (1997). 14
- Tabela 2.** Média mensal dos dados diários de dez anos (janeiro de 2009 a dezembro de 2018) das variáveis meteorológicas para o município de Presidente Figueiredo – AM. 16
- Tabela 3.** Dados mensais de evapotranspiração em  $\text{mm mês}^{-1}$  pelos modelos de Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves, Jense-Haisen e Penman-Monteith em um período de 10 anos (janeiro de 2009 à dezembro de 2018) para o município de Presidente Figueiredo. 16
- Tabela 4.** Classificação de desempenho dos diferentes métodos de estimativa da ETo comparadas com o método padrão FAO 56 Penman-Monteith, para o município de Presidente Figueiredo – AM, durante um período de 10 anos (2009 a 2018). 19
- Tabela 5.** Balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) para o período de 2009 a 2018. Presidente Figueiredo, AM. 20

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALT	Alteração no armazenamento
ARM	Armazenamento de água do solo
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
BHC	Balanço Hídrico Climatológico
c	Coeficiente de segurança ou desempenho
CAD	Capacidade de Água Disponível
d	Índice de exatidão
DEF	Deficiência hídrica
EPE	Erro padrão de estimativa
ETc	Evapotranspiração da cultura
ETo	Evapotranspiração de referência
EToB-C	Evapotranspiração de referência pelo método de Blaney-Criddle
EToC	Evapotranspiração de referência pelo método de Camargo
EToH	Evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves
EToJ-H	Evapotranspiração de referência pelo método de Jansen-Haise
EToP-M	Evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith
ETP	Evapotranspiração potencial
ETR	Evapotranspiração Real
EXC	Excedente hídrico
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
ICID	Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia

Kc	Coeficiente de cultura
n	Número de horas de brilho solar
NEG.ACUM	Negativo Acumulado
P	Precipitação
Qo	Radiação solar global extraterrestre
r	Coeficiente de correlação
r <sup>2</sup>	Coeficiente de determinação
T	Temperatura
Tm	Temperatura média
Tmáx	Temperatura máxima
Tmín	Temperatura mínima
U <sub>2</sub>	Velocidade do vento a 2m
UR	Umidade relativa

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS:</b> .....	<b>3</b>
1.1	GERAL .....	3
1.2	ESPECÍFICOS .....	3
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
3.1	CLIMA.....	4
3.2	ÁGUA E PRODUÇÃO AGRÍCOLA .....	4
3.3	EVAPOTRANSPIRAÇÃO .....	4
3.4	MODELOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	5
3.4.1	Método de Penman-Monteith .....	5
3.4.2	Método de Blaney-Criddle .....	5
3.4.3	Método de Camargo .....	5
3.4.4	Método de Hargreaves .....	6
3.4.5	Método de Jensen-Haise.....	6
3.5	BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO .....	6
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>7</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	7
4.2	CLIMA.....	7
4.3	ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET <sub>0</sub> ).....	7
4.4	COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO .....	12
4.5	ELABORAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO .....	14
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>16</b>
5.1	AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO	16
5.2	BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO .....	19
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>22</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>23</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura é a atividade econômica mais dependente das condições edafoclimáticas e agrometeorológicas, estas envolvem o manejo adequado de solo, água, clima e a gestão dos recursos hídricos (ALENCAR *et al.*, 2016). Assim, para a melhor produção agrícola é relevante conhecer e acompanhar a dinâmica agroclimática, no caso, voltada para o Município de Presidente Figueiredo, AM.

Cavalcante Junior *et al.* (2011), afirmam que a obtenção do consumo hídrico das culturas pode ser realizada através de medições diretas no campo ou por meio indireto através de equações empíricas. As medições diretas requerem a utilização de equipamentos sofisticados e caros. Por isso, tem-se recorrido à utilização de equações empíricas, por serem mais práticas e viáveis de serem usadas.

Ao longo dos anos diversos métodos foram desenvolvidos para estimativa da evapotranspiração de referência (E<sub>o</sub>). Isto acontece devido a três importantes situações: adequação do método às condições climáticas da região, simplicidade de uso e limitação de elementos meteorológicos ou climáticos que alimentam estes métodos (CARVALHO *et al.* 2011).

O método utilizado como padrão de comparação foi o de Penman-Monteith – FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação), um aprimoramento do método original de Penman, pois diversos estudos realizados no Brasil e no mundo comprovam a sua precisão (BARROS *et al.*, 2009; JABLOUN e SAHLI 2008; XU e CHEN 2005; YODER *et al.*, 2005). Todavia sua utilização é bastante limitada pela exigência de muitos dados que não podem ser prontamente obtidos.

Como alternativa, particularmente nos países em desenvolvimento nos trópicos, lança-se de equações com quantidades menores de variáveis, que é o caso das equações de Blaney-Criddle, Hargreaves, Camargo e Jensen-Haise (AYOADE, 2013).

Sabe-se que são vários os métodos utilizados para estimar a evapotranspiração de referência, e nenhum é adequado para todas as condições climáticas, sem considerar um ajuste local ou regional. E de fato, estes modelos de evapotranspiração são bastante representativos das regiões nordeste, centro-oeste, sudeste e sul, porém na região norte não se tem encontrado muitas pesquisas desta natureza.

O método de estimativa do balanço hídrico climatológico (BHC) proposto por Thornthwaite e Mather (1955), é empregado para se conhecer e monitorar o conteúdo de água no solo e contabilizar o fluxo de entrada, precipitação (pluviométrica) e saída

(evapotranspiração) de água para determinada região, servindo de base para estimar tanto o Excedente Hídrico (EXC) quanto a Deficiência Hídrica (DEF). A partir desse método é possível conhecer o regime hídrico de uma dada região de forma simples e prática, pois não são necessárias medidas diretas a respeito das características físico – hídricas do solo (OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2018).

Santos *et al.* (2010) afirmam que o conhecimento das variáveis estimadas no BHC favorece o planejamento agropecuário e as práticas de controle de produção, porque são informações que permitem aos produtores identificar as condições climáticas que fragilizam o sistema produtivo. Assim, é uma ferramenta fundamental para o sucesso de um empreendimento agrícola, possibilitando a tomada de decisão no tocante à prática de irrigação para suprir a deficiência hídrica no solo.

Visando proporcionar métodos mais simples e que melhor se ajustem às condições climáticas da região, ou seja, avaliando as estimativas de evapotranspiração de referência de Blaney-Criddle, Hargreaves, Jensen-Haise e Camargo com o método de Penman-Monteith, recomendado pela FAO como método padrão da estimativa da ETo. E, com intuito de determinar períodos de excedente e deficiência hídrica, foi estimado o BHC para o Município de Presidente Figueiredo, AM.

## **2 OBJETIVOS:**

### **1.1 GERAL**

Comparar os métodos de Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves e Jensen-Haise com o método de Penman-Monteith, recomendado pela FAO como método padrão para estimativa da ETo e determinar o balanço hídrico climatológico, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), para o município de Presidente Figueiredo, AM.

### **1.2 ESPECÍFICOS**

Obter a estimativa de evapotranspiração de referência pelos métodos de Blaney-Criddle, Hargreaves, Jensen-Haise, Camargo e Penman-Monteith;

Avaliar a eficiência dos métodos de Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves e Jensen-Haise em comparação com o de Penman-Monteith; e

Identificar períodos de deficiência e excedente hídrico através do Balanço hídrico climatológico, proposto por Thornthwaite e Mather (1955), para o município de Presidente Figueiredo, AM.



### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 CLIMA

O Clima é a dinâmica da atmosfera observada em um determinado local por um longo período. Esse conhecimento se faz necessário para planejar melhor atividades econômicas em diversos setores, como o de recursos hídricos, aviação, saúde, defesa civil, turismo e agrícola.

Ayoade (2013) leva-nos a entender que o clima é ainda a variável mais importante na produção agrícola, pois os parâmetros climáticos exercem influência sobre todos os estágios da cadeia de produção agrícola, incluindo a preparação da terra, semeadura, crescimento dos cultivos, colheita, armazenagem, transporte e comercialização.

#### 3.2 ÁGUA E PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Um dos fatores cada vez mais preocupante tem sido a escassez de água e esforços têm sido empregados no desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a sua economia, em todo o planeta. Christofidis (1997) citado por Medeiros (2003) declara que, “mundialmente, a agricultura consome cerca de 69% de toda a água derivada de rios, lagos e aquíferos subterrâneos, e os outros 31% são consumidos pelas indústrias e uso doméstico”. Sendo a água, portanto, o elemento essencial ao desenvolvimento agrícola, sem o controle e a administração adequados e confiáveis, não será possível uma agricultura sustentável.

Nesse sentido, o correto conhecimento da evapotranspiração das culturas para o manejo de irrigação, assume fundamental importância. Uma das alternativas para se racionalizar o uso da água, em projetos agrícolas, é estimar a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), a partir da ET<sub>o</sub> e do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) (CARVALHO *et al.*, 2011).

#### 3.3 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Carvalho (2011) diz que, a ET<sub>o</sub> é um importante parâmetro agrometeorológico, fundamental para planejamento e manejo de irrigação, considerado também um elemento climático de demanda hídrica, daí sua aplicação em estudos meteorológicos, climatológicos e hidrológicos.

A estimativa da ET<sub>o</sub> pode ser obtida por métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos são geralmente utilizados em pesquisas devido ao elevado custo dos equipamentos, os métodos indiretos são menos onerosos e se baseiam na aplicação de métodos matemáticos que utilizam dados climatológicos medidos em estações meteorológicas (PEREIRA *et al.*, 1997).

### 3.4 MODELOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Inserir um pequeno parágrafo falando de forma geral dos principais modelos utilizados, destacando os modelos que irá utilizar no seu trabalho. Esse parágrafo servirá como introdução para o restante do conteúdo deste tópico.

#### 3.4.1 Método de Penman-Monteith

A Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), consideram o método de Penman-Monteith como o padrão de cálculo da evapotranspiração de referência, a partir de dados meteorológicos (ALLEN *et al.*, 1998; SMITH, 1991.).

Segundo Peres (1994), Penman desenvolveu sua equação incorporando a velocidade do vento, relacionando-a superfície de água livre, a partir de duas premissas: primeiro, que as fontes e sumidouros de calor sensível ocorrem em um mesmo plano, por exemplo, a lâmina de uma folha; segundo, que a pressão de vapor da superfície evaporante, seja igual à pressão de vapor de saturação da água a temperatura da superfície (calor latente). Thom (1975), relata que o fluxo de calor sensível é originado a partir da superfície das folhas, enquanto o fluxo de calor latente tem sua origem nos espaços intercelulares da folha.

Penman (1948) não incluiu a função de resistência à transferência de vapor d'água em sua equação original. A equação, combinada com o termo aerodinâmico e resistência da superfície de uma cobertura vegetal, é chamada de equação de Penman-Monteith (Monteith, 1965).

Jensen *et al.* (1990) relatam que essa equação de Penman-Monteith, é a mais precisa, quando é usada na base horária e soma-se os valores para obter estimativa diária de ETo.

#### 3.4.2 Método de Blaney-Criddle

O modelo proposto por Blaney e Criddle (1950) foi desenvolvido originalmente para estimativas de uso em regiões semi-áridas, sendo muito usado no oeste dos Estados Unidos para quantificar irrigação (BORGES e MENDIONDO, 2007). É um método empírico de estimativa modificado de fácil aplicabilidade onde os valores estimados tendem a subestimar a ETo, tendo seu uso questionado para períodos inferiores a um mês. Por outro lado, tem-se relatado boas correlações deste método com o padrão (ARAÚJO *et al.*, 2007).

#### 3.4.3 Método de Camargo

Baseado nos resultados da equação de Thornthwaite, Camargo (1971) propôs uma fórmula mais simples, porém com a mesma eficiência na estimativa de ETo em períodos de 10 ou 30 dias (CAMARGO e CAMARGO, 2000). Além disso, apresenta uma vantagem a mais

que é não necessitar da temperatura média anual normal. No entanto, considera a irradiância solar extraterrestre ( $Q_0$ ), a qual é fornecida por tabelas e um fator  $F$  de ajuste que varia com a temperatura média anual do local.

#### **3.4.4 Método de Hargreaves**

O modelo proposto por Hargreaves e Samani (1982; 1985) tem como objetivo obter a evapotranspiração de referência  $E_{To}$  baseado em poucos dados, como temperatura média, mínima e máxima mensal e da radiação extraterrestre  $R_a$ .

É um método empírico desenvolvido para a região de clima seco. Tem como vantagem a sua aplicabilidade em climas áridos e semi-áridos, como no nordeste do Brasil. Apesar da facilidade de uso, este método tende a superestimar o valor de  $E_{To}$  em climas úmidos e a subestimar para condições de alta velocidade do vento, sendo necessária uma calibração regional para o ajuste de sua precisão (MANTOVANI *et al.*, 2006).

#### **3.4.5 Método de Jensen-Haise**

A avaliação da  $E_{To}$  pelo modelo proposto por Jensen-Haise, consiste em uma equação empírica que utiliza a temperatura do ar e foi desenvolvida para regiões áridas e semi-áridas (PEREIRA *et al.*, 1997). Neste modelo estimado faz-se uso da radiação solar global, além da temperatura média (FERRONATO *et al.* 2016).

### **3.5 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO**

O BHC possibilita o monitoramento da variação do armazenamento de água no solo, tanto na escala diária como em escalas maiores como a mensal, usando medidas de temperatura do ar e precipitação (VAREJÃO SILVA, 2006). Em geral, a temperatura do ar e as precipitações podem ser consideradas como os principais elementos do clima, pois indicam os níveis energéticos e as disponibilidades hídricas da região (ROLIM *et al.*, 2007; CUNHA e MARTINS, 2009).

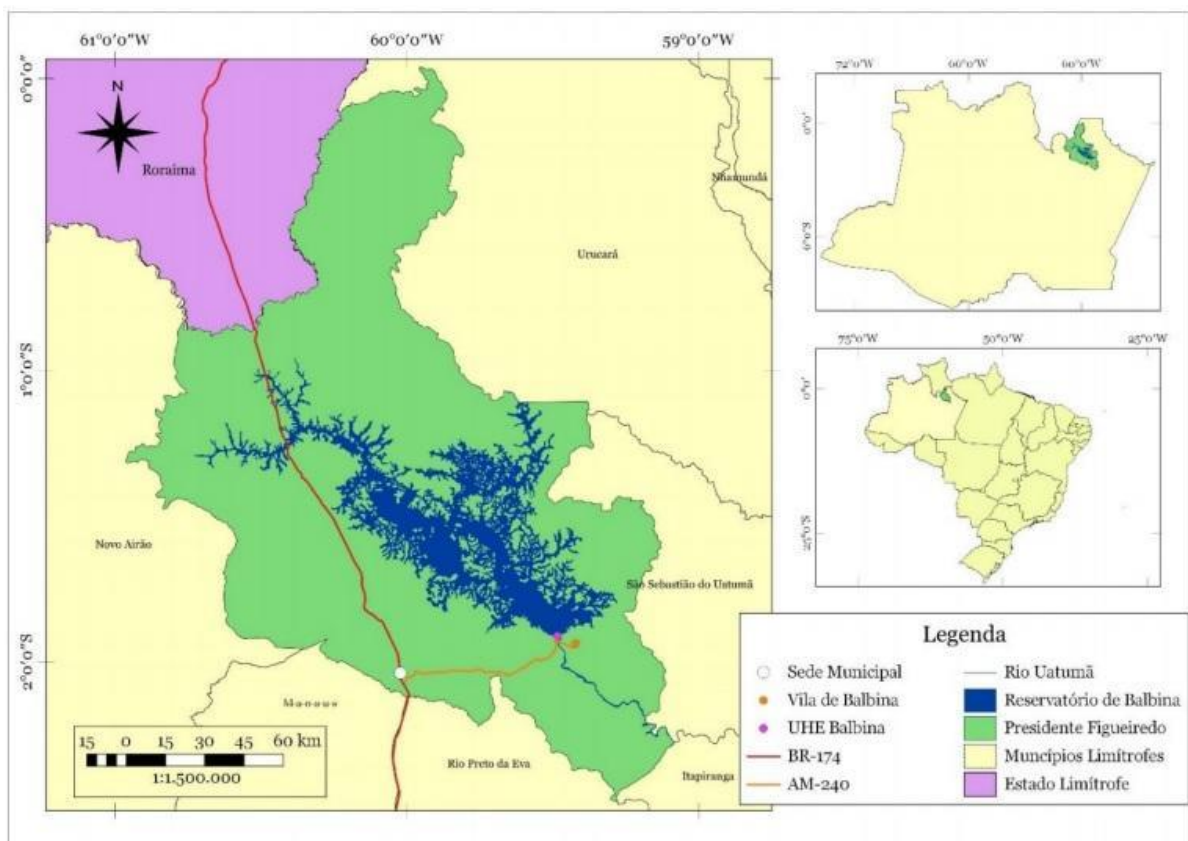
Matos *et al.* (2014) afirmam que é de crucial importância a elaboração do BHC para uma região, já que considera os aspectos relacionados ao solo, a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas e a dinâmica de água no solo durante o período avaliado. Através da estimativa do BHC é possível determinar o período de ocorrência de deficiência e excedente hídrico, retirada e reposição de água do solo e da quantidade de água armazenada no mesmo, por meio dos elementos climáticos mensais (entrada do modelo), temperatura do ar e precipitação pluvial (CARVALHO *et al.*, 2011).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida a partir dos dados diários de uma série de 10 anos de observações, abrangendo janeiro de 2009 a dezembro de 2018, da estação automática de Presidente Figueiredo-AM (OMM: 81699), localizada na latitude  $2^{\circ}3'23,61''$  S, longitude  $60^{\circ}1'32,72''$  O e altitude de 61 m (Figura 1).

**Figura 1.** Recorte do mapa do Município de Presidente Figueiredo – AM.



**Fonte:** FERREIRA JUNIOR (2017).

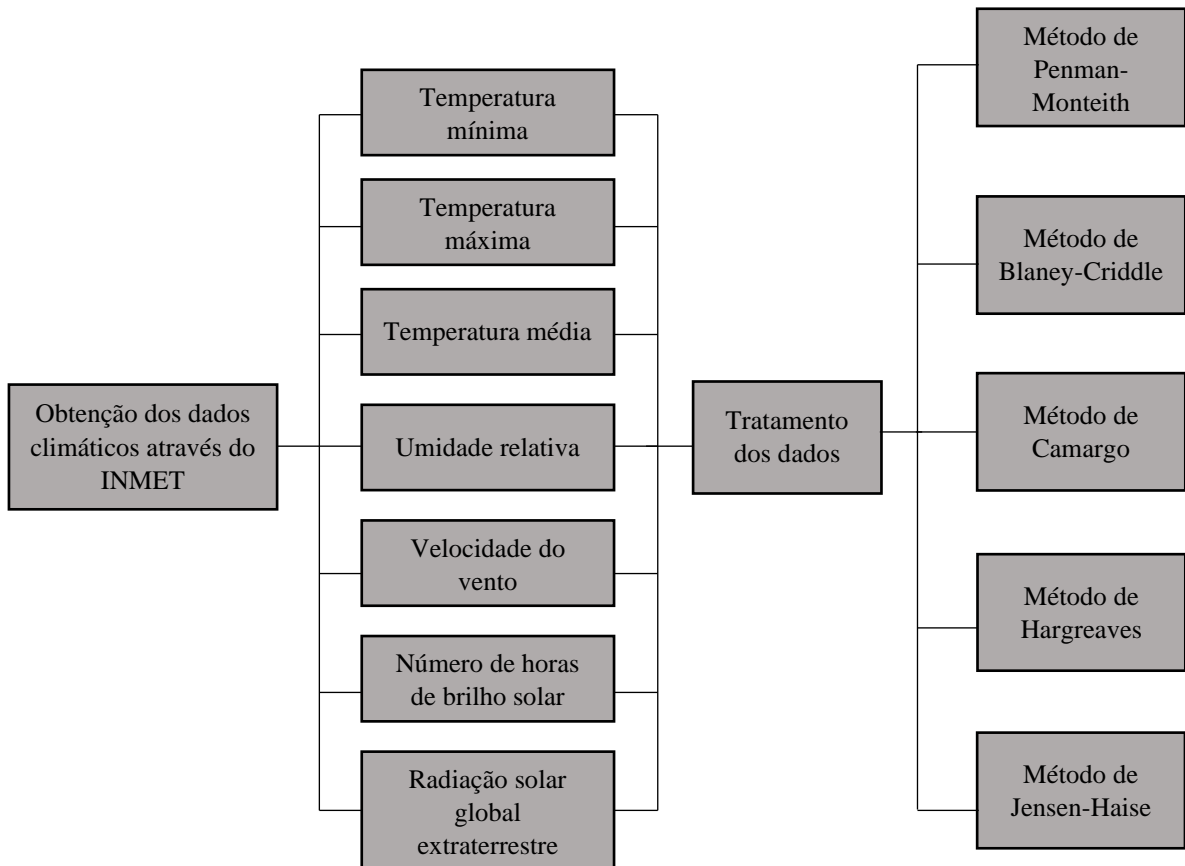
### 4.2 CLIMA

O clima é tropical. Existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano em Presidente Figueiredo. Segundo a Köppen e Geiger a classificação do clima é Af. A temperatura média anual em Presidente Figueiredo é  $27,1^{\circ}\text{C}$ . A média anual de pluviosidade é de 2.646 mm.

### 4.3 ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ( $ET_0$ )

As estimativas foram tabuladas a partir das variáveis atmosféricas disponibilizadas para consulta no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o município de Presidente Figueiredo - AM.

**Figura 2.** Fluxograma para a obtenção das estimativas da evapotranspiração de referência.



**Fonte:** ARRUDA (2019).

As estimativas da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) diária pelo foram realizadas com o software Microsoft Excel pelos métodos:

- 1) FAO - 56 Penman-Monteith (1);
- 2) Blaney-Criddle (17);
- 3) Hargreaves (20);
- 4) Jensen-Haise (22); e
- 5) Camargo (23).

Os modelos matemáticos dos métodos 1, 2, 3, 4 e 5 seguem abaixo:

- 1) Método de Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998):

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

Em que:

ET<sub>o</sub> = evapotranspiração potencial de referência (mm dia<sup>-1</sup>);

Rn = saldo de radiação à superfície (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

G = fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

T = temperatura do ar a 2 m de altura (°C);

U<sub>2</sub> = velocidade do vento à altura de 2 m (m s<sup>-1</sup>);

e<sub>s</sub> = pressão de saturação de vapor (kPa);

e<sub>a</sub> = pressão de vapor atual do ar (kPa);

(e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>) = déficit de pressão de vapor (kPa);

⊗ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C<sup>-1</sup>); e

⊙ = constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>).

A pressão exercida pelo teor saturante de vapor d'água (e<sub>s</sub>), média diária, foi obtida em função da pressão de saturação da temperatura máxima e mínima, descrita pela equação de Tetens:

$$e_s = \frac{e^0(T_x) + e^0(T_n)}{2} \quad (2)$$

$$e^0 = 0,6108 * e^{\left(\frac{17,27 * T}{237,3 + T}\right)} \quad (3)$$

A pressão de vapor atual (e<sub>a</sub>) foi obtida conforme Allen (1998), onde a temperatura mínima (T<sub>n</sub>) do ar diária foi subtraída de 2 °C para aproximar ao máximo possível da temperatura do ponto de orvalho (T<sub>d</sub>):

$$e_a = e_s(T_d) = 0,6108 * e^{\left(\frac{17,27 * T_d}{237,5 + T_d}\right)} \quad (4)$$

A declividade da curva de pressão de vapor foi calculada, como segue:

$$\Delta = \frac{4098 \left[ 0,6108 * e^{\left(\frac{17,27 * T_d}{237,5 + T_d}\right)} \right]}{(T_m + 237,3)^2} \quad (5)$$

Já a constante psicrométrica foi estimada a partir das equações ou quando não for possível adotou-se valor das equações (6) e (7):

$$\gamma = \frac{c_p * p}{\epsilon * \lambda} = 0,665 * 10^{-3} \quad (6)$$

$$p = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 * Z}{293} \right)^{5,26} \quad (7)$$

Em que:

$C_p$  = Calor específico a pressão constante ( $1,013 \times 10^{-3}$ , MJ kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>);

$P$  = Pressão atmosférica (kPa);

Coefficiente de peso molecular de vapor de água ar seco (-1, 0,622);

Calor latente de vaporização (2,45 MJ kg<sup>-1</sup>);

$Z$  = Altitude do local (m).

Sabe-se que o fluxo de calor no solo ( $G$ ) para o período de um dia ou dez dias sob uma superfície de referência gramada é relativamente pequena, logo, o fluxo de calor no solo pode ser ignorado ( $G \approx 0$ ). Para o período mensal  $G$  foi estimado por:

$$G_{mês,i} = 0,14 (T_{mês,i} - T_{mês,i-1}) \quad (8)$$

Em que:

$T_{mês,i}$  = Temperatura média mensal do ar para o mês  $i$  (°C);

$T_{mês,i-1}$  = Temperatura média mensal do mês anterior a  $i$  (°C).

Já o saldo de radiação ( $R_n$ ) é a diferença entre o saldo de radiação de onda curta ( $R_{ns}$ ) e o saldo de radiação de onda longa ( $R_{nl}$ ), que foi estimado de acordo com (9) a (16):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (9)$$

$$R_{ns} = (1 - 0,23) * R_s \quad (10)$$

$$R_{nl} = \sigma \left( \frac{T_{x,k^4} + T_{n,k^4}}{2} \right) (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \left( 1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (11)$$

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} * Z) R_a \quad (12)$$

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r (\omega_s \text{ sen } \varphi \text{ sen } \delta + \cos \cos \varphi \cos \cos \delta \text{ sen } \omega_s) \quad (13)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \cos \left( \frac{2\pi}{365} J \right) \quad (14)$$

$$\delta = 0,409 \text{ sen } \left( \frac{2\pi}{365} J - 1,35 \right) \quad (15)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \tan \varphi * \tan \tan \delta) \quad (16)$$

Em que:

$R_s$  = Radiação solar (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

$R_a$  = Radiação no topo da atmosfera (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

$G_{sc}$  = Constante (0,0820 MJ m<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>);

$\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzmann ( $4,903 \times 10^{-9}$  MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

$R_{so}$  = Radiação solar em um dia sem nuvens (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

Z = Altitude do local (m);

$d_r$  = Distância relativa Terra-Sol;

J = Dia Juliano;

$\delta$  = Declinação solar, radianos;

Latitude local, radianos;

Ângulo de radiação no momento do pôr do sol, radianos;

$T_{x,k}$  = Temperatura máxima observada durante o período de 24 horas (K);

$T_{n,k}$  = Temperatura mínima observada durante o período de 24 horas (K).

- 2) Para o método de Blaney e Criddle (1950), adaptada por Frevert *et al.* (1983) para evitar o uso de nomogramas e interpolação, e para facilitar cálculos automatizados, foi considerada a equação (17):

$$ET_o = a + b \times p (0,457 \times T + 8,13) \quad (17)$$

$$a = 0,0043 \times URmin - \frac{n}{N} - 1,41 \quad (18)$$

$$b = a0 + a1 URmin + a2 U2 \frac{n}{N} + a3 U2 + a4 URmin \frac{n}{N} + a5 URmin U2 \quad (19)$$

Em que:

$ET_o$  = evapotranspiração potencial de referência ( $\text{mm mês}^{-1}$ );

T = temperatura média mensal, ( $^{\circ}\text{C}$ );

p = percentagem mensal das horas anuais de luz solar (BERNARDO *et al.*, 2006);

U2 = Velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ );

URmin = Umidade relativa mínima (%);

$a0 = 0,81917$ ;

$a1 = -0,0040922$

$a2 = 1,0705$

$a3 = 0,065649$

$a4 = -0,0059684$

$a5 = -0,0005967$

- 3) Para o método de Hargreaves (1985) foi utilizado a equação:

$$ET_o = 0,0135 \times KT \times (T_m + 17,8) \times R_a \times 0,408 \times (T_x - T_n)^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

$$T_m = \frac{T_x - T_n}{2} \quad (21)$$



Em que:

$ET_o$  = evapotranspiração potencial de referência ( $\text{mm mês}^{-1}$ );

$T_m$  = temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_x$  = temperatura máxima diária ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_n$  = temperatura mínima diária ( $^{\circ}\text{C}$ ); e

$R_a$  = radiação no topo da atmosfera ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ).

$KT = 0,162$  para região interiorana; e

$KT = 0,19$  para região costeira.

4) Para o método de Jensen-Haise (1963) foi utilizado a equação:

$$ET_o = R_s(0,0252 \times T + 0,078) \quad (22)$$

Em que:

$ET_o$  = evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$R_s$  é a radiação solar global ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$T$  = temperatura média mensal ( $^{\circ}\text{C}$ ).

5) Para o método de método de Camargo (1971) foi utilizado a equação:

$$ET_o = R_T \times T \times k_f \times ND \quad (23)$$

Em que:

$ET_o$  = evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$R_T$  = radiação solar extraterrestre ( $\text{mm d}^{-1}$  de evapotranspiração equivalente);

$ND$  = número de dias do período analisado;

$T$  = temperatura do ar média ( $^{\circ}\text{C}$ );

$k_f$  = fator de ajuste que varia com a temperatura do ar média anual do local ( $k_f = 0,01$  para  $T < 23^{\circ}\text{C}$ ;  $k_f = 0,0105$ , para  $T = 24^{\circ}\text{C}$ ;  $k_f = 0,011$ , para  $T = 25^{\circ}\text{C}$ ;  $k_f = 0,0115$ , para  $T = 26^{\circ}\text{C}$ ; e  $k_f = 0,012$ , para  $T > 26^{\circ}\text{C}$ ).

#### 4.4 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Os dados foram organizados em escala temporal mensal por meio de planilha eletrônica, calculando-se assim a partir da  $T_{P-M}$ ,  $T_{B-C}$ ,  $T_{X_H}$ ,  $T_{n_H}$  e  $T_{m_H}$  a  $ET_o$  de referência pelo método padrão PM FAO 56, métodos Padrões PM FAO 56, Blaney-Criddle, Hargreaves, Jensen-Haise e o de Camargo.

Os resultados foram analisados por regressão linear (24), tendo como variável dependente Y, para os valores de ETo de referência estimados a partir de T<sub>B-C</sub> e o método de Blaney-Criddle, T<sub>XH</sub>, T<sub>NH</sub> e T<sub>MH</sub> e o método de Hargreaves e como variável independente X, para os valores de ETo estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO - 56 calculado através do Excel.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (24)$$

Em que:

Y = Valor estimado pelo método de referência PM FAO 56 a partir de Tx e Tn, e pelo método de Hargreaves;

$\beta_0$  = Coeficiente angular;

$\beta_1$  = Coeficiente linear; e

X = valor estimado pelo método padrão PM FAO 56.

$$\beta_0 = \underline{Y} - \beta_1 X \quad (25)$$

$$\beta_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (26)$$

$$S_{xy} = \sum(X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y}) \quad (27)$$

$$S_{xx} = \sum(X_i - \bar{X})^2 \quad (28)$$

A correlação entre o método de PM FAO 56 e os outros métodos foi realizada com base em indicadores estatísticos, a fim de se observar a precisão dada pelo coeficiente de correlação (r) que está associado ao desvio entre valores estimados e medidos indicando o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média.

$$r = \sqrt{\frac{[\sum(Y_e - \bar{Y})(Y - \bar{Y})]^2}{\sum(Y_e - \bar{Y})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}} \quad (29)$$

Em que:

Y<sub>e</sub> = Valor estimado do método avaliado;

Y = Valor estimado do método PM FAO 56;

$\bar{Y}$  = Média dos valores do método padrão.

A exatidão na estimativa da ETo em relação ao modelo padrão escolhido será obtida através do índice de Willmott “d” que varia 0 a 1 apresentado por (Willmott *et al.*, 1985).

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum(Y_e - \bar{Y})^2}{\sum(|Y_e - \bar{Y}| + |Y - \bar{Y}|)} \right] \quad (30)$$

Com a correlação entre os dados e a exatidão calculou-se o coeficiente de segurança ou desempenho “c” (Tabela 1), sendo o produto de r e d ( $c = r.d$ ) (Camargo e Sentelhas, 1997).

**Tabela 1.** Valores do coeficiente de desempenho conforme Camargo e Sentelhas (1997).

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

A quantificação dos erros proporcionados pelas estimativas foi obtida pelo erro-padrão de estimativa (EPE) e através da relação dos valores médios expressa em porcentagem (%).

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(Y_e - \bar{Y})^2}{n}} \quad (31)$$

$$\% = \frac{Y_e}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (32)$$

Em que:

$Y_e$  = Média do método estimado;

$Y$  = Média do método padrão;

$n$  = Número de observações.

#### 4.5 ELABORAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

O BHC foi obtido pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), descrito por Pereira *et al.* (2007), assumindo uma capacidade de água disponível no solo (CAD) de 100 mm. Foi adotada a evapotranspiração potencial (ETP) pelo método de Penman-Monteith (FAO 56). Utilizando-se os valores de precipitação pluvial e ETP foi estimado a evapotranspiração real (ETR), o armazenamento de água do solo (ARM), a deficiência hídrica (DEF) e o excedente hídrico (EXC).

Para o preenchimento da tabela do BHC deve ser seguido os seguintes cálculos:

- T – Preencher com a temperatura média do ar local, nos meses correspondentes.

- ETP – Calcular a evapotranspiração potencial ( $\text{mm mês}^{-1}$ ). Representa a perda potencial de água por uma extensa superfície vegetada com grama, em crescimento ativo e sem falta de água.
- P – Alturas pluviométricas (chuvas) de cada mês.
- P - ETP – Diferença entre as colunas P e ETP, mantendo-se o sinal positivo ou negativo.
- NEG. ACUM – Denomina-se Negativo Acumulado ao somatório da sequência de valores negativos de P - ETP.
- ALT – Representa a alteração no armazenamento. É obtida pela diferença entre o ARM do mês em questão e o ARM do mês anterior.
- ETR – Representa a evapotranspiração real, aquela que realmente ocorre em função da disponibilidade de água no solo. Existem duas situações distintas para seu cálculo:

$$1) \text{ Quando } P - ETP \geq 0 \quad \rightarrow \quad ETR = ETP \quad (33)$$

$$2) \text{ Quando } ALT \leq 0 \quad \rightarrow \quad ETR = P + |ALT| \quad (34)$$

- ARM – Representa o armazenamento de água do solo:

$$ARM = CAD e^{\left[\frac{NEG.ACUM}{CAD}\right]} \quad (35)$$

- DEF – Representa a deficiência hídrica, ou seja, a falta de água no solo, sendo calculada por:

$$DEF = ETP - ETR \quad (36)$$

- EXC – Representa o excedente hídrico, ou seja, a quantidade de água que sobra no período chuvoso e se perde do volume de controle por percolação (drenagem profunda) e/ou escoamento superficial. Existem duas situações:

$$1) \text{ Quando } ARM < CAD \quad \rightarrow \quad EXC = 0 \quad (37)$$

$$2) \text{ Quando } ARM = CAD \quad \rightarrow \quad EXC = (P - ETP) - ALT \quad (38)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Na Tabela 2 é apresentada a média dos dados climatológicos, sendo eles, temperatura mínima, máxima e média, precipitação pluviométrica, umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar global extraterrestre e número de horas de brilho solar para o período de dez anos (janeiro de 2009 a dezembro de 2018), referente ao município de Presidente Figueiredo – AM. Os dados a seguir foram utilizados para os cálculos de determinação da evapotranspiração.

**Tabela 2.** Média mensal dos dados diários de dez anos (janeiro de 2009 a dezembro de 2018) das variáveis meteorológicas para o município de Presidente Figueiredo – AM.

Meses	Tmín	Tmáx	Tm	P	UR	U <sub>2</sub>	Qo	n
<b>Janeiro</b>	25,77	26,77	26,27	304,55	84,46	0,76	14,81	4,44
<b>Fevereiro</b>	25,78	26,84	26,31	320,25	84,62	0,93	15,20	3,99
<b>Março</b>	26,12	27,19	26,66	325,45	84,43	0,94	15,20	4,14
<b>Abril</b>	26,00	27,02	26,51	300,90	85,73	0,74	14,49	4,54
<b>Mai</b>	25,65	26,63	26,14	290,80	87,57	0,58	13,59	5,02
<b>Junho</b>	25,65	26,81	26,23	179,64	85,47	0,67	12,99	6,80
<b>Julho</b>	25,45	26,66	26,05	164,33	84,62	0,66	13,19	7,45
<b>Agosto</b>	26,68	28,02	27,35	94,56	79,34	0,82	13,99	7,89
<b>Setembro</b>	26,50	27,80	27,15	120,70	80,96	0,73	14,80	7,34
<b>Outubro</b>	24,31	25,43	24,87	144,34	73,66	0,65	15,00	6,54
<b>Novembro</b>	24,15	25,18	24,67	170,22	75,06	0,65	14,81	6,04
<b>Dezembro</b>	26,05	27,08	26,56	229,98	84,27	0,75	14,61	4,57

**Tmín** – temperatura mínima (°C), **Tmáx** – temperatura máxima (°C), **Tm** – temperatura média (°C), **P** – Precipitação pluviométrica (mm), **UR** – umidade relativa (%), **U<sub>2</sub>** – velocidade do vento (m s<sup>-1</sup>), **Qo** - radiação solar global extraterrestre (mm dia<sup>-1</sup>), **n** – número de horas de brilho solar (h).

**Fonte:** ARRUDA (2019).

Os valores de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) para o município de Presidente Figueiredo – AM, foram estimados para os diferentes modelos incluídos na pesquisa. A equação da FAO 56 Penman-Monteith foi utilizada como padrão comparativo. Na tabela 3 observa-se os valores médios mensais para os modelos.

**Tabela 3.** Dados mensais de evapotranspiração em mm mês<sup>-1</sup> pelos modelos de Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves, Jense-Haisen e Penman-Monteith em um período de 10 anos (janeiro de 2009 à dezembro de 2018) para o município de Presidente Figueiredo.

Meses	ET <sub>o</sub> B-C	ET <sub>o</sub> C	ET <sub>o</sub> H	ET <sub>o</sub> J-H	ET <sub>o</sub> P-M
<b>Janeiro</b>	79,37	144,69	44,27	54,39	69,13
<b>Fevereiro</b>	70,11	134,41	42,25	51,93	62,52
<b>Março</b>	80,00	150,69	47,36	58,44	70,30

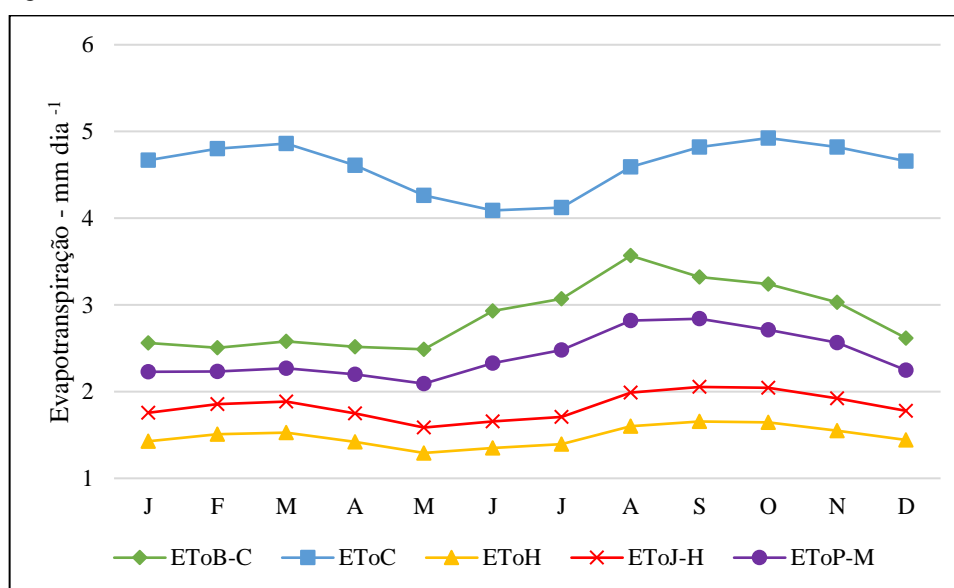
<b>Abril</b>	75,54	138,33	42,57	52,43	65,95
<b>Mai</b>	77,11	132,17	40,07	49,15	64,84
<b>Junho</b>	87,88	122,68	40,48	49,70	69,82
<b>Julho</b>	95,23	127,82	43,22	52,96	76,86
<b>Agosto</b>	110,58	142,36	49,61	61,68	87,45
<b>Setembro</b>	99,66	144,64	49,66	61,61	85,20
<b>Outubro</b>	100,49	152,66	51,00	63,40	84,11
<b>Novembro</b>	90,87	144,62	46,43	57,70	76,88
<b>Dezembro</b>	81,06	144,36	44,70	55,10	69,62

**EToB-C** – Método de Blaney-Criddle, **EToC** – Método de Camargo, **EToH** – Método de Hargreaves, **EToJ-H** – Método de Jensen-Haise, **EToP-M** – Método de Penman-Monteith.

Fonte: ARRUDA (2019).

Encontra-se na Figura 3 as médias mensais da ETo, onde é possível observar que os métodos de Camargo, Blaney-Criddle, Hargreaves e Jensen-Haise superestimaram a ETo em relação à Penman-Monteith em todos os meses. Souza (2009), encontrou resultados semelhantes, onde evidenciou a tendência de superestimativa da ETo pelo modelo de Camargo em relação ao método de Penman-Monteith, o mesmo foi observado por Barbosa (2021) para o município de Maués – AM. O método de Camargo apresentou diferenças relativas entre 23,79% (julho) e 114,10% (março) e o método de Blaney-Criddle entre 12,11% (fevereiro) e 26,60% (agosto). Os métodos de Hargreaves e Jensen-Haise subestimaram os valores de ETo, quando comparados ao método padrão Penman-Monteith.

**Figura 3.** Valores médios diários para cada mês de ETo estimado pelos diversos modelos para o município de Presidente Figueiredo – AM.

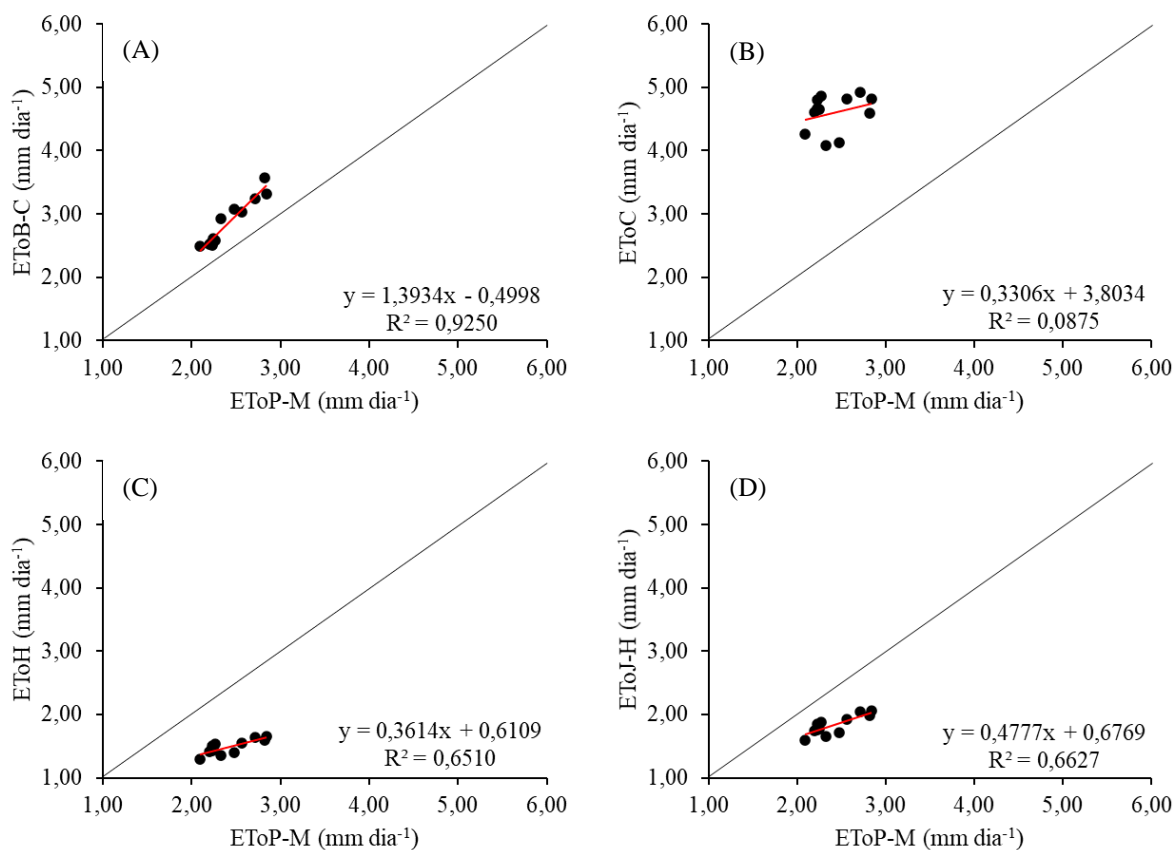


Fonte: ARRUDA (2019).

Na Figura 4, apresenta-se as relações dos valores médios mensais da ETo, em mm dia<sup>-1</sup> estimados pelo método de Penman-Monteith e pelos métodos de Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves e Jensen-Haise. Essas comparações são a base para avaliar os métodos estudados em relação ao método de Penman-Monteith. Se o método estudado obtiver resultados semelhante ao método de Penman-Monteith, a linha de regressão deveria sobrepor-se à reta  $y = x$ . Se a linha de regressão estiver afastada da reta  $y = x$ , isso significa que o método estudado apresenta uma diferença em relação ao método de Penman-Monteith.

Dentre os modelos é possível observar que o método de Blaney-Criddle (Figura 4A) apresentou melhor correlação para o período estudado, sendo de 0,925. O modelo de Camargo (Figura 4B) apresentou pior correlação (0,0875), com seus pares de pontos dispersos da linha de regressão. De acordo com Sampaio (1998), a ocorrência de coeficiente de determinação ( $r^2$ ) reduzido, faz com que as estimativas propostas não sejam confiáveis, seja pela instabilidade da variável estudada ou pelo fato de o modelo testado não estar adequado à dispersão dos resultados observados.

**Figura 4.** Relação entre valores da evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith (eixo X), empregando-se os métodos de Blaney-Criddle (A), Camargo (B), Hargreaves (C) e Jensen-Haise (D) (eixo Y) em Presidente Figueiredo – AM, de 2009 a 2018.



Fonte: ARRUDA (2019).

Os menores valores do erro padrão estimado (EPE), foram obtidos pelos métodos de Blaney-Criddle (EToB-C) e Jensen-Haise (EToJ-H), sendo 0,11 mm dia<sup>-1</sup>, confirmando a precisão desses modelos, em relação ao método padrão de Penman-Monteith (EToP-M) (Tabela 4).

De acordo com os resultados da Tabela 4 pode-se verificar os coeficientes analisados, onde Blaney e Criddle apresentou índice de desempenho ótimo ( $c = 0,95$ ). Em seus estudos, Araújo *et al.*, (2007), também obtiveram desempenho ótimo ( $c = 0,92$ ) no cálculo da ETo por Blaney-Criddle para a localidade de Boa Vista – RR. O modelo de Hargreaves ( $c = 0,75$ ) e Jensen-Haise ( $c = 0,80$ ) apresentaram desempenho como Bom e Muito Bom, respectivamente.

O modelo de Camargo ( $c = 0,26$ ), apresentou desempenho péssimo, resultado semelhante foi observado por Souza (2009), sendo classificado como péssimo ( $c = 0,33$ ) para a região de Rio Branco – AC. Segundo Santana *et al.* (2018), esse desempenho insatisfatório, pode ser atribuído à simplicidade de sua equação que confere menor precisão ao método, pois apresenta um número reduzido de parâmetros de entrada na estimativa da evapotranspiração.

Ferreira *et al.* (2020), ao comparar vários métodos para o município de Parintins – AM, classificou Jensen-Haise como ótimo ( $c = 0,85$ ) e Blaney-Criddle como Muito Bom ( $c = 0,80$ ), valores este muito próximos encontrados neste trabalho.

**Tabela 4.** Classificação de desempenho dos diferentes métodos de estimativa da ETo comparadas com o método padrão FAO 56 Penman-Monteith, para o município de Presidente Figueiredo – AM, durante um período de 10 anos (2009 a 2018).

Método	ETo	%	EPE	d	r	r <sup>2</sup>	c	Desempenho
EToP-M	2,42	-	-	-	-	-	-	-
EToB-C	2,87	118,67	0,11	0,99	0,96	0,99	0,95	Ótimo
EToC	4,60	190,39	0,33	0,89	0,30	0,09	0,26	Péssimo
EToH	1,48	61,41	0,15	0,93	0,81	0,65	0,75	Bom
EToJ-H	1,83	75,77	0,11	0,98	0,81	0,66	0,80	Muito Bom

EToP-M – Método de Penman-Monteith, EToB-C – Método de Blaney-Criddle, EToC – Método de Camargo, EToH – Método de Hargreaves, EToJ-H – Método de Jensen-Haise, ETo – média da evapotranspiração de referência, EPE – erro padrão estimado (mm dia<sup>-1</sup>), d – índice de Willmott, r – coeficiente de correlação, r<sup>2</sup> – coeficiente de determinação, c – índice de confiança.

Fonte: ARRUDA (2019).

## 5.2 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

Os resultados obtidos no balanço hídrico climático são exibidos na Tabela 5 nas Figuras de números 5 e 6, onde verifica-se a variabilidade anual e valores médios de temperatura (T), Evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (ETo), evapotranspiração potencial (ETP), precipitação pluviométrica (P), armazenamento de água no solo (ARM), evapotranspiração real (ETR), deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC).



**Tabela 5.** Balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) para o período de 2009 a 2018. Presidente Figueiredo, AM.

<b>Mês</b>	<b>T</b> (°C)	<b>ETo</b> mm	<b>ETP</b> mm	<b>P</b> mm	<b>P - ETP</b>	<b>NEG.</b> <b>ACUM</b>	<b>ARM</b> mm	<b>ALT</b> mm	<b>ETR</b> mm	<b>DEF</b> mm	<b>EXC</b> mm
<b>Jan</b>	26,27	2,23	69	305	235	0	100	0	69	0	235
<b>Fev</b>	26,31	2,23	63	320	258	0	100	0	63	0	258
<b>Mar</b>	26,66	2,27	70	325	255	0	100	0	70	0	255
<b>Abr</b>	26,51	2,20	66	301	235	0	100	0	66	0	235
<b>Mai</b>	26,14	2,09	65	291	226	0	100	0	65	0	226
<b>Jun</b>	26,23	2,33	70	180	110	0	100	0	70	0	110
<b>Jul</b>	26,05	2,48	77	164	87	0	100	0	77	0	87
<b>Ago</b>	27,35	2,82	87	95	7	0	100	0	87	0	7
<b>Set</b>	27,15	2,84	85	121	36	0	100	0	85	0	36
<b>Out</b>	27,35	2,71	84	144	60	0	100	0	84	0	60
<b>Nov</b>	27,13	2,56	77	170	93	0	100	0	77	0	93
<b>Dez</b>	26,56	2,25	70	230	160	0	100	0	70	0	160
<b>Ano</b>	26,64	--	883	2646	-	-		0	883	0	1763

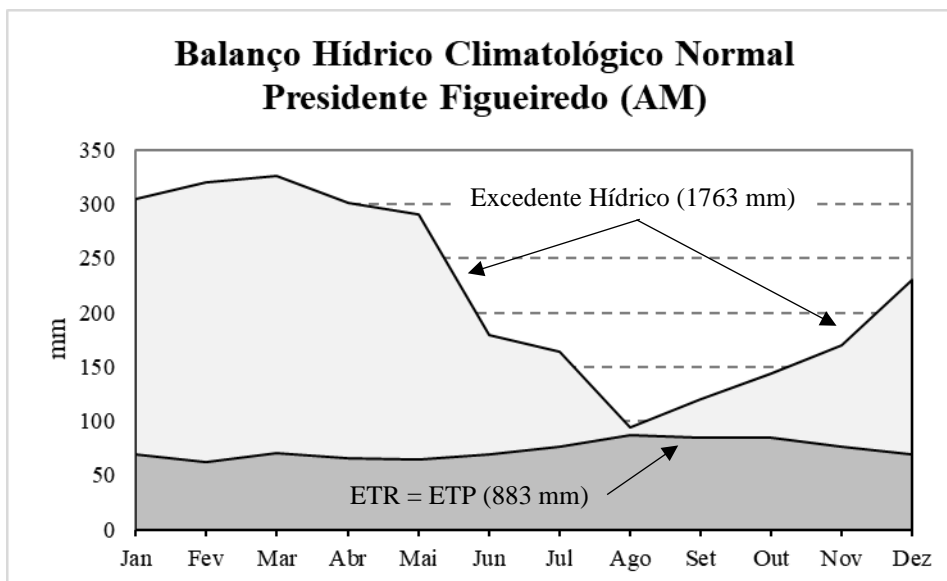
**T** – Temperatura do ar; **ETo** – Evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith; **ETP** - Evapotranspiração potencial; **P** - Precipitação pluviométrica; **NEG. ACUM** - Negativo acumulado ao somatório da sequência de valores negativos de P - ETP; **ARM** - Armazenamento de água do solo; **ALT** - Alteração no armazenamento; **ETR** - Evapotranspiração real; **DEF** - Deficiência hídrica; **EXC** - Excedente hídrico.

**Fonte:** ARRUDA (2022).

Com a análise do BHC, observa-se uma evapotranspiração potencial (ETP) e real (ETR) de 883 mm, sendo que os meses com maior e menor evapotranspiração real são agosto e fevereiro, com 87 mm e 63 mm, respectivamente. Não houve deficiência hídrica, pois foi observado o valor excedente de 1763 mm.

Na figura 5 é possível observar duas estações, uma mais chuvosa, que se estende de dezembro a maio, concentrando cerca de 67% do total acumulado, com índices de precipitação pluviométrica acima dos 200 mm, e a estação mais “seca” de junho a novembro com apenas 33% da precipitação, em relação ao total. A evapotranspiração potencial e real mantém-se constante durante todo o ano, isso indica que a evaporação máxima anual, nas condições climatológicas observadas, foi atingida, caracterizado pela grande quantidade de água disponibilizada no solo pelos elevados volumes de chuvas (PASSOS *et al.*, 2016).

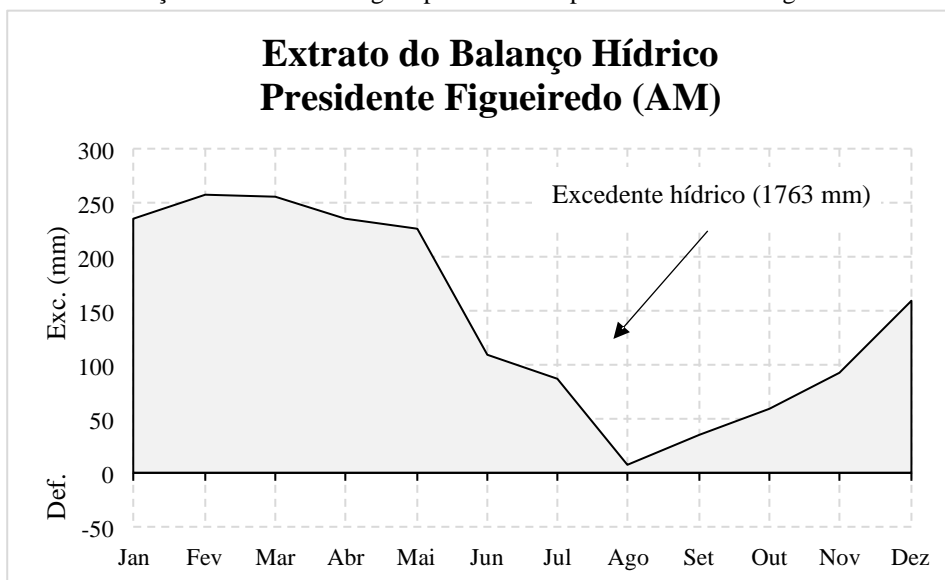
**Figura 5.** Representação gráfica do balanço hídrico climatológico para o município de Presidente Figueiredo – AM.



Fonte: ARRUDA e TEIXEIRA FILHO (2022).

Na figura 6 verifica-se um grande excedente hídrico, promovendo o armazenamento de água durante todo o ano, possuindo maior volume nos meses janeiro (235 mm), fevereiro (258mm), março (255 mm) e abril (235 mm). E, menor volume nos meses de julho (87 mm), agosto (7 mm), setembro (36 mm) e outubro (60 mm).

**Figura 6.** Extrato do balanço hídrico climatológico para o município de Presidente Figueiredo – AM.



Fonte: ARRUDA (2022).

## 6 CONCLUSÕES

- Os Métodos de Hargreaves (EToH) e Jensen-Haise (EToJ-H) apresentaram comportamento satisfatório, sendo classificados bom e muito bom, respectivamente, enquanto o método de Camargo apresentou o pior comportamento, classificado como péssimo;
- O método de Blaney-Criddle apresentou valores mais preciosos, sendo classificado como ótimo, sendo confiável à utilização pelos os agricultores da região de Presidente Figueiredo - AM, caso não se tenha todas as variáveis necessárias para utilização do método Penman-Monteith FAO - 56;
- Pode-se verificar que durante todo o ano houve excedente hídrico, porém, o volume de água armazenada talvez não seja suficiente para determinados cultivos, principalmente nos meses com menores excedentes (julho a outubro), fazendo assim necessário o uso de irrigação.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, J. R. D., ROMANI, L. A. S., MERLO, T. P., EVANGELISTA, S. R. M. Avaliação dos impactos do uso do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo). **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 5-19, 2016.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. Crop evapotranspiration. Rome: **FAO**, p. 297 (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56), 1998.
- ARAÚJO, W. F.; COSTA, S.A.A.; DOS SANTOS, A.E. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (eto) para Boa Vista, RR. **Caatinga**, Mossoró, v.20, n.4, p.84- 88, jul./set., 2007.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para trópicos**. 17<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2013.
- BARBOSA, J. V. G. **Avaliação do desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Maués, Amazonas**. 2021. 15f. TCC de graduação (Agronomia) – Universidade Federal do Amazonas, Itacoatiara, Amazonas, 2021.
- BARROS, V. R, de SOUZA, A. P., FONSECA, D. C., da SILVA, L.B. 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, abr./jun. 2009.
- BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.293–300, 2007.
- CAMARGO, A. P. de.; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, RS, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. **Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial**. Bragantia, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 5, n. 1, p. 89- 97, 1997.
- CARVALHO, H. D. P.; DOURADO NETO, D.; TEODORO, R. E. F.; MELO, B. D. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **Biosci. j. (Online)**, p. 221-229, 2011.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul./set. 2011.

CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; SOBRINHO, J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. **Embrapa Cerrados-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2011.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

DE MATOS, R. M.; DA SILVA, J. A. S.; DE MEDEIROS, R. M. Zoneamento agroclimático para a cultura do feijão caupi do município de Barbalha – CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 8, n. 6, p. 422-431, 2014.

FERREIRA, J. C. C.; TEIXEIRA FILHO, A. de J.; BARBOSA, J. V. G.; ARRUDA, D. A.: Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência no município de Parintins, AM. In:\_\_\_\_.; SALES, F. O. (Organizador). **Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País**. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

FERRONATO, A.; CHIG, L. A.; GOULART, D. B.; JÚNIO, J. H. C.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M. S. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Santo Antônio do Leverger-MT. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 14, n. 1, p. 110-118, 2016.

HARGREAVES, George H.; SAMANI, Zohrab A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied engineering in agriculture**, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

JABLOUN, M. de; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 6, p. 707-715, 2008.

JENSEN, M. W.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers. (ASCE. Manual and Reports on Engineering Practices, 70), p.329, 1990.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3.ed. Viçosa-MG: UFV, p. 355, 2006.

MEDEIROS, S. de S.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M.; MANTOVANI, C.; SOUZA, J. A. A. Avaliação do manejo de irrigação no Perímetro Irrigado de Pirapora, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.80-84, 2003.

OLIVEIRA, J. Â. M.; OLIVEIRA, C. M. M. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos–MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 6, p. 3021-3027, 2018.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 758-766, 2016.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences**, v. 193, n. 1032, p. 120-145, 1948.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Meteorologia agrícola. **Departamento de Ciências Exatas**, p. 173, 2007.

PEREIRA, A. R.; MANIERO, M. A.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. Evapotranspiração. Piracicaba: **FEALQ**, p. 17-47, 1997.

PERES, J. G. **Avaliação do modelo de Penman-Monteith, padrão FAO, para estimar a evapotranspiração de referência nas condições climáticas do estado de São Paulo**, 1994. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994

ROLIM, G. D. S.; CAMARGO, M. B. P. D.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. D. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, p. 711-720, 2007.

SANTANA, J. S.; LIMA, E. F.; SILVA, W. A.; FERNANDES, M.C, RIBEIRO, M. I. D. Equações de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) para a região de Balsas-MA. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15 n.27; p. 2018.

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

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

SOUZA, M. L. A. de. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em Rio Branco, Acre**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Acre, Rio Branco – Acre, 2009.

THOM, A. S. Momentum, mass, and heat exchange of plant communities. **Vegetation and the Atmosphere**, v. 1, p. 57-109, 1975.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Versão Digital, 2006.

XU, C-Y.; CHEN, D. Comparison of seven models for estimation of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 19, n. 18, p. 3717- 3734, 2005.

YODER, R. E.; ODHIAMBO, L. O.; WRIGHT, W. C. Evaluation of methods for estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid Southeast United States. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 21, n. 2, p. 197-202, 2005.