

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO  
DE REFERÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE COCAL-PI**

**COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN  
DE REFERENCIA PARA EL MUNICIPIO DE COCAL-PI**

**COMPARISON OF METHODS FOR ESTIMATING REFERENCE  
EVAPOTRANSPIRATION FOR THE MUNICIPALITY OF COCAL-PI**

Apresentação: Comunicação Oral

Leandra Vieira Nogueira Alves<sup>1</sup>; Geane Silva Carvalho<sup>2</sup>; Elayne Cristina Gadelha Vasconcelos<sup>3</sup> Jean Herllington Araújo Monteiro<sup>4</sup>; Hernandes de Oliveira Feitosa<sup>5</sup>

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IXCOINTERPDVAgro.0262>

**RESUMO**

A evapotranspiração é a transferência de água, em estado gasoso, para a atmosfera, por meio da soma da evaporação da água de superfícies como oceanos e solos e a transpiração dos vegetais. A evapotranspiração é importante para a gestão dos recursos hídricos e para a irrigação. O conhecimento da evapotranspiração é fundamental para o planejamento e execução de atividades humanas, como o abastecimento de água para as populações, a agricultura e a indústria. Esses processos ocorrem simultaneamente, por isso são descritos juntos, e o fenômeno recebe esse nome (evaporação + transpiração). Este estudo teve como objetivo comparar métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Cocal- PI, para fins de gestão hídrica em cultivos irrigados. A pesquisa foi desenvolvida a partir dos dados meteorológicos diários de uma série de 27 anos de observações, abrangendo janeiro de 1990 a dezembro de 2017, realizados na estação meteorológica de Parnaíba-PI, que se localiza no norte do Estado do Piauí. Situa-se a 5 metros de altitude, tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 2° 54' 14" Sul, Longitude: 41° 46' 35" Oeste. Para isso, estimamos a evapotranspiração de referência diária durante um determinado período (série temporal entre de 1990 e 2017) através de diferentes métodos empíricos. Esses métodos consistiram em Thornthwaite, Hargraves-Samani, Andrade Júnior, Makkink, Radiação Solar, Camargo que foram todos comparados com o padrão Penman-Monteith FAO-56. Os dados foram obtidos da estação meteorológica em Parnaíba. Após análises dos dados, os mesmos apresentaram resultados tendendo ao método padrão principalmente

1 Estudante do curso de Tecnologia em Agroecologia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI campus Cocal, [leandragestora@gmail.com](mailto:leandragestora@gmail.com)

2 Graduada em Agroecologia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI campus Cocal, [cacoc.2020125stage0347@aluno.ifpi.edu.br](mailto:cacoc.2020125stage0347@aluno.ifpi.edu.br)

3 Doutora em Zootecnia, Docente dos curso de Tecnologia em Agroecologia e do Técnico em Agropecuária. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI campus Cocal, [elaynegadelha@gmail.com](mailto:elaynegadelha@gmail.com)

4 Doutor em Fitopatologia, Docente dos cursos de Tecnologia em Agroecologia e do Técnico em Agropecuária. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI campus Cocal, [jean.herllington@ifpi.edu.br](mailto:jean.herllington@ifpi.edu.br)

5 Doutor em Engenharia Agrícola, Orientador, Docente dos cursos de Tecnologia em Agroecologia e do Técnico em Agropecuária. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI campus Cocal, [hernandes.feitosa@ifpi.edu.br](mailto:hernandes.feitosa@ifpi.edu.br)

no método de Andrade Júnior, o que sua maior precisão para a área de estudo, sendo o método mais indicado, para uso da evapotranspiração.

**Palavras-chave:** Evapotranspiração; Métodos; Penman-Monteith-FAO.

## RESUMEN

La evapotranspiración es la transferencia de agua, en estado gaseoso, a la atmósfera, mediante la suma de la evaporación del agua de superficies como los océanos y el suelo y la transpiración de las plantas. La evapotranspiración es importante para la gestión de los recursos hídricos y el riego. El conocimiento de la evapotranspiración es fundamental para la planificación y ejecución de actividades humanas, como el abastecimiento de agua para las poblaciones, la agricultura y la industria. Estos procesos ocurren simultáneamente, por lo que se describen juntos, y el fenómeno recibe este nombre (evaporación + transpiración). Este estudio tuvo como objetivo comparar métodos de estimación de la evapotranspiración de referencia para el municipio de Cocal – PI, para fines de gestión del agua en cultivos de riego. La investigación se desarrolló a partir de datos meteorológicos diarios de una serie de 27 años de observaciones, que abarcan de enero de 1990 a diciembre de 2017, realizadas en la estación meteorológica Parnaíba-PI, ubicada en el norte del Estado de Piauí. Se encuentra a 5 metros sobre el nivel del mar y tiene las siguientes coordenadas geográficas: Latitud: 2° 54' 14" Sur, Longitud: 41° 46' 35" Oeste. Para ello, estimamos la evapotranspiración diaria de referencia durante un período determinado (series temporales entre 1990 y 2017) utilizando diferentes métodos empíricos. Estos métodos consistieron en Thornthwaite, Hargraves-Samani, Andrade Júnior, Makkink, Radiação Solar, Camargo, todos los cuales fueron comparados con el estándar Penman-Monteith FAO-56. Los datos fueron obtenidos de la estación meteorológica de Parnaíba. Después del análisis de los datos, presentaron resultados alineados con el método estándar, principalmente en el método Andrade Júnior, que es más preciso para el área de estudio, siendo el método más adecuado para utilizar la evapotranspiración.

**Palabras clave:** Evapotranspiración; Métodos; Penman-Monteith-FAO.

## ABSTRACT

Evapotranspiration is the transfer of water, in a gaseous state, to the atmosphere, through the sum of the evaporation of water from surfaces such as oceans and soils and the transpiration of plants. Evapotranspiration is important for the management of water resources and irrigation. Knowledge of evapotranspiration is essential for the planning and execution of human activities, such as the supply of water to populations, agriculture and industry. These processes occur simultaneously, which is why they are described together, and the phenomenon is given this name (evaporation + transpiration). This study aimed to compare methods for estimating reference evapotranspiration for the municipality of Cocal-PI, for the purposes of water management in irrigated crops. The research was developed based on daily meteorological data from a series of 27 years of observations, covering January 1990 to December 2017, carried out at the Parnaíba-PI meteorological station, located in the north of the state of Piauí. It is located at an altitude of 5 meters and has the following geographic coordinates: Latitude: 2° 54' 14" South, Longitude: 41° 46' 35" West. To do this, we estimated the daily reference evapotranspiration during a given period (time series between 1990 and 2017) through different empirical methods. These methods consisted of Thornthwaite, Hargraves-Samani, Andrade Júnior, Makkink, Solar Radiation, Camargo, which were all compared with the Penman-Monteith FAO-56 standard. The data were obtained from the meteorological station in Parnaíba. After analyzing the data, they presented results tending to the standard method, mainly in the Andrade Júnior method, which has greater precision for the study area, being the most indicated method for use of evapotranspiration.

**Keywords:** Evapotranspiration; Methods; Penman-Monteith-FAO.

## INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é muito importante na agricultura, principalmente quando se fala de planejamento da irrigação. A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) é um valor fácil de se obter e é principalmente influenciado pelo clima. No entanto, é importante lembrar que existem

diferentes modelos usados para estimar a  $ET_0$ , e muitas vezes esses modelos são aplicados em condições climáticas e agronômicas diferentes daquelas em que foram desenvolvidos.

Nessa perspectiva, é essencial analisar o desempenho desses modelos antes de aplicá-los em uma determinada região, principalmente quando se trata do processo de organizar a irrigação. A escolha correta do modelo de  $ET_0$  é fundamental para usar a água de forma eficiente e sustentável. Pois com o uso de modelos inadequados, pode ter como consequências estimativas erradas da  $ET_0$ , o que pode causar excesso ou falta de água durante a irrigação das plantas.

A evapotranspiração de referência é muito útil para entender o clima, classificar os tipos de clima e calcular a quantidade de água disponível em uma região. Além disso, é essencial para o manejo da água em sistemas de irrigação, ajudando a determinar o melhor momento para regar as plantas. A  $ET_0$  é um dos principais componentes do balanço de água, é de grande utilidade em climatologia, quer em classificações climáticas ou para a quantificação das disponibilidades hídricas regionais bem como no manejo da água em sistemas de irrigação. FALALAKIS e GERMITZI (2020) destacam que a evapotranspiração é um componente chave no balanço hídrico, pois é através desse fenômeno que a água da superfície terrestre passa do estado líquido para o gasoso, assim retornando para atmosfera e interferindo no processo de precipitação.

De acordo com Dantas et al. (2018), existem quatro tipos de evapotranspiração mencionados na literatura: potencial, real, da cultura e de referência. Esses tipos são influenciados por diferentes elementos, com destaque para a vegetação, precipitação, temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e radiação solar.

De acordo com Das Neves et al. (2022), Beruski; Duarte (2020) e Dias et al. (2022), o termo evapotranspiração é amplamente utilizado para descrever a transferência de vapor d'água da superfície vegetada para a atmosfera. Essa transferência ocorre através de duas contribuições principais: a evaporação da umidade presente no solo ou na água e a transpiração resultante das atividades biológicas das plantas. Informações precisas sobre a quantidade de água evaporada ou evapotranspirada são cruciais para estudos hidrológicos e para um planejamento e manejo adequados.

Segundo Silva, Bassoi e Teixeira (2014) a evapotranspiração é uma variável fundamental para estimar a exigência hídrica das culturas e para o manejo racional dos recursos na agricultura irrigada. Ela fornece subsídios para o dimensionamento de sistemas de bombeamento, adução e distribuição de água na irrigação. Portanto, a evapotranspiração é importante para garantir o uso eficiente da água na agricultura e para maximizar a produção de

culturas irrigadas. Ela desempenha um papel fundamental na produção agrícola, uma vez que está diretamente relacionada ao consumo de água pelas plantas, sendo um indicador importante para o manejo da irrigação, pois fornece informações sobre a quantidade de água que as plantas estão consumindo. Com base nesses dados, os agricultores podem ajustar a quantidade de água fornecida às culturas, evitando tanto o estresse hídrico quanto o desperdício de água.

Além disso, também influencia outros aspectos da produção agrícola, como a eficiência no uso de nutrientes e a resistência das plantas a doenças e pragas. Uma irrigação adequada, baseada na estimativa da  $ET_0$ , permite que as plantas recebam a quantidade correta de água, garantindo seu crescimento saudável e maximizando a produção.

O município de Cocal-Pi, tem em grande maioria agricultores familiares cultivando plantas em sistema de sequeiro e quando faz uso da irrigação é de forma totalmente empírica, sua aplicação de informações relacionada a evapotranspiração o que provavelmente está aplicando água em excesso ou em déficit nas áreas irrigadas. O mesmo apresenta grande quantidade de área com potencial para a irrigação, sendo importante obter conhecimento sobre esse fenômeno a fim de obter maior eficiência no uso da água.

Com o objetivo de identificar o método mais preciso para estimar a  $ET_0$  e avaliar o perfil local em relação aos índices de  $ET_0$  do município de Cocal, foram comparados seis métodos indiretos com o método de Penman-Monteith, sendo esse último considerado como método padrão.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A evapotranspiração é um importante meio de consumo de água nos ecossistemas e reflete a situação das mudanças climáticas, além de fornecer um panorama global do ciclo hidrológico (Jiao et al., 2018; Guo et al., 2023). Esse indicador é essencial para o entendimento dos ciclos globais, locais e regionais de água e de energia uma vez que afeta o clima e sua compreensão é fundamental para a gestão dos recursos hídricos e combate à seca (MA et al., 2019), pois é um processo de transferência de água e energia da terra para a atmosfera que determina a intensidade do impacto do ciclo hidrológico sobre o sistema climático (Jin et al., 2023).

Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) definida de acordo com a cultura em estudo e entendida como “a taxa de evapotranspiração de uma superfície de referência, não inferior à água, que pode ser uma superfície hipotética de gramíneas com características específicas” (Teixeira, 2010, p. 1290). Por meio da  $ET_0$  ocorre a transferência de água entre o sistema solo-

planta e a atmosfera, em sentido ascendente (Nuñez, 2017).

Evapotranspiração real (ET)-é a evapotranspiração que considera todas as condições de uma dada superfície vegetada (Teixeira, 2010). Nuñez (2017, p. 46) define-a como “a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, sendo esta em termos gerais igual ou menor que a evapotranspiração potencial”. Matematicamente, a ET é o produto da  $ET_0$  pelo coeficiente da cultura ( $K_c$ ), que considera apenas as condições ideais para o desenvolvimento da cultura, excluindo, portanto, problemas reais como pragas, variação na fertilidade do solo e variações no fornecimento de água (Oliveira et al., 2021).

Evapotranspiração é o somatório da transpiração da vegetação, correspondendo a 60% da evapotranspiração total de toda a superfície do globo terrestre, e a evaporação não proveniente da vegetação. Esses autores lembram ainda que a condição de aridez, traduzida em déficit de pressão de vapor (VPD) e a umidade do solo (SM) podem promover impactos mais incisivos em face do estresse hídrico sobre a transpiração e/ou evaporação. Hayat et al. (2020) complementam os fatores que modificam o ciclo hidrológico, especialmente a transpiração e o crescimento dos seres vivos vegetais, como a temperatura do ar, a radiação de ondas curtas, os pulsos de chuvas meteóricas e o conteúdo de água no solo. Em áreas irrigadas, Teixeira (2010) ressalta que a prática de cultivo e o tipo de sistema de irrigação são elementos que devem ser considerados no processo de evapotranspiração de áreas agrícolas.

## METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida a partir dos dados meteorológicos diários de uma série de 27 anos de observações, abrangendo janeiro de 1990 a dezembro de 2017, realizados na estação meteorológica de Parnaíba-PI, que se localiza no norte do Estado do Piauí. Situa-se a 5 metros de altitude, tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 2° 54' 14" Sul, Longitude: 41° 46' 35" Oeste.

Conforme Tabony (1983), alguns fatores importantes não de ser levados em conta na escolha das estações vizinhas: Cada parâmetro meteorológico deve ser estimado separadamente; As estações vizinhas devem ser selecionadas de acordo com a correlação total ( $r$ ) com a estação teste, ou seja, terem características climáticas semelhantes na qual sejam influenciada pelos mesmos fenômenos meteorológicos.

Segundo a classificação de Köppen (2014), o município de Cocal do Piauí apresenta o clima As - quente e úmido com chuvas de verão/outono que ocorrem no norte do Estado, como resultado dos deslocamentos sazonais da Convergência Intertropical (CIT), sob a forma de massa de ar convectiva. A estação chuvosa dessa região estende-se de janeiro a maio, com os

meses fevereiro/março/abril formando o trimestre mais chuvoso e agosto/setembro/outubro o trimestre mais seco. Durante a estação chuvosa, a região recebe uma quantidade significativa de precipitação, com médias anuais variando entre 800 mm e 1.000 mm. Os meses mais chuvosos são geralmente março e abril. Durante esse período, as temperaturas são mais amenas, com médias que variam entre 24°C e 32°C.

Os dados utilizados para o cálculo da evapotranspiração de referência por meio de sete métodos indiretos, nas escalas de tempo diária e mensal, tomando como estimativa padrão o método de Penman-Monteith. Os demais métodos utilizados foram: Thornthwaite, Hargreaves-Samani, Andrade Júnior, Makkink, Radiação Solar e Camargo.

### Método Penman-Monteith

A FAO (Food and Agriculture Organization) das Nações Unidas, em 1998, divulgou o método de Penman-Monteith FAO-56 como o padrão para calcular os valores diários de evapotranspiração de referência. No entanto, esse método apresenta um desafio significativo, pois exige medidas precisas de várias variáveis meteorológicas, incluindo temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento (ALLEN et al., 1998; PEREIRA et al., 2002; POPOVA et al., 2006).

Foram quantificados valores diários das temperaturas máxima (T<sub>máx</sub>), média (T<sub>méd</sub>) e mínima (T<sub>mín</sub>), umidade relativa máxima do ar (UR<sub>máx</sub>), umidade relativa média do ar (UR<sub>méd</sub>), umidade relativa mínima do ar (UR<sub>mín</sub>), radiação solar (R<sub>s</sub>), precipitações e velocidade do vento a 2m (V<sub>v</sub>). A evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) foi calculada pelo método de Penman-Monteith-FAO (ET<sub>0</sub>PM), equação (01).

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta, 40(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta \gamma (1 + 0,34 U)} \quad (01)$$

Em que: R<sub>n</sub> e G têm as mesmas unidades (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>); T é a temperatura média diária (°C); U<sub>2</sub> é a velocidade média do vento medida a 2m (ms<sup>-1</sup>); 0,408 corresponde a 1/ γ sendo γ o calor latente de evaporação da água igual a 2,45MJ.kg<sup>-1</sup> a 20°C; 900 é um coeficiente gerado para a condição de uma cultura de referência (kJ<sup>-1</sup>.kg.Ko.d<sup>-1</sup>), que envolve os valores constantes da equação.

### Método de Hargreaves & Samani

O método de Hargreaves & Samani (PEREIRA et al., 1997) (ET<sub>0</sub>HS) foi utilizado, conforme a equação (02).

$$ET_0 = 0,023 \times Ra \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times (T_{med} + 17,8) \quad (2)$$

Onde que: ET<sub>0</sub> é a evapotranspiração de referência (mm.dia<sup>-1</sup>), Ra é a radiação solar no

topo da atmosfera, expressa em equivalente de evaporação ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ), que varia com o mês e a latitude do local e  $T_{\text{máx}}$ ,  $T_{\text{min}}$  e  $T_{\text{méd}}$  são as temperaturas máxima, mínima e média do ar, respectivamente ( $^{\circ}\text{C}$ ). em que:  $ET_o$  é a evapotranspiração de referência ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ),  $R_a$  é a radiação solar no topo da atmosfera, expressa em equivalente de evaporação ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ), que varia com o mês e a latitude do local e  $T_{\text{máx}}$ ,  $T_{\text{min}}$  e  $T_{\text{méd}}$  são as temperaturas máxima, mínima e média do ar, respectivamente ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### Método de Camargo

Realizou-se também a estimativa da  $ET_o$  pelo método de Camargo (1971) conforme a equação (03). Na década de 70, Camargo (1971) desenvolveu um novo método para estimar a evapotranspiração, baseado nos resultados obtidos pelo método de Thornthwaite. Esse método proposto por Camargo é mais simples e apresenta eficiência semelhante ao método de Thornthwaite. A metodologia de Camargo utiliza apenas dados de temperatura média do ar e radiação solar extraterrestre, sendo que a última variável é calculada pela equação, que requer apenas a latitude local como entrada.

$$ET_o = F \times Q_o \times T \quad (3)$$

Em que:  $F$  é um fator de ajuste em função da temperatura média local,  $Q_o$  é a radiação extraterrestre diária em  $\text{mm.dia}^{-1}$  e  $T$  temperatura média diária em  $^{\circ}\text{C}$ .

### Método de Radiação Solar

O método apresentado por Doorenbos e Pruitt (1984) utiliza a radiação solar como base para estimar os valores de evapotranspiração. De acordo com Jensen et al. (1990), esse método é uma adaptação do método de Makkink (1957), originalmente desenvolvido para as condições de umidade na Holanda. Os autores também recomendam que esse método seja utilizado em vez do método de Penman quando medidas de velocidade do vento e umidade relativa não estiverem disponíveis. A equação (4) descreve como estimar os valores de evapotranspiração usando esse método.

$$ET_o = a + b \times (W \times R_s) \quad (4)$$

Em que:  $a$  e  $b$  são coeficientes por Frevert et al. (1983) e  $W$  é o fator de ponderação.

### Método de Thornthwaite

O Método de Thornthwaite foi proposto por THORNTHWAITE (1948) para estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) mensal de um gramado (posto meteoro lógico) como um elemento climatológico, visando a classificação climática. Nesse contexto, ETP é tida como

igual à "chuva ideal" para que uma região não apresente nem excesso nem deficiência hídrica durante o ano. Esse método é calculado pela equação (5).

$$ET_p = 16 \left(10 \frac{T_n}{I}\right)^a \quad (5)$$

Em que:  $ET_o$  (TW): evapotranspiração de referência estimada pelo método de Thornthwaite ( $\text{mm. mês}^{-1}$ );  $T_n$ : temperatura média mensal ( $^{\circ}\text{C}$ );  $a$ : expoente função do índice anual  $I$ ;  $I$ : índice anual, que corresponde ao somatório dos 12 índices mensais.

### Método de Makkink

O método desenvolvido por Makkink (1957) na Holanda é amplamente utilizado no oeste europeu. Este método, baseado no método de Penman, utiliza dados de radiação solar global para estimar a evapotranspiração. Sua popularidade se deve à sua eficácia e à disponibilidade de dados de radiação solar global em diversas estações meteorológicas na região. Este método é definido pela equação (6).

$$ET_o \text{ (MK)} = 0,61 \cdot W \cdot R_{s(d)} \quad (6)$$

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (7)$$

Em que:  $ET_o$  (MK): evapotranspiração de referência estimada pelo método de Makkink ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );  $R_{s(d)}$ : radiação solar incidente ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );  $W$ : fator de ponderação;  $\Delta$ : declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura;  $\gamma$ : constante psicométrica.

### Método de Andrade Júnior et al. (2001)

O método de Andrade Júnior para estimativa da evapotranspiração refere-se a uma abordagem empírica, utilizada para calcular a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) em uma determinada região, foi desenvolvido a partir de correlações entre  $ET_o$  estimada pelo método de Penman modificado pela FAO.

$$ET_o = 0,180T - 2,315UR + 2,281\Delta s \quad (8)$$

Onde  $T$  é a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  $UR$  a umidade relativa média do ar (décimos) e  $\Delta s$  o déficit de saturação de vapor d'água ( $\text{mmHg}$ ).

### Mecanismo de análise de dados

Através do software Microsoft Excel 2023®, foram realizados cálculos para estimar a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO ( $ET_{oPM}$ ), assim como por outros métodos. Em seguida, os valores diários de  $ET_o$  obtidos pelos métodos testados foram comparados aos valores de  $ET_o$  calculados pelo método padrão. Para essa análise comparativa, utilizou-se uma regressão linear para determinar os coeficientes de determinação

(R<sup>2</sup>) correspondentes, buscando interpretar quais modelos que melhor se adequam ao método padrão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de evapotranspiração (ET) foram obtidos por meio da aplicação de diferentes modelos (Thorthwaite, Hargreaves- Samani, Camargo, Makkink, Radiação solar, Andrade Júnior e Penman-Monteith-FAO), que foram utilizados no presente estudo. Essas médias foram calculadas utilizando os valores diários de ET no período de 1990 a 2017, e os resultados foram apresentados na Tabela 01.

**Tabela 01:** Valores médios de ETo mensais estimados pelos métodos de Penman (1948), Hargreaves & Samani (1985), Camargo (1971) e Thornthwaite, Makkink, Radiação Solar (FAO-24) e Andrade Júnior et al. (2001) para o município de Cocal-PI.

| Meses      | Penman-Monteith | Thornthwaite    | Hargreaves – Samani | Camargo         | Makkink         | Radiação solar (FAO-24) | Andrade Júnior et al. (2001) |
|------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|------------------------------|
| Jan        | 97,178          | 155,936         | 120,103             | 145,987         | 100,364         | 151,178                 | 149,518                      |
| Fev        | 87,683          | 133,419         | 111,423             | 132,526         | 91,996          | 138,501                 | 126,081                      |
| Mar        | 86,967          | 138,005         | 118,759             | 138,052         | 99,869          | 150,458                 | 123,589                      |
| Abr        | 86,032          | 132,698         | 110,581             | 130,738         | 91,285          | 137,817                 | 119,602                      |
| Mai        | 85,665          | 134,736         | 108,493             | 125,174         | 87,314          | 132,224                 | 125,966                      |
| Jun        | 87,469          | 123, 466        | 100,821             | 113,919         | 80,047          | 121,494                 | 124,853                      |
| Jul        | 90,985          | 123,507         | 108,244             | 117,731         | 83,171          | 126,205                 | 133,528                      |
| Ago        | 99,728          | 130,913         | 118,487             | 127,962         | 89,820          | 135,863                 | 152,497                      |
| Set        | 102,270         | 136,529         | 120,270             | 135,409         | 94,236          | 148,036                 | 158,201                      |
| Out        | 106,114         | 153,785         | 127,263             | 146,422         | 101,916         | 153,432                 | 164,987                      |
| Nov        | 104,895         | 151,481         | 119,007             | 141,278         | 97,127          | 146,302                 | 160,582                      |
| Dez        | 102,906         | 160,305         | 121,749             | 146,075         | 100,931         | 152,001                 | 161,208                      |
| Anual (mm) | <b>1138,149</b> | <b>1674,438</b> | <b>1385,586</b>     | <b>1719,926</b> | <b>1118,112</b> | <b>1687,630</b>         | <b>1700,834</b>              |

Fonte: Própria (2023)

Na referida Tabela 01, é possível visualizar uma comparação entre as estimativas de Evapotranspiração de Referência (ETo) obtidas pelo método de Penman em relação aos métodos de Thorthwaite, Hargreaves- Samani, Camargo, Makkink, Radiação solar e Andrade Júnior para o município de Cocal-PI.

Com base nessa análise, foi observado que as estimativas de evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani e Makkink apresentaram menores valores de ETo durante o ano. No entanto, o método de Penman demonstrou uma menor variação ao longo do tempo, exibindo dados mais estáveis em comparação aos outros métodos analisados.

Observa-se ainda, que houve maiores valores de evapotranspiração no período de julho a novembro que corresponde ao período mais seco do município, o pico máximo médio de evapotranspiração ocorreu no mês de outubro (164,987 mm mês<sup>-1</sup>) pelo método de Andrade

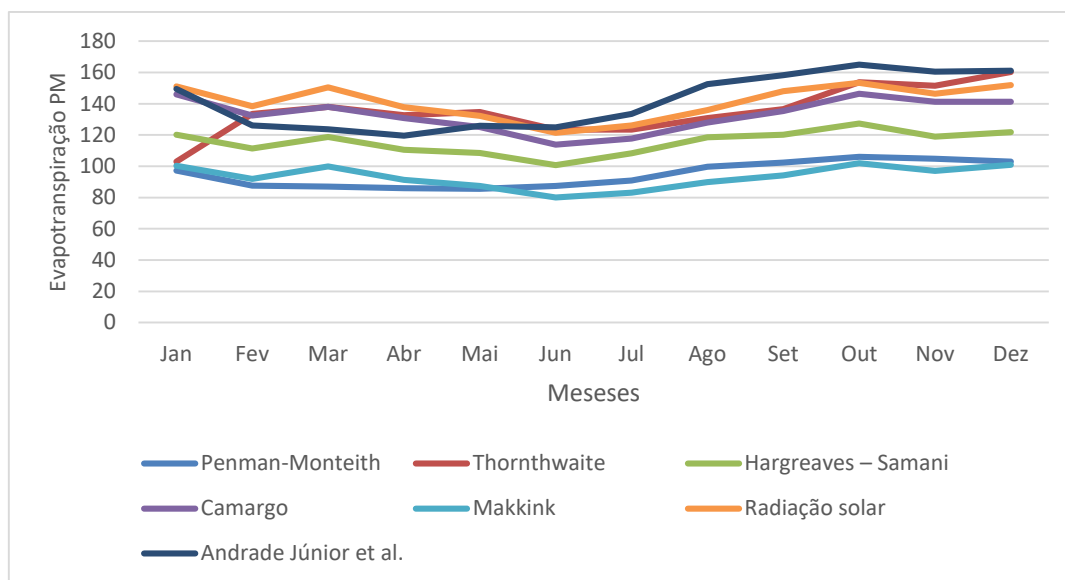
Júnior et al. (2001) e ( $153,432 \text{ mm.mês}^{-1}$ ) pelo método de Radiação solar, respectivamente (entre menores valores de evapotranspiração ocorreu nos períodos de Janeiro a junho, que corresponde ao período de maior índice pluviométrico da região.

Em trabalho realizado por Sentelhas et al. (2010), para doze localidades no sul de Ontário, Canadá, estudando métodos que utilizam, basicamente, somente dados de temperaturas, como Thorthwaite, Hargreaves- Samani, e o método padrão Penman-Monteith, que utiliza apenas temperaturas máximas e mínimas (ALLEN et al. 1998), observou-se que os métodos Thorthwaite, Hargreaves- Samani, após alguns ajustes, foram as melhores opções para estimar a  $ET_0$ . Trabalhos desta natureza evidenciam que a calibração de alguns parâmetros dos métodos pode melhorá-los consideravelmente, para a estimativa da  $ET_0$ . Semelhantemente, aplicando-se o método Penman-Monteith e utilizando-se apenas temperaturas máximas e mínimas, os trabalhos desenvolvidos por Jabloun e Sahli (2008), na Tunísia, e Silva et al. (2008), em Lavras (MG), mostraram a viabilidade deste método para os locais estudados, quando faltam dados para entrada ao método Penman-Monteith.

Sentelhas et al. (2008) aplicaram o método Penman-Monteith no desenvolvimento do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite & Mather (1955), para todo o Brasil, considerando o Penman-Monteith o mais representativo para a estimativa da demanda de evapotranspiração ( $ET_p$ ). O mesmo procedimento foi utilizado por Carvalho et al. (2008), no zoneamento ecológico-econômico, para o Estado de Minas Gerais, destacando que os parâmetros geoestatísticos indicaram melhor qualidade na interpolação dos resultados obtidos com a estimativa da  $ET_p$  pelo método Penman-Monteith, quando comparado ao cálculo da  $ET_p$ , pelo método Thorthwaite.

A partir dos dados da Tabela 01, foi construído um gráfico de comparação da  $ET_0$  pelo método Penman com os demais métodos como mostra a Figura 01.

**Figura 01:** -Variação média mensal da Evapotranspiração de Referência entre os métodos de estimativa empírico, para o município de Cocal-PI.

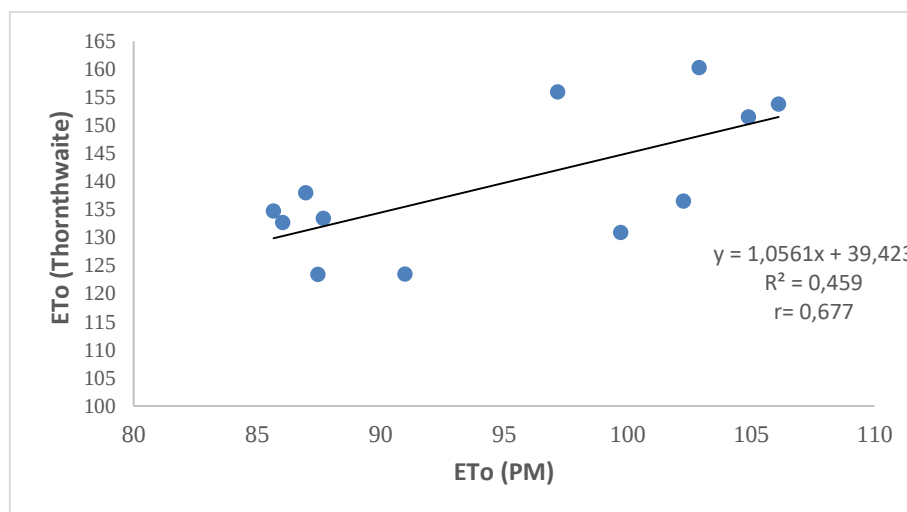


Fonte: Própria (2023)

Assim é possível observar que nos períodos relativamente mais secos (julho a novembro), o método Andrade Júnior et al. (2001) superestima a evapotranspiração em relação aos outros métodos avaliados. Já no período de maior pluviosidade (janeiro a junho), apenas os métodos de Camargo, Radiação solar e Thornthwaite superestimaram o método de Andrade Júnior. Ainda na Figura 01 verifica-se que o método do Penman-Monteith apresentou menores valores ao longo de todo o ano, isso pode estar relacionado a quantidade de variáveis que o modelo utiliza.

Com base nos dados foi realizada uma análise de regressão para entender qual correlação entre os métodos de evapotranspiração estudados comparado com o Penman-Monteith (Padrão). Foi utilizada a equação linear simples do tipo  $Y = aX$  (sendo "a" o coeficiente angular) para comparar os valores estimados pela equação de ETo (Penman-Monteith) e as demais métodos avaliados. A Figura 02 demonstra a correlação entre o método de Penman-Monteith e Thornthwaite para a estimativa da evapotranspiração de referência no município de Cocal-PI

**Figura 02:** Correlação da evapotranspiração de referência entre os métodos Thornthwaite e Penman-Monteith em Cocal-PI



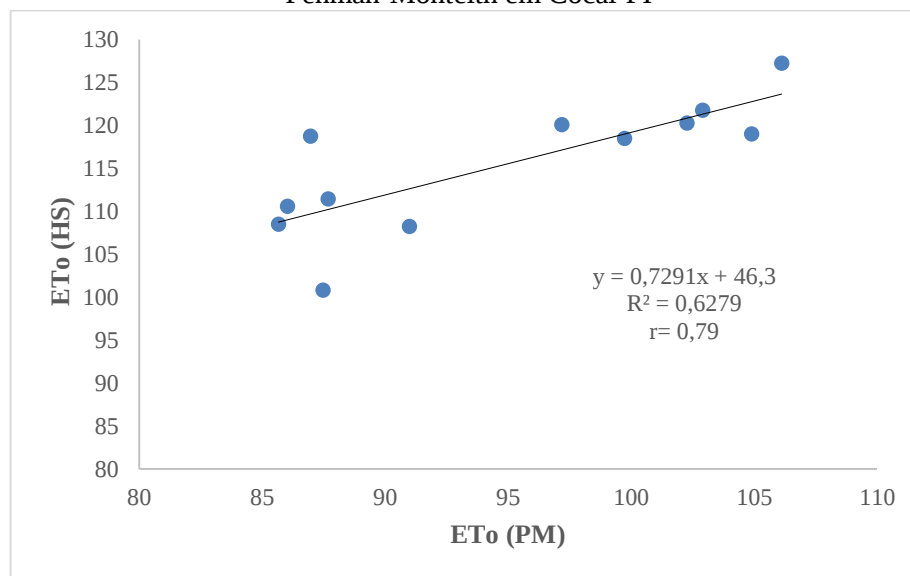
Observa-se na figura a cima que analisando a ETo entre os métodos de Thornthwaite e Penman-Monteith no município de Cocal, há um coeficiente de correlação ( $r$ ) de 0,677, indicando uma relação moderada. Isso significa que existe uma associação positiva entre os dados meteorológicos e a variável analisada, porém não é uma relação forte.

De acordo com o estudo de Ongaratto e Bortolin (2021), a análise comparativa do método de Thornthwaite com evapotranspiração de referência em São José dos Ausentes, Rio Grande do Sul, aponta um desempenho insatisfatório do método de Thornthwaite. O estudo classifica o desempenho do método como "sofrível" na escala mensal. Além disso, o método de Thornthwaite apresenta tendência a mais erros nos meses mais secos e menos erros nos meses chuvosos. Isso indica que o método pode ser menos preciso em períodos de maior variabilidade climática.

Logo fica evidente que esse método diante das situações climáticas e meteorológicas o método de Thornthwaite se caracteriza como insuficiente para a composição meteorológica no município de Cocal-Piauí, é válido destacar que o método de Thornthwaite é calculado mensalmente, o que pode limitar sua precisão para tomadas de decisão em curto prazo. Portanto, embora seja útil para classificar o clima e estimar a evapotranspiração potencial mensal, pode não ser a melhor opção para análises de períodos de maior variabilidade climática.

Na Figura 3, observa-se a correlação entre o método de Hargreaves e Samani, com o Penman, a mesma revelou um coeficiente de correlação ( $r$ ) de 0,79, indicando que há uma relação moderada entre os dados meteorológicos. Isso significa que, embora exista uma associação entre os dados meteorológicos e a variável analisada, outros fatores podem estar contribuindo para as variações observadas. Portanto, é necessário considerar outros aspectos e variáveis para uma compreensão mais completa e precisa dos resultados obtido. Verifica-se ainda um coeficiente de determinação moderado de 0,62.

**Figura 03:-** Correlação da evapotranspiração de referência entre os métodos Hargreaves & Samani e Penman-Monteith em Cocal-PI

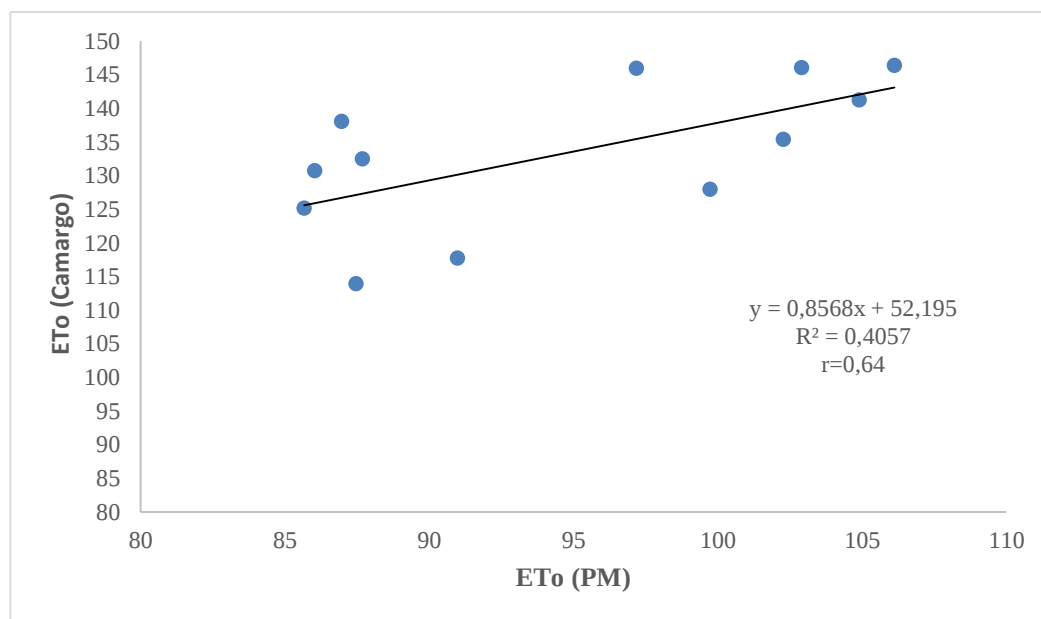


**Fonte:** Própria (2023)

De acordo com Reis e Garcia (2007) em seu estudo na região Sul do Estado do Espírito Santo, trabalharam a comparação entre o método de Hargreaves e Samani e o método de Penman-Monteith-FAO, mostrando que o método de Hargreaves e Samani apresentou uma superestimativa significativa da evapotranspiração de referência em comparação com o método padrão, ou seja, apresentou uma relação moderada como a análise realizada no cenário de Cocal.

O método de Camargo também foi comparado com o padrão em Cocal-Pi, nesse estudo, o método de Camargo apresentou um coeficiente de determinação ( $r$ ) de 0,64, o que indica um desempenho moderado na estimativa da evapotranspiração de referência. No entanto, é importante ressaltar que o desempenho do método de Camargo pode variar de acordo com as condições climáticas e geográficas do local de estudo, como se observa na Figura 04.

**Figura 04:** Correlação da evapotranspiração de referência entre os métodos Camargo e Penman-Monteith em Cocal-PI

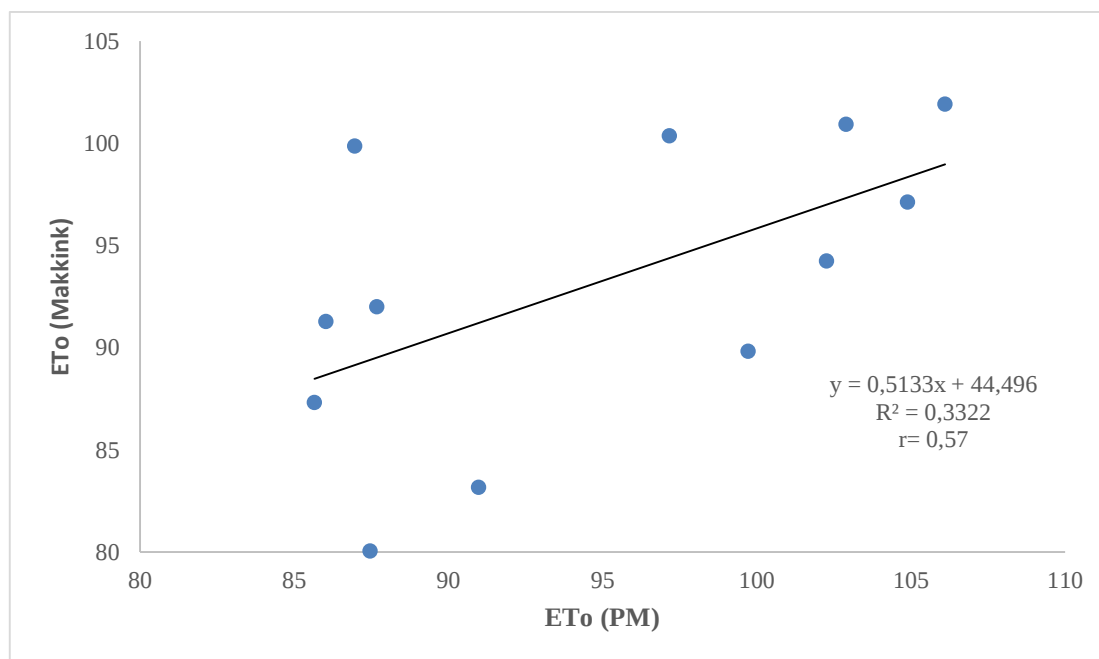


Fonte: Própria (2023)

Esses registros se comparam com Barros et al. (2009), esse que destacou que ao relacionar as medidas que foram obtidas em seu estudo através de lisímetros de pesagem para a região de Seropédica, Rio de Janeiro, com seis métodos de estimativa de ETo, concluiu-se que o método de Camargo não estimou satisfatoriamente a ETo para pequenos períodos de tempo, por isso recomendaram o método para escalas temporais maiores espaços de tempo.

Na Figura 05 verifica-se um coeficiente de correlação (r) de 0,57, comparando o método Makkink ao Penma, representando uma moderada correlação entres os modelos. O método Makkink é amplamente utilizado no oeste europeu, o que indica sua eficácia e confiabilidade, condições de temperaturas e radiação solar diferentes ao longo do ano. Isso demonstra que método Makkink, uma vez que existem diversas estações meteorológicas na região, fica evidente que esse método não se enquadra bem aos fatores do clima de Cocal. Observa-se ainda um coeficiente de determinação baixo de 0,33.

**Figura 05:** Correlação da evapotranspiração de referência entre os métodos Makkink e Penman-Monteith em Cocal-PI

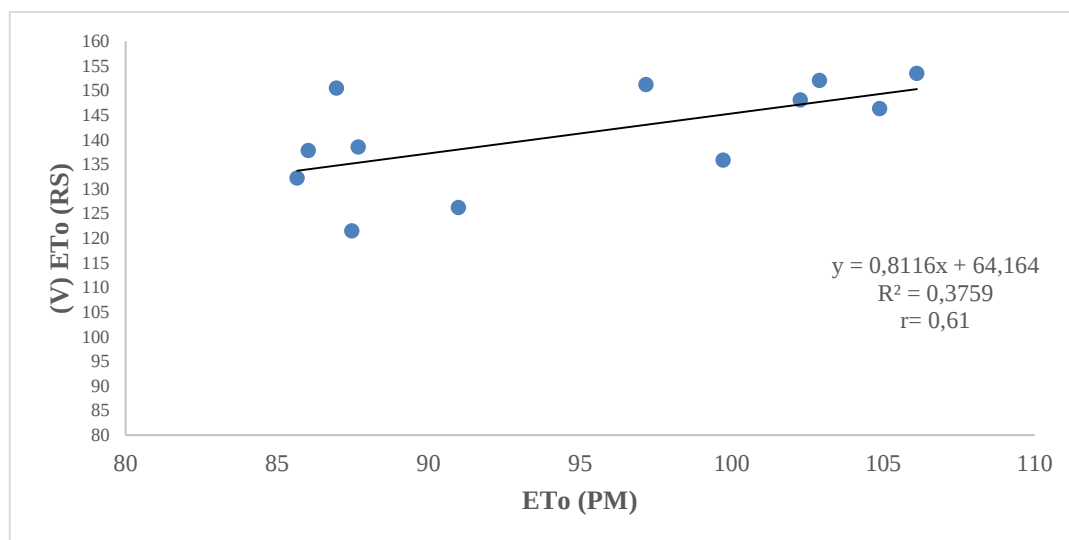


Fonte: Própria (2023)

Pilau et al. (2012) ao comparar métodos mais simples para determinação da ETo com a equação Penman-Monteith Padrão FAO para as regiões de Frederico Westphalen e Palmeira das Missões no estado do Rio Grande do Sul em escalas de 10, 15 e 30 dias, chegou à conclusão que o método de Makkink foi o mais adequado. Visto que Cocal apresenta fatores climáticos diferentes do da região do estudo de Piauí e o valor do coeficiente de correlação ( $r$ ), esse que se apresentou distante do método base, evidenciando que método não é eficaz para analisar os dados de evapotranspiração da cidade de Cocal.

Em comparação ao método padrão, com um coeficiente de correlação ( $r$ ) de 0,61, o método da radiação solar apresenta uma correlação moderada. Isso indica que o método da radiação solar pode fornecer uma estimativa razoável da evapotranspiração na região de Cocal, mas pode haver uma margem de erro maior em relação ao método padrão, como mostra a Figura 06.

**Figura 06-** Correlação da evapotranspiração de referência entre os métodos Radiação Solar e Penman-Monteith em Cocal-PI

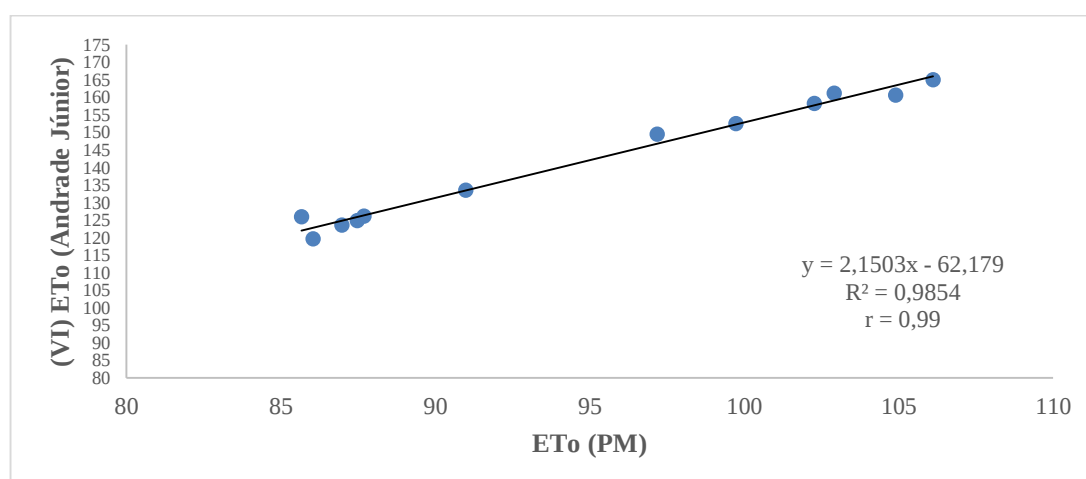


Fonte: Própria (2023)

O método da radiação solar é uma técnica amplamente utilizada na estimativa da evapotranspiração em diversas regiões do mundo. Esse método se baseia na relação entre a radiação solar incidente e a evapotranspiração, que é influenciada por diversos fatores, como a umidade relativa do ar, a temperatura e a velocidade do vento.

Na Figura 07, observa-se a correlação entre o método de Andrade e Junior e o Penman Monteith. Verifica-se uma correlação de 0,99, se mostrando eficiente e confiável para a condições climáticas de Cocal-PI. O mesmo ainda apresenta um coeficiente de determinação de 0,98 na qual o modelo matemático aplicado consegue explicar 98% da variabilidade dos dados.

**Figura 07:** Correlação da evapotranspiração de referência entre os métodos Andrade Júnior e Penman-Monteith em Cocal-PI



Essa alta correlação indica que o método de Andrade e Junior é capaz de fornecer uma estimativa mais precisa possível da evapotranspiração na região de Cocal. O método de Andrade e Junior considera uma série de fatores, como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, para calcular a evapotranspiração. Essa abordagem abrangente permite uma estimativa mais precisa e confiável da evapotranspiração em comparação ao método padrão em Cocal, Piauí.

Uma das principais vantagens do método de Andrade e Junior é sua capacidade de considerar múltiplos fatores ambientais que influenciam a evapotranspiração. Por exemplo, a temperatura e a umidade relativa do ar afetam a taxa de evaporação, enquanto a radiação solar e a velocidade do vento influenciam a taxa de transpiração das plantas.

De acordo com as figuras a demonstração em forma gráfica, os resultados se apresentam dispersos em relação às retas, indicando seu distanciamento do método padrão, com exceção do método de Andrade Júnior, que é a equação que mais se alinha a essa reta.

Com base na utilização de diferentes métodos indiretos de estimativa de evapotranspiração e comparação com o método de referência Penman-Monteith, definido pela FAO, e considerando as condições climáticas da área de estudo, pode-se chegar às seguintes conclusões: Entre todos os métodos analisados, o método de Andrade Júnior et al. (2001) foi o que apresentou as melhores estimativas da evapotranspiração de referência nas escalas mensais.

Na impossibilidade do uso do método de referência, dada a falta de algumas variáveis de entrada, os métodos mais recomendados para a região de estudo são o de Andrade Júnior e o de Hargreaves – Samani, que obtiveram desempenho classificado como “ótimo” e “muito bom”.

Os métodos com os piores desempenhos, e por isso a sua utilização não é recomendada para o município de estudo, foram os de Radiação Solar, Camargo e Makkink. Essa análise concorda com o estudo de Souza (2009) que evidenciou que para as condições de Rio Branco (AC), o desempenho do método de Camargo também não foi bom, sendo classificado como péssimo.

## CONCLUSÕES

Nas condições climáticas de Cocal-PI, os métodos de Andrade Júnior e de Hargreaves – Samani foram os que melhor estimaram a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) em comparação ao padrão Penman-Monteith-FAO, no caso do método de Andrade Júnior por levar em consideração um maior número de variáveis do que o método Hargreaves – Samani, o que

torna esse método mais preciso e indicado. Permitindo a obtenção de informações precisas sobre a  $ET_0$ , essencial para pesquisadores, produtores e técnicos, pois permite aplicar estratégias adequadas em diferentes culturas irrigadas.

## REFERÊNCIAS

DE ANDRADE JUNIOR, Aderson Soares et al. **Avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência no estado do Piauí**. Agrometeoros, v. 25, n. 1, 2018.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SILVA, A.A.G., SENTELHAS, P.C. **Modelo de estimativa da evapotranspiração de referência para Parnaíba, PI**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., Fortaleza, 2001. Anais... Fortaleza: Sociedade Brasileira de Aagrometrorologia/ UFC, 2001. v. 2, p. 567-568.

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, abr/jun. 2009.

CAMARGO, A. P. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. 3a.ed., Campinas, IAC. 24 p. 1971. (Bol.116).

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

DANTAS, G. F.; OLIVEIRA, V. M. R.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; SANTOS, M. G.; FARIA, R. T. **Desempenho de métodos na estimativa de evapotranspiração de referência para o estado da Paraíba, Brasil**. Irriga, v. 21, n. 3, p. 481-490, 2016.

FALALAKIS, G.; GERMITZI, A. **A simple methord for water balance estimation based on the empirical method and remotely sensed evapotranspirationestimates**. Journal ofHydroinformatics, v. 22, n. 2, p. 440-451, 2020

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. **Reference crop evapotranspiration from teperature**. Applied Engineering Agricuture, v.1, n.2, p.96-99, 1985.

HAYAT, M.; et al. A multiple-temporal scale analysis of biophysical control of sap flow in Salix psammophila growing in a semiarid shrubland ecosystem of northwest China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 288, p. 107985, 2020.

GUO, F.; et al. Estimation of daily evapotranspiration in gully area scrub ecosystems on Loess Plateau of China based on multisource observation data. **Ecological Indicators**, v. 154, p. 110671, 2023.

JIN, Z.; et al. Weakening amplification of grassland greening to transpiration fraction of evapotranspiration over the Tibetan Plateau during 2001-2020. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 341, p. 109661, 2023.

MA, N.; et al. Complementary-relationship-based modeling of terrestrial evapotranspiration

across China during 1982–2012: Validations and spatiotemporal analyses. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 124, n. 8, p. 4326-4351, 2019.

NUÑEZ, D. N. C. **Determinação da evapotranspiração com aplicação do algoritmo SAFER em imagens LANDSAT na escala de microbacia**. 2017.

JIAO, L.; et al. Evapotranspiration partitioning and its implications for plant water use strategy: Evidence from a black locust plantation in the semi-arid Loess Plateau, China. **Forest ecology and management**, v. 424, p. 428-438, 2018.

OLIVEIRA, M. R. et al. Os Impactos Ambientais do Setor Sucroenergético e e Uso de Indicadores de Sustentabilidade. **RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 2, n. 52, 2023.

ONGARATTO, J.M. & BORTOLIN, T.A. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em São José dos Ausentes**, RS. Eng Sanit Ambient, 26(5), 979-987. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522021124467>. 2021.

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, London, v. 193, p. 120–145, Apr. 1948.

PILAU, F.G.; BATTISTI, R.; SOMAVILLA, L.; RIGHI, E.V. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência nas localidades de Frederico Westphalen e Palmeira das Missões, RS. **Ciência Rural**, v. 42, n. 2, p. 283-290, 2012.

REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. **Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do espírito santo no período seco**. IDÉSIA, v.25, n.3, p.75-84, 2007.

SILVA, A. O. et al. Evapotranspiração de referência para dimensionamento de sistemas de irrigação em Petrolina, PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 43., 2014, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBEA, 2014. p. 1-8. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a280>>. Acesso em: 25 out. 2023.

TEIXEIRA, A. H. de C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, v. 2, n. 5, p. 1287-1319, 2010.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia Recife**: 2006. Versão Digital, 443 p.

VICENTE, M. R; LEITE, C. V.; SANTOS, R. M.; LUCAS, P.; DIAS, S. H. B.; SANTOS, J. S. Evapotranspiração de referência utilizando o método FAO Penman-Monteith com dados faltantes. **Global Science And Technology**, v.11, n. 3, p. 217-228, 2018.

LIMA, K. S. **Compreendendo as concepções de avaliação de professores de física através da teoria dos construtos pessoais**. Recife, 2008. 163 p. Dissertação (Ensino das Ciências). Departamento de Educação, UFRPE, 2008.

SALES, E. S.; MONTEIRO, I. G. S.; LIMA, K. S. Formação de professor, diretrizes da Educação brasileira para o ensino de Química e Avaliação: saberes docentes essenciais à

formação docente. In: VII Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade, 2013, São Cristóvão - SE. **Anais** do Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade, 2013.

NARDI, R.; CORTELLA, B. S. C. Formação de professores de Física: das intenções legais ao discurso dos formadores. In: XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2005, Rio de Janeiro. **Caderno de Resumos**. São Paulo - SP: Sociedade Brasileira de Física, v. 1. p. 175-175, 2005.

