

# **PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS**

ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES

ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Trabalho Final de Curso II

**Ian Borges de Andrade Afonso Artiaga**

**Julliard Lemos Pereira Filho**

CALCULADORA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA À PARTIR DE DADOS  
BRASILEIROS

Trabalho Final de Curso II como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

**BANCA EXAMINADORA:**

Orientador – Prof. Dr. Cássio Hideki Fujisawa – POLI-PUC Goiás.

Coorientador – Prof. Dr. Bruno Quirino de Oliveira – IFG-Trindade.

Prof. Dr. Antônio Marcos de Melo Medeiros – POLI-PUC Goiás.

Goiânia, 13 de dezembro de 2024.

# Calculadora da Evapotranspiração de Referência à Partir de Dados Brasileiros

Ian Borges de Andrade Afonso  
Artiaga  
Pontifícia Universidade  
Católica de Goiás  
Goiânia, GO, Brasil

Julliard Lemos Pereira Filho  
Pontifícia Universidade  
Católica de Goiás  
Goiânia, GO, Brasil

Prof. Dr. Cássio Hideki  
Fujisawa  
Pontifícia Universidade  
Católica de Goiás  
Goiânia, GO, Brasil

Prof. Dr. Bruno Quirino de Oliveira  
Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Goiânia, GO, Brasil

Prof. Dr. Antônio Marcos de Melo Medeiros  
Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Goiânia, GO, Brasil

**Abstract** - The Penman-Monteith method is the standard for calculating reference evapotranspiration, however, developing this equation required years of studies to meet the human need to improve agriculture by achieving rational irrigation. The objective of this work is to explain what it is and how the creation of equations to study evapotranspiration emerged, counting its evolution over time, with the aim of creating a ETo calculator powered by INMET data, such as precipitation, atmospheric pressure, global radiation, air temperature, relative humidity, and wind from the region. It serves the purpose of assisting users in a practical way to perform the calculation, serving as an auxiliary irrigation system.

**Keywords** – Penman-Monteith, reference evapotranspiration, agriculture, rational irrigation, ETo calculator, auxiliary irrigation system.

**Resumo** – O método Penman-Monteith é o padrão para calcular a evapotranspiração de referência, porém até desenvolver toda essa equação foi necessário anos de estudos para suprir a necessidade humana de melhorar a agricultura, obtendo uma irrigação racional. O objetivo do presente trabalho é explicar o que é e como surgiu a criação de equações para estudar a evapotranspiração, contando sua evolução ao longo do tempo, com o intuito de criar uma calculadora de ETo, alimentada com dados do INMET, sendo eles precipitação, pressão atmosférica, radiação global, temperatura do ar, umidade relativa e vento da região. Desempenhando uma função de facilitar para o usuário, de forma prática, para realização do cálculo de um sistema auxiliar de irrigação.

**Palavras-chave** – Penman-Monteith, evapotranspiração de referência, agricultura, irrigação racional, calculadora de ETo, sistema auxiliar de irrigação.

## I. INTRODUÇÃO

A quantidade de avanços tecnológicos ocasiona em uma crescente necessidade em antecipar eventos, buscando um controle incessante sobre o futuro, diretamente associado a ansiedade em relação ao inesperado. Esse desejo ligado diretamente a agricultura e recursos hídricos se manifesta para encontrar ferramentas que facilitem e garantem a sustentabilidade de cenários climáticos imprevisíveis.

A agricultura é uma das práticas mais antigas da humanidade e hoje é um dos pilares da economia, sendo a água indispensável para manter o bom desenvolvimento na produção de alimentos e plantas, visto que este setor é um dos que mais utilizam esse elemento nos seus processos. Entretanto, existe uma preocupação global acerca da escassez desse recurso devido à grande demanda para as atividades agrícolas, crescimento econômico e populacional, dessa forma, torna-se necessário o uso racional desse recurso [1]. Além disso, existem regiões no Brasil e no mundo onde a água é um fator limitante, as quais a técnica de irrigação é a solução mais adequada e crucial para garantir boas colheitas, mesmo durante períodos de seca.

A irrigação é uma técnica que consiste em levar qualquer tipo de recursos hídricos vindos de rios, lagos ou de outros reservatórios, para uma determinada área com finalidade de plantio. Essa prática ocorre normalmente em regiões áridas e semiáridas, onde a água se encontra em menor abundância, e está claramente relacionado ao tipo de cultura, extensão da área, características do solo, entre outros aspectos. Existem diferentes métodos de irrigação, como a aspersão, localizada na superfície, os quais podem ser selecionados de acordo com as características do solo, do clima e necessidades que cada cultura precisa. Essa técnica agrícola tem como objetivo potencializar a produtividade das plantações, disponibilizando água para regiões específicas do solo nos momentos necessários para o desenvolvimento das culturas de alimentos [2].

A evapotranspiração (ET) é um dos processos mais importantes no ciclo hidrológico, desempenhando um papel crucial na gestão sustentável dos recursos hídricos e na garantia da produtividade agrícola em face das crescentes demandas globais e mudanças climáticas [3], utilizando de cálculos da evapotranspiração, um parâmetro fundamental para estimar demandas hídricas de cultivo, nos permite prever a quantidade necessária de água de uma região para manter a saúde vegetal em diferentes condições ambientais.

Diante disso, para ampliar a eficiência do uso da água em sistemas de irrigação, torna-se necessário o conhecimento sobre a ET, fator fundamental no auxílio da aplicação e uso correto da quantidade próxima ou exata de

água para os plantios, potencializando ao máximo sua produção, evitando possíveis excessos que poderiam prejudicar o solo, assim, preservando o meio ambiente através da utilização correta dos recursos hídricos de forma sustentável e impactando diretamente na produtividade das culturas e na economia de recursos.

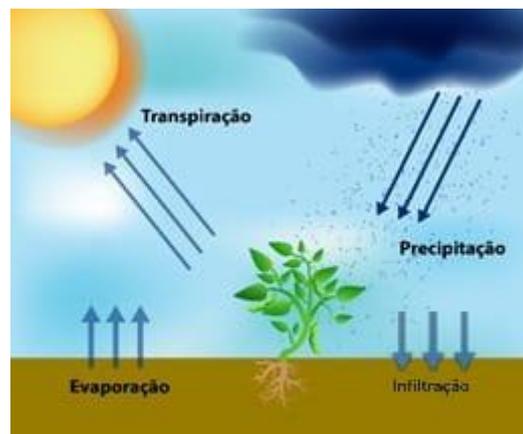
Aproveitando a ciência como uma importantíssima ferramenta para responder a ansiedade humana, frente à variabilidade climática e escassez de recursos, aplicamos o uso da equação de Penman-Monteith para realizar os cálculos necessários para toda essa predição para um maior manejo e controle ambiental de colheitas, relatam que a mesma é mais precisa quando utilizada em base horária, de forma diária. Quando utilizada proporciona estimativas precisas da ET [4].

Diante disso, mais especificamente no estado de Goiás, o setor agropecuário tem uma forte relevância para a economia, e um fator essencial é a irrigação dos diversos tipos de plantios. Este trabalho descreve a história e evolução dos cálculos da ET até que houvesse um padrão utilizado hoje em dia. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é desenvolver uma calculadora prática e dinâmica para a equação, de maneira mais acessível, tornando possível realizar essa conta no próprio computador, assim, criando um código para que o usuário escolha um dos dados de uma região desejada, obtendo sua resposta automaticamente abaixo no site.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A evaporação é definida como o processo de transferência de água para a atmosfera no estado de vapor, ocorrendo tanto pela evaporação de superfícies líquidas, úmidas ou pela transpiração das plantas, além de ser o primeiro componente da ET. Já a segunda parte é a transpiração, a qual corresponde como a absorção de água pelas raízes das plantas sendo transportada até as folhas pelos estômatos [5]. Sendo assim, o processo da ET pode ser descrito como a soma da evaporação da água e a transpiração das plantas, resultando na devolução do mesmo na forma de vapor à atmosfera [6], conforme Fig.1.

Dentro desse conceito, foram apresentados vários métodos para poder calcular a ET em ordem cronológica: Método de Thornthwaite (1948), método de Blaney-Cridle (1950), método de Hargreaves-Samani (1985) e o método de Penman-Monteith (1990).



**Figura 1.** Exemplificação do processo de evapotranspiração. [7]

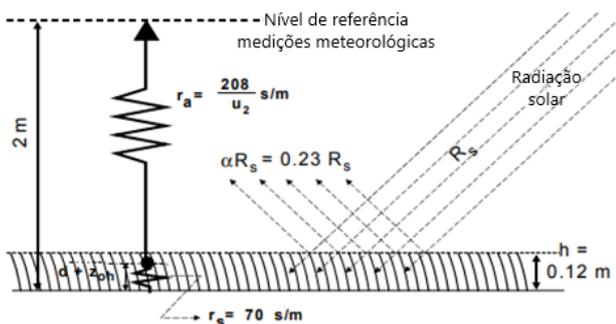
É possível alterar a ET por meio da cultura escolhida, observando que existem variações da duração do ciclo e época do cultivo, da arquitetura e características da folha, fora os outros elementos que já alteram nas formulações dos métodos. Durante o processo de um sistema de irrigação, buscando determinar a quantidade de água transferida pela ET, os principais fatores que podem sofrer mudança são o tipo do solo, planta e clima. As condições climáticas de uma região possuem maior interferência no resultado [6], pois dependendo da estação do ano e a dimensão da área, que deve ser totalmente coberta por vegetal, varia a demanda por água e energia solar na cultura, visto que a ET se utiliza da energia radiante que chega ao solo.

Antes da definição final como evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), o termo ET era um conceito teórico introduzido por Thornthwaite e Wilm (1944) e foram feitos trabalhos sobre ao final da década. Após isso, surge a ideia de evapotranspiração potencial (ET<sub>p</sub>), sendo caracterizada como a transferência de água do solo e plantas para a atmosfera, seguindo um padrão de condições, caracterizada por uma superfície natural extensa, idealmente saudável, em crescimento ativo, com a área completamente coberta de vegetação baixa, de tamanho uniforme, além do solo em ótimas condições de umidade e teor de água [6]. Em decorrência disso, Doorenbos e Pruitt promoveram o conceito de ET<sub>o</sub> como mudança do termo da ET<sub>p</sub>, onde, somente em 1990, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) promoveu uma reunião com especialistas para discutir alguns objetivos, dentre eles a nova denominação do método para estimar a ET e, assim, consagrando a definição de ET<sub>o</sub>.

O novo conceito da ET<sub>o</sub> é baseado em um gramado hipotético padronizado, no qual o solo também é todo coberto, em crescimento ativo, mantendo as condições ideais de desenvolvimento, onde o método de Penman-Monteith foi utilizado como o referencial padrão, sendo recomendado para testes na estimativa da ET<sub>o</sub> e agrado internacionalmente, devido aos bons resultados nas mais variáveis condições climáticas, além de sua regularidade técnica [6].

Para realizar os cálculos da cultura hipotética é utilizada uma altura de 0,12 m, resistência superficial de 70 s/m e albedo, uma medida adimensional que é a capacidade de uma superfície refletir a radiação solar, de 0,23. Se assemelhando a superfície extensa de uma grama uniforme,

utilizando como 2 metros o nível de medição meteorológica [3]. Fig. 2.



**Figura 2.** Imagem da cultura hipotética. [3]

#### A. Método de Thornthwaite (1948)

O método de Warren Thornthwaite foi uma das primeiras expressões de estimativa da ET<sub>p</sub>, testada em áreas de clima úmido nos Estados Unidos, um modelo simplificado, sendo necessário dados baseados na relação exponencial entre a temperatura média do ar mensal e a própria ET, além dos valores da latitude, e do fotoperíodo médio das áreas [8]. As equações (1) e (2) foram feitas considerando uma ET<sub>p</sub> para uma condição padronizada com duração de 30 dias e brilho solar de 12 horas no dia [9]:

$$ET_p = 16 \left( \frac{10T_i}{I} \right)^a, 0^\circ\text{C} \leq T_i \leq 26^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$ET_p = -415,85 + 32,24T_i - 0,43T_i^2, T_i > 26^\circ\text{C} \quad (2)$$

Onde:

**ET<sub>p</sub>**: Evapotranspiração potencial (mm/mês);

**T<sub>i</sub>**: Temperatura média mensal do ar (°C);

**I**: Índice térmico anual.

$$a = 6,75 * 10^{-7} * I^3 - 7,71 * 10^{-5} * I^2 + 1,792 * 10^{-2} * I + 0,49239 \quad (3)$$

Este expoente (3) é calculado em função do índice térmico imposto pelo clima local, determinado por:

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_i}{5} \right)^{1,514} \quad (4)$$

Onde:

**i**: Mês do ano (variando de 1 a 12).

Porém o método possui diversas limitações, tendo somente a temperatura como principal variável, não sendo utilizado em diferentes lugares com diferentes regiões climáticas e ventos.

#### B. Método de Blaney-Criddle (1950)

O método original de Blaney-Criddle foi bastante aplicado como estimativa da ET<sub>o</sub> em regiões de clima semiárido, buscando uma melhor definição a respeito dos efeitos climáticos nas demandas hídricas das culturas, utilizando os dados da ET mensal, junto ao produto da temperatura média por mês pela porcentagem mensal das horas anuais de luz solar [10]. Com o passar dos anos, sua equação foi modificada pela FAO, especificamente por Doorenbos e Pruitt [11], em 1977, com finalidade de aprimorar a estimativa do método para utilizar em climas diferentes, passando a considerar variáveis como a umidade do ar, velocidade do vento e insolação. A extensão mais recente da equação (5) de Blaney-Criddle modificada passou a ser definida como:

$$ET_o = a + b * f \quad (5)$$

Onde:

**ET<sub>o</sub>**: Evapotranspiração de referência (mm/mês);

**T**: Temperatura média mensal (°C);

**f**: Fator da equação de Blaney-Criddle.

O valor deste fator é definido pela expressão (6), enquanto (7) e (8) representam os coeficientes da equação linear que relaciona o fator da equação com a própria ET<sub>o</sub>, enquanto (9) representa um complemento de (8).

$$f = p * (0,46 * T + 8,13) \quad (6)$$

$$a = 0,0043 * UR_{min} - \left( \frac{n}{N} \right) - 1,41 \quad (7)$$

$$b = a_0 + a_1 * UR_{min} + a_2 * \frac{n}{N} + a_3 * U_2 + c \quad (8)$$

$$c = a_4 * \left( \frac{n}{N} \right) UR_{min} + a_5 * UR_{min} * U_2 \quad (9)$$

Onde:

**a<sub>0</sub>** = 0,81917;

**a<sub>1</sub>** = (- 0,0040922);

**a<sub>2</sub>** = 1,0705;

**a<sub>3</sub>** = 0,065649;

**a<sub>4</sub>** = (-0,0059684);

**a<sub>5</sub>** = (-0,0005967);

**p**: Porcentagem mensal das horas anuais de luz solar(%);

**UR<sub>min</sub>**: Umidade relativa mínima do ar (%);

**n**: Insolação (h);

**N**: Fotoperíodo (h);

$U_2$ : Velocidade do vento a 2m de altura (m/s).

### C. Método de Hargreaves-Samani (1985)

O método proposto por Hargreaves-Samani é uma opção de estimativa da ETo, recomendada para casos em que não há as variáveis climáticas requeridas pelos outros métodos, sendo necessário para sua equação (10) somente as temperaturas mínima, média e máxima do ar. Ela foi desenvolvida para condições de clima semiárido, utilizando a aplicação de análise de regressão de dados, resultando na seguinte expressão:

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

Onde:

**ETo**: Evapotranspiração de referência (mm/mês);

**T<sub>max</sub>**: Temperatura máxima do dia (°C);

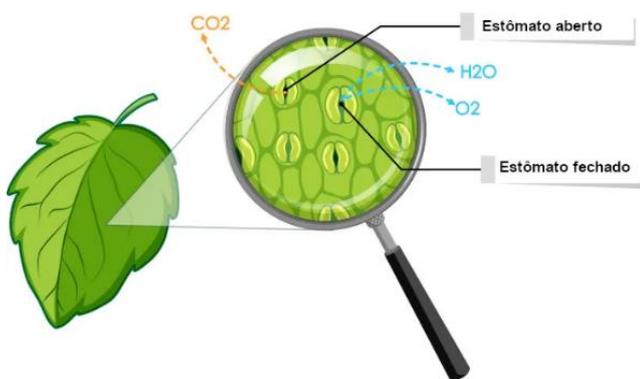
**T<sub>min</sub>**: Temperatura mínima do dia (°C);

**T<sub>med</sub>**: Temperatura média do dia (°C);

**R<sub>a</sub>**: Radiação solar extraterrestre M(mês)J(n° de dias)m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>.

### D. Método de Penman-Monteith (1998)

Em 1948 Howard Penman desenvolveu um modelo que combina a radiação solar, calor no solo, do vento e da umidade relativa como variáveis relevantes para esse cálculo. Porém em 1965, John Monteith expandiu esse modelo, aperfeiçoando ao adicionar a resistência estomática, o controle da perda de água por transpiração através da abertura e fechamento dos estômatos. Fig. 3. Além da resistência aerodinâmica, a influência do vento na movimentação do vapor de água.



**Figura 3.** Abertura e fechamento dos estômatos da planta. [12]

Se tornando em 1998 pela FAO o modelo padrão como ferramenta universal para calcular a demanda hídrica de culturas agrícolas em diferentes regiões.

Para calcular a ETo, a equação (11) de Penman-Monteith estima por meio de combinações de dois processos físicos envolvidos, sendo eles a disponibilidade

de energia e a resistência aerodinâmica. Esse primeiro fator, é a radiação líquida disponível na superfície, a principal fonte de energia para que a transferência de vapor de água da superfície para a atmosfera ocorra. Já no segundo, a evapotranspiração depende da resistência oferecida pelo ar ao movimento do vapor, sendo influenciada pela velocidade do vento e pela estabilidade da camada limite atmosférica.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (11)$$

Onde:

**ETo**: Evapotranspiração de referência. (mm/dia);

**Δ**: Declividade da curva da pressão de vapor de saturação: Relacionada à variação da pressão de vapor de saturação com a temperatura. (kPa/°C);

**Rn**: Radiação líquida na superfície: Quantidade de energia disponível para a evaporação. (MJ/m<sup>2</sup>/dia);

**G**: Fluxo de calor do solo: Quantidade de calor transferida entre o solo e a atmosfera. (MJ/m<sup>2</sup>/dia);

**γ**: Constante psicrométrica: Relacionada à capacidade do ar em reter vapor d'água. (kPa/°C);

**T**: Temperatura do ar: Influencia a pressão de vapor de saturação e a capacidade de retenção de vapor d'água pelo ar. (°C);

**u<sub>2</sub>**: Velocidade do vento: Influencia a transferência de vapor d'água entre a superfície e a atmosfera. (m/s);

**e<sub>s</sub>**: Pressão de vapor de saturação: Pressão máxima de vapor d'água que o ar pode conter a uma determinada temperatura. (kPa);

**e<sub>a</sub>**: Pressão de vapor real: Quantidade real de vapor d'água presente no ar. (kPa).

O método de Penman-Monteith otimiza o uso de água, auxiliando em tempos de escassez e evitando que se regue mais do que o necessário, evitando desperdício. Auxilia os agricultores a se ajustarem as mudanças climáticas causadas pelo aquecimento global. Se tornando especialmente necessária em regiões com recursos hídricos limitados, possibilitando o desenvolvimento de cronogramas de irrigação adaptados as condições climáticas em tempo real. Sendo assim, o principal objetivo de adicionar esse método no computador é facilitar todo o uso, oferecendo uma interface intuitiva e acessível, evitando os erros humanos ao otimizar o processo.

## III. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar toda a pesquisa e elaboração do projeto foi utilizado o site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) [13]. Para realização passo a passo é necessário acessar o banco de dados, registrando o e-mail para receber o arquivo final, selecionar o tipo de pontuação, dados de hora em hora, estação automática, data desejada, região do Centro-Oeste, todas as variáveis e ao final a cidade de Goiânia.

As variáveis utilizadas nos cálculos foram, precipitação, pressão atmosférica, radiação global, temperatura do ar, umidade relativa e vento da região. A data selecionada foi de 1° de janeiro até 31 de dezembro de 2023. Ao selecionar tudo é gerado um arquivo Zip compactado com um Excel dentro, com todos os dados, colocando todos dentro do aplicativo MySQL para gerenciar todas as linhas e colunas, para manipular da melhor forma possível.

Utilizando as bibliotecas: streamlit, responsável em gerar interações para visualização de dados; Mysql-connector-python, para integrar aplicativos do Python com o banco de dados MySQL; Pillow, utilizada para manipular imagens em Python; Pandas, manipulação e análise de dados Excel; Matplotlib, para visualizar dados e criar gráficos 2D e inteligência artificial; e Seaborn, com o foco em simplificar a criação de gráficos estatísticos por meio do Visual Studio Code, sendo possível registrar toda a entrada da equação de ETo para o site, data selecionada e gráficos obtidos.

Para realização da fórmula foi necessário converter todas as variáveis que não estavam no padrão da equação. Para Declividade da curva da pressão de vapor da saturação ( $\Delta$ ) foi necessário utilizar sua respectiva fórmula,

$$\Delta = \frac{4098 \text{ es}}{(T + 237.3)^2} \quad (12)$$

onde “es” é o mesmo da equação, pressão de vapor de saturação, representado por,

$$es = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27 T}{T + 237.3}\right) \quad (13)$$

e o valor de “T” sendo representado pela média da temperatura obtida em uma das colunas dos dados.

Para a radiação líquida na superfície (Rn) é necessário multiplicar a radiação global (Rs) obtida por 0.77 devido ao albedo possuir um valor típico de 0.23.

$$Rn = (1 - 0.23)Rs \quad (14)$$

Para o fluxo de calor do solo (G) o valor pode ser desprezado devido a vegetação na superfície. Assim:

$$G \approx 0 \quad (15)$$

Realizar a conversão da constante psicrométrica ( $\gamma$ ) é necessário colocar o dado de pressão atmosférica (Pa) na fórmula abaixo:

$$\gamma = 0.665 * 10^{-3} \text{ Pa} \quad (16)$$

Para velocidade do vento foi necessário pegar o dado diretamente da coluna na tabela.

Já para pressão de vapor real (ea) foi necessário calcular utilizando “es” e a coluna de umidade relativa (RH), representada dessa forma:

$$ea = es \frac{RH}{100} \quad (17)$$

#### IV. RESULTADOS

Ao realizar toda a programação, em Python, utilizando as conversões corretas acima, foi criado um site com o registro da equação de Penman-Monteith e a descrição de

cada variável. Logo abaixo há um print da tela do site gerado representado pela Fig. 4.

$$\frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \cdot \left(\frac{900}{T+273}\right) \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)}$$

Onde:

- ETo: Evapotranspiração de referência (mm/dia)
- $\Delta$ : Declividade da curva da pressão de vapor de saturação
- Rn: Radiação líquida na superfície
- G: Fluxo de calor do solo
- $\gamma$ : Constante psicrométrica
- T: Temperatura do ar (°C)
- u2: Velocidade do vento (m/s)
- es: Pressão de vapor de saturação (kPa)
- ea: Pressão de vapor real (kPa)

**Figura 4.** Print da tela inicial do site com a fórmula da ETo e sua descrição.

Assim é possível executar e realizar todo o cálculo de forma automática, tendo como entrada a opção de selecionar um dia qualquer do ano de 2023, como 17 de janeiro de 2023. Já o resultado obtido sai logo abaixo, representado na Fig. 5.

### Cálculo de ETo para Data Selecionada

Escolha uma data

2023/01/17

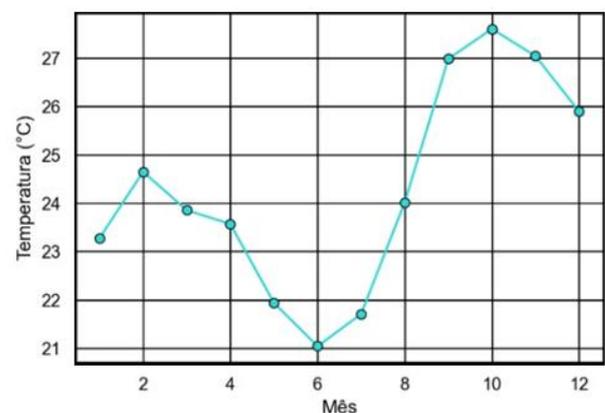
Calcular ETo

### Resultados para a data 17/01/2023

ETo (Evapotranspiração de referência): 2.39 mm/dia

**Figura 5.** Seletor de data e resultado da equação da ETo.

Ao final do site podemos ver diversos gráficos diferentes em que cada um, representado de cores diversas, possuem uma informação referente aos 12 meses do ano. Iniciando pela média da temperatura do ar, podendo observar uma queda brusca em junho, chegando em 21 graus celsius. Já em outubro a temperatura média chega quase nos 28 graus celsius. Fig. 6.



**Figura 6.** Média da temperatura do ar em 2023.

A próxima figura representa a umidade relativa do ar, chegando próximo de 80% no mês de janeiro e em agosto a uma queda brusca, estando abaixo de 50%, algo significativo ao realizar os cálculos de evapotranspiração. Fig. 7.

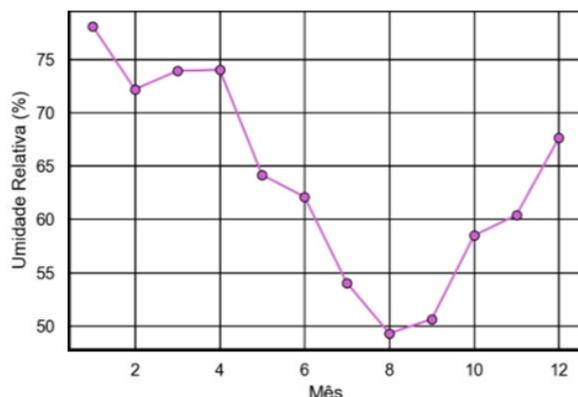


Figura 7. Média da umidade relativa do ar em 2023.

Para o próximo gráfico há uma representação da média da radiação global do ano, estando abaixo de 650 watt por metro quadrado nos meses de junho, julho e agosto, e acima de 850 watt por metro quadrado em novembro e dezembro. Fig. 8.

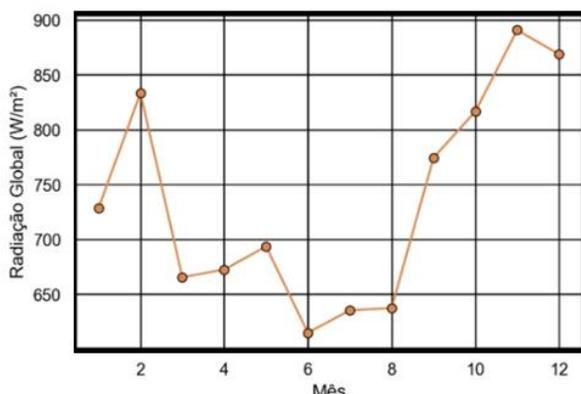


Figura 8. Média da radiação global em 2023.

Já o último gráfico representa a velocidade do vento do ano, onde há uma média entre 0,75 m/s e 0,90 m/s. Onde há um destaque de março abaixo de 0,70 m/s e setembro chegando próximo de 1m/s. Fig.9.

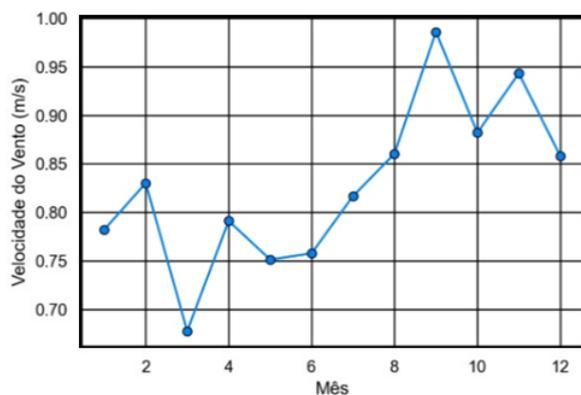


Figura 9. Média da velocidade do vento em 2023.

Com isso, vemos que é possível gerar um cálculo da ETo com as informações obtidas no site do INMET, podendo ser calculada com qualquer região do Brasil disponível no site. Além de, caso alguém possua uma estação própria, onde possa obter essas informações, se pode calcular também, utilizando de forma prática e efetiva.

Procuramos sites nacionais que possam calcular a ETo, porém não encontramos, se caso haja o interesse, existem outras formas de calcular, onde o usuário deve colocar os dados de forma manual. O principal deles é o aplicativo da própria FAO, onde se deve instalar e registrar as informações [14]. Existe também o site de uma empresa indiana, chamada Enviraj, em que se registra diretamente no site os dados.

## V. CONCLUSÃO

Conclui-se que a evapotranspiração é um processo estudado a anos, que busca cada vez mais desenvolver o ramo da agricultura, facilitando o cultivo e o desenvolvimento da planta, independente da região de plantio. O intuito era de suprir as demandas da população ao decorrer dos anos, sendo necessário um estudo para compreender melhor e aprimorar as técnicas, não só de plantio, mas também de estudo.

Diante disso, houve um desenvolvimento ao longo do tempo com diversas fórmulas, que buscaram todo conhecimento empírico para que pudessem colocar em prática seus avanços. Em que, cada cientista buscou melhorar de acordo com os recursos que tinham, gerando um enorme avanço até que pudesse haver um padrão de equação utilizada atualmente.

Assim, foi realizado por meio de dados disponíveis no INMET, um cálculo com a equação de Penman-Monteith, capazes de mostrar ao usuário por meio de gráficos as médias mensais da temperatura do ar, umidade relativa, radiação global e velocidade do vento.

Por fim, futuras ideias para aprimorar esse trabalho seria melhorar o código do programa para aplicar os dados do site de forma horária. Utilizar dados de uma estação própria, caso houver, para aplicar as contas e gráficos. E gerar um programa por meio de inteligência artificial que calcule, prevendo os próximos anos, sem que haja uma preocupação dos agricultores para as regiões de plantio.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CARVALHO, Luiz Gonsaga de et al. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, p. 456-465, 2011.
- [2] MANFROI, Cicilio. O que é irrigação? Tudo sobre essa técnica da agricultura. *SIAGRI*, Goiânia, 14/04/2022. Disponível em: <https://www.siagri.com.br/o-que-e-irrigacao/>. Acesso em: 20/11/2024.
- [3] ALLEN, Richard G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

- [4] JENSEN, M. W. et al. Evapotranspiration and irrigation water requirements New York: American Society of Civil Engineers, 1990. 329p. **ASCE. Manual and Reports on Engineering Practices**, v. 70.
- [5] OLIVEIRA, Carina. O que é evapotranspiração e como ela pode te ajudar a explorar o potencial máximo de produção. **AEGRO**, Porto Alegre, 21/02/2024. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/evapotranspiracao/>. Acesso em: 20/11/2024.
- [6] BERNARDO, Salassier. Manual de irrigação. **UFV**, 2009.
- [7] Medindo Evapotranspiração e Coeficiente de Cultura: Um Guia Completo. **ARABLE**. Disponível em: <https://www.arable.com/blog/medindo-evapotranspiracao-e-coeficiente-de-cultura-um-guia-completo/>. Acesso em: 20/11/2024.
- [8] DE SOUSA, Valdemício Ferreira et al. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. **Embrapa**, v.1, p. 104-106, 2011.
- [9] THORNTHWAITE, C. W. The moisture-factor in climate. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 27, n. 1, p. 41-48, 1946.
- [10] VIANA, Patrick T.; MEDEIROS, Antônio M. M. **Programa para cálculo da evapotranspiração por métodos**.
- [11] DE ALENCAR, Leonidas Pena et al. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no norte de Minas Gerais/Evaluation of methods to estimate evapotranspiration at three locations of northern Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 19, n. 5, p. 437, 2011.
- [12] DOS SANTOS, Vanessa. Estômatos. **MUNDO EDUCAÇÃO**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/estomatos.htm>. Acesso em: 20/11/2024.
- [13] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Portal INMET. **INMET**, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 20/11/2024.
- [14] ETo CALCULATOR. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAO**, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/en/>. Acesso em: 28/11/2024.
- [15] Evapotranspiration Calculator. **Enviraj**, 2024. Disponível em: <https://oer.enviraj.com/online-tools/evapotranspiration-calculator/>. Acesso em:28/11/2024.