

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO “ET<sub>o</sub>CALC 1.0” PARA ESTIMAR A  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA**

**GILMAR ARCANJO REIS  
MARCIO MOREIRA DE SOUZA**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2019**

**DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO “EToCALC 1.0” PARA ESTIMAR A  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA**

**GILMAR ARCANJO REIS  
MARCIO MOREIRA DE SOUZA**

Orientador: Prof. Dr. EDER PEREIRA GOMES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal da Grande Dourados,  
como parte das exigências para conclusão do  
curso de Engenharia Agrícola.

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

R375d Reis, Gilmar Arcanjo

DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO "EToCALC 1.0" PARA ESTIMAR A  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA [recurso eletrônico] / Gilmar Arcanjo Reis, Marcio  
Moreira De Souza. -- 2019.

25f. : il. ; 30cm

Orientador: Prof. Dr. Eder Pereira Gomes.

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal  
da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Estimativa. 2. Método. 3. Penman-Monteith. I. Souza, Marcio Moreira De. II. Gomes, Prof.  
Dr. Eder Pereira. III. Título.

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

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

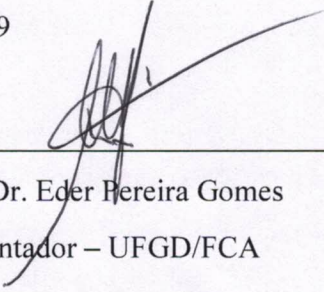
**DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO “ET<sub>0</sub>CALC 1.0” PARA ESTIMAR A  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA**

Por

GILMAR ARCANJO REIS  
MARCIO MOREIRA DE SOUZA

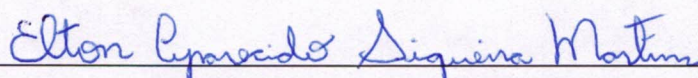
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para  
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: 21 de novembro de 2019



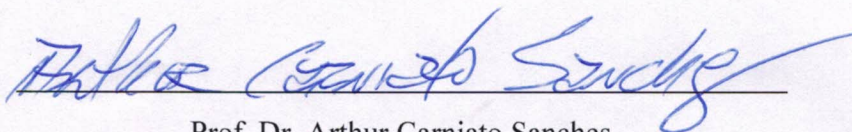
---

Prof. Dr. Eder Pereira Gomes  
Orientador – UFGD/FCA



---

Prof. Dr. Elton Aparecido Siqueira Martins  
Membro da Banca – UFGD/FCA



---

Prof. Dr. Arthur Carniato Sanches  
Membro da Banca – UFGD/FCA

## **AGRADECIMENTOS**

Somos gratos à Deus, que encheu nossos corações de luz e contribuiu com a nossa cumplicidade. Agradecemos aos familiares, por todo amor e carinho, e por entenderem os momentos de ausência. Aos nossos amigos de sala, muito obrigado pela ajuda em vários momentos de dificuldade.

A todos os professores, especialmente ao Prof. Dr. Eder Pereira Gomes, pela paciência e conhecimento transmitido, dando todas as orientações necessárias, e ao Prof. Dr. Elton Aparecido Siqueira Martins, por ter nos auxiliado sempre que precisamos, contribuindo de forma direta para a elaboração do trabalho.

Agradecemos à Universidade Federal da Grande Dourados e a cada membro do corpo docente, à direção e a administração, por nos proporcionar um ambiente criativo e de aprendizagem.

<b>SUMÁRIO</b>	<b>Página</b>
LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	vi
RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 História da Irrigação .....	3
2.1.1 A Importância da Irrigação.....	3
2.2.1 Evapotranspiração Potencial e de Referência .....	5
2.3 Métodos Para Determinar a Evapotranspiração .....	6
2.3.1 Métodos Diretos .....	6
2.3.2 Métodos Indiretos .....	7
2.4 App Inventor.....	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	18
5. CONCLUSÃO .....	23
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	24

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	Página
<b>Figura 1.</b> Janela “Designer” do <i>App Inventor 2</i> .....	14
<b>Figura 2.</b> Janela “Blocos” do <i>App Inventor 2</i> .....	15
<b>Figura 3.</b> Tela do aplicativo <i>EToCALC 1.0</i> .....	18
<b>Figura 4.</b> Tela de cálculo da ETo. ....	19
<b>Figura 5.</b> Tela do botão “Sobre” .....	19
<b>Figura 6.</b> Tela do botão “Tutorial” .....	20
<b>Figura 7.</b> Notificação solicitando preenchimento de caixa de texto. ....	21

**LISTA DE TABELAS**

Página

<b>Tabela 1:</b> Dados usados para estimar a ETo usando o aplicativo EToCALC 1.0.....	21
<b>Tabela 2:</b> Valores da estimativa da evapotranspiração de referência para o mês de setembro do ano de 2019, usando diferentes softwares e aplicativos .....	22



## RESUMO

Evapotranspiração é o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas. Sua definição é de fundamental importância, pois estabelece o consumo de água pelas plantas e, por consequência, a lâmina de irrigação a ser aplicada pelo sistema. Pode-se obtê-la por diferentes métodos, de forma direta ou indireta. Com o presente trabalho objetivou-se desenvolver um aplicativo usando o software web App Inventor 2 que tem a função de criar aplicativos executáveis em sistemas Android, tal aplicativo tem como finalidade realizar a estimativa da evapotranspiração de referência. O modelo matemático utilizado para compor as rotinas de cálculo presentes dentro do aplicativo foi a equação de Penman-Monteith, estabelecida como método padrão no boletim da FAO 56. Para a validação do aplicativo EToCALC 1.0 foram utilizados os dados estimados pelo aplicativo EvapoCalc, disponível na Play Store, os dados gerados pelo software ETo Calculator da Divisão de Terra e Água da FAO e pelos dados fornecidos pela Embrapa Agropecuária Oeste, localizado na região de Dourados. Para tal validação usamos como referência os dados diários do mês de setembro de 2019: Os valores das estimativas da evapotranspiração obtidos pelo EToCALC 1.0 foram idênticos aos obtidos com o aplicativo EvapoCalc, quando comparados aos estimados pelo ETo Calculator e aos fornecidos pela Embrapa os resultados foram visivelmente próximos.

**Palavras-Chave:** Estimativa; Método; Penman-Monteith.

## ABSTRACT

Evapotranspiration is the simultaneous process of water transfer to the atmosphere by evaporation of soil water and transpiration of plants. Its definition is of fundamental importance because it establishes the water consumption by the plants and, consequently, the irrigation depth to be applied by the system. It can be obtained by different methods, directly or indirectly. The present work aimed to develop an application using web software App Inventor 2 that has the function of creating applications executable on Android systems, such application aims to estimate the reference evapotranspiration. The mathematical model used to compose the calculation routines present within the application was the Penman-Monteith equation, established as a standard method in FAO Bulletin 56. For the validation of the EToCALC 1.0 application, the data estimated by the EvapoCalc application, available from Play Store, the data generated by the FAO Land and Water Division ETo Calculator software and data provided by Embrapa Agropecuária Oeste, located in the Dourados region. For this validation we use the daily data from September 2019 as reference: The values of the evapotranspiration estimates obtained by EToCALC 1.0 were identical to those obtained with the EvapoCalc application, when compared to those estimated by ETo Calculator and those provided by Embrapa. visibly close.

**Keywords:** Estimate; Method; Penman-Monteith.

## 1. INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas demandam grandes quantidades de água, sendo cada vez mais preocupante a sua escassez, com isso, esforços têm sido empregados no desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a sua economia, em todo o planeta (CARVALHO et al., 2011).

A prática da irrigação no mundo ocorre desde as antigas civilizações, se desenvolveram em regiões secas como no Egito e na Mesopotâmia. Já o crescente desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil deve-se a alguns fatores como: a expansão da agricultura para regiões com clima desfavorável; estímulos governamentais de desenvolvimento regional e benefícios observados na prática com boa disponibilidade de financiamentos (ANA, 2017).

Quando se utilizam as técnicas de irrigação para suprir as demandas ou necessidades hídricas das plantas, mesmo que falte chuva, o risco de quebra de safra é minimizado, garantindo maiores produtividades. Contudo a irrigação não deve ser considerada isoladamente, mas sim como parte de um conjunto de técnicas utilizadas para garantir a produção econômica de determinada cultura com adequados manejos dos recursos naturais (MANTOVANI et al., 2009).

O manejo racional da irrigação consiste na aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento certo. Por não adotar um método de controle da irrigação, o produtor rural usualmente irriga em excesso, temendo que a cultura sofra um estresse hídrico, o que pode comprometer a produção. Esse excesso tem como consequência o desperdício de energia e de água. A aplicação de critérios técnicos adequados deve ocorrer tanto na fase de dimensionamento quanto durante a operação dos sistemas de irrigação (COELHO et al., 2011).

O conhecimento da evapotranspiração é necessário para projetos de irrigação, transporte de água, controle de inundação, construção de barragens, entre outros (KLAR, 1991). Após várias definições de diversos autores para evapotranspiração, surgiu a necessidade de um conceito mais geral. Desse modo surgiu então o conceito de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), definida no boletim 24 da FAO como “taxa de evapotranspiração para uma extensa superfície, com cobertura gramada de altura uniforme, entre 8 e 15cm, em crescimento ativo, com o solo completamente sombreado e sem déficit de água (DOORENBOS & PRUITT, 1977; JENSEN et al., 1990 e AL-GHOBARI, 2000), para grama de referência rebaixada através de cortes periódicos (MEDEIROS, 2002).

Para ORTEGA-FARIAS et al., (2009), estimativas precisas da evapotranspiração são essenciais para identificar as variações temporais sobre a necessidade de irrigação, melhorar a alocação dos recursos hídricos e avaliar o efeito do uso da terra e as mudanças na gestão do balanço hídrico. De posse desta informação, pode-se determinar corretamente a quantidade e o momento da aplicação de água pela irrigação, maximizando o uso dos recursos hídricos de uma região.

Na ausência de equipamentos de medidas de evapotranspiração da cultura, os pesquisadores, muitas vezes, usam estimativas baseadas na evapotranspiração de referência e no coeficiente da cultura ( $K_c$ ), onde a evapotranspiração de referência se refere a uma cultura hipotética, sendo mantida em condições ideais de crescimento, podendo ser estimada por equações, desde as mais simples, baseadas em dados de temperatura, até as mais complexas, que envolvem o balanço de energia, por exemplo, a equação de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965).

Os métodos de estimativa da evapotranspiração estão divididos em métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos estimam a evapotranspiração de referência diretamente por meio de lisímetros, balanço hídrico, que se baseia no princípio de conservação de massa, e o controle de umidade no solo, sendo geralmente considerados métodos difíceis e onerosos (PEREIRA et al., 1997).

VANZELA et al. (2007), disseram que os métodos indiretos estimam a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) por meio de modelos matemáticos alimentados por variáveis. O método Penman-Monteith é considerado, internacionalmente, o mais apropriado para a estimativa da  $ET_o$  (SENTELHAS et al., 2010).

Como a estimativa da  $ET_o$  por Penman-Monteith envolve vários parâmetros meteorológicos, alguns programas computacionais e planilhas foram desenvolvidos para agilizar o procedimento de cálculos. (FERREIRA & FARIA, 2000), (MIRANDA, 2005; FIETZ et al., 2010). Entretanto, os programas computacionais desenvolvidos são voltados para os técnicos e não para os agricultores.

Com o presente trabalho objetivou-se desenvolver um aplicativo de celular de fácil manuseio para o agricultor, permitindo realizar a estimativa da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith, o que auxiliara no manejo da irrigação.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 História da Irrigação**

Na literatura, nota-se que a irrigação foi uma das primeiras modificações no ambiente realizadas pelo homem primitivo. As primeiras tentativas de irrigação foram bastante rudimentares, mas a importância do manejo da água tornou-se evidente na agricultura moderna.

Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA em 2017, diversos fatores contribuem para a necessidade de irrigação. Em regiões afetadas pela escassez contínua de água, como no semiárido brasileiro, a irrigação é fundamental, ou seja, uma parte importante da agricultura só se viabiliza mediante a aplicação artificial de água.

A agricultura irrigada tem sido importante estratégia para a otimização da produção mundial de alimentos, proporcionando desenvolvimento sustentável no campo, com geração de empregos e renda. Atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas (MANTOVANI et al. 2009).

#### **2.1.1 A Importância da Irrigação**

A finalidade básica da irrigação é proporcionar água às culturas de maneira a atender às exigências hídricas durante todo seu ciclo, possibilitando altas produtividades e produtos de boa qualidade. Sendo que a quantidade de água necessária às culturas é função da espécie cultivada, da produtividade desejada, do local de cultivo, do estágio de desenvolvimento da cultura, do tipo de solo e da época de plantio (BERNADO, 2008).

MANTOVANI et al. (2009) sintetizam a importância da irrigação com base nas seguintes vantagens: Seguro contra secas; ciclicamente ocorrem estiagens mais prolongadas nas regiões de clima semiúmido. A irrigação permite segurança na safra, independente desse problema. Melhor produtividade das culturas; aumenta o rendimento da área cultivada e propicia condições para mais de uma colheita numa mesma área, ou seja, uso intensivo do solo.

## 2.2 Evapotranspiração

MANTOVANI et al. (2009) definem a evapotranspiração como sendo a soma dos componentes de transpiração e evaporação. Sua definição é de fundamental importância, pois estabelece o consumo de água pelas plantas e, por consequência, a lâmina de irrigação a ser aplicada pelo sistema.

A evaporação ocorre quando a água líquida presente numa determinada superfície, por exemplo no solo, é convertida em vapor de água. A taxa em que a evaporação ocorre é controlada pela disponibilidade de energia na superfície de evaporação e pela facilidade com que o vapor de água se difunde na atmosfera ( ALLEN et al.,1998).

PEREIRA et al., em 1997, definiram transpiração como o processo que se inicia com a absorção de água do solo pelas raízes que em seguida é conduzida as folhas pelo xilema, onde os estômatos presentes nas folhas eliminam o vapor de água para a atmosfera.

A relação entre chuva e evapotranspiração resulta no balanço hídrico climatológico. No aspecto agrônômico, essa relação pode indicar excessos e deficiências de umidade ao longo do ano ou da estação de crescimento das culturas (KOBAYAMA-VESTENA, 2006).

O estudo da evapotranspiração possui grande importância para o planejamento agrícola, sendo que é cada vez maior a exigência de dados sobre as necessidades hídricas das culturas para o planejamento regional e preliminar de projetos para a estimativas das demandas médias e máximas de água num projeto de irrigação (DOORENBOS & PRUITT, 1977).

A determinação da demanda hídrica de uma cultura permite o ajuste de diversas práticas de manejo entre elas a irrigação, bem como melhorar o planejamento de lavouras no sentido de aumentar o potencial produtivo, promovendo as reduções nos riscos e de custos para a produção, consequentemente aumentando a eficiência da utilização da água, principalmente em regiões em que há limitações hídricas (RADIN et al., 2000).

Os principais elementos climáticos que afetam a evapotranspiração são: radiação solar, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e velocidade do vento. O tipo da cultura, a densidade, a variedade e a fase de crescimento também afetam a evapotranspiração, já que diferenças na resistência estomática, altura da cultura, rugosidade do dossel, refletividade e cobertura do solo pela vegetação resultam em diferentes valores de ET sob as mesmas condições climáticas e de solo (ALENCAR et al., 2015).

SHUTTLEWORTH em 1991, diz que desde os primórdios da civilização o homem percebeu ter uma relação entre a perda de água de uma superfície molhada e as condições do

ambiente. Sabia-se que em dias ensolarados, com ar seco, a perda de água era maior. Os principais agentes influenciadores são, climáticos e da planta.

Se tratando de agentes climáticos, a radiação líquida ( $R_n$ ) é a principal fonte de energia para o processo de evapotranspiração, e ela depende da radiação solar incidente e do albedo da vegetação. O aumento da temperatura do ar provoca aumento no déficit de saturação, tornando maior a demanda evaporativa do ar. Já a umidade relativa do ar atua em conjunto com a temperatura, por exemplo, quanto maior a umidade relativa, menor a demanda evaporativa, conseqüentemente menor a evapotranspiração. O processo de advecção representa o transporte horizontal de energia de uma área mais seca para outra mais úmida, e esta energia adicional é utilizada no processo de evapotranspiração, onde o vento também ajuda a remover vapor d'água do ar próximo às plantas para outras regiões.

No que diz respeito aos agentes da planta, a espécie, por exemplo, o tipo de folha, à resistência interna da planta ao transporte de água, e outros aspectos morfológicos influenciam diretamente na evapotranspiração. Coeficiente de reflexão, influencia, de forma direta a disponibilidade da  $R_n$ . O estágio de desenvolvimento influencia no tamanho da área foliar refletindo diretamente no consumo de água, onde plantas altas aumentam o consumo e assim a evapotranspiração.

### **2.2.1 Evapotranspiração Potencial e de Referência**

THORNTHWAITE definiu o fenômeno chamado de evapotranspiração potencial como a perda máxima de água num solo sem estresse hídrico, com a cobertura vegetal em fase de desenvolvimento ativo numa área de superfície extensa. A partir desta definição Penman, definiu como padrão uma vegetação de porte baixo e altura uniforme.

DOORENBOS & PRUITT, em 1977, através do boletim 24, definiram uma condição de contorno para a evapotranspiração potencial introduzindo o conceito de evapotranspiração de referência, como sendo a taxa de evapotranspiração para uma superfície extensa, coberta com grama de altura uniforme em crescimento ativo, com solo completamente coberto sem estresse hídrico.

Devido à diversidade de gramas utilizadas, ALLEN et al. em 1998, recomendam a utilização de uma grama hipotética, com altura uniforme em torno de 0,12 m, com albedo igual a 0,23 e resistência do dossel de  $70 \text{ s.m}^{-1}$ .

## **2.3 Métodos Para Determinar a Evapotranspiração**

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), originalmente introduzida sob o termo evapotranspiração potencial (ET<sub>p</sub>), é um importante parâmetro agro meteorológico, principalmente para planejamento e manejo de irrigação (CARVALHO et al., 2011).

A medição da evapotranspiração tem sido baseada, principalmente, nas variáveis climáticas, e as inúmeras fórmulas propostas, geralmente, envolvem dois ou mais parâmetros de clima e, às vezes, índices ligados às culturas. No entanto, as fórmulas, ao serem aplicadas em locais diferentes daqueles onde foram desenvolvidas, normalmente perdem a precisão, daí a necessidade de serem efetuados testes com a alteração comum dos coeficientes originais. A própria escolha da fórmula é condicionada pelas variáveis de clima e dos equipamentos disponíveis no local (KLAR, 1991).

A estimativa da ET<sub>o</sub> pode ser obtida por métodos diretos e indiretos. Os diretos são geralmente utilizados em projetos de pesquisa extensos devido ao elevado custo dos equipamentos. Os indiretos são menos onerosos e se baseiam na aplicação de métodos matemáticos que utilizam dados climatológicos medidos em estações meteorológicas (KOBAYAMA-VESTENA, 2006).

### **2.3.1 Métodos Diretos**

O método mais comum para obter a evapotranspiração de forma direta é feito com uso de lisímetro. Esse método apresenta ótimos resultados, porém seu uso para a agricultura irrigada as vezes se torna inviável, devido seu elevado custo.

MACHADO em 1996, diz que o primeiro relato da utilização de lisímetros ocorreu na França, em 1688, quando De La Hire usou recipientes preenchidos com solo argilo-arenoso e observou que nos lisímetros cobertos com grama a perda de água era maior do que em outros com solo sem cobertura vegetal. Segundo GREBET & CUENCA (1991), o primeiro a utilizar um lisímetro para medidas de evapotranspiração em condições de campo foi Thorntwaite nos Estados Unidos em 1946.



Lisímetros são tanques (de alvenaria, cimento amianto etc.) preenchidos com um volume de solo, instalado até uma determinada profundidade, dentro da área na qual será plantada a cultura da qual se deseja medir a evapotranspiração. O tanque possui um sistema de drenagem que permite a medida da água drenada pelo solo (REICHARDT-TIMM, 2004).

Os lisímetros se dividem em duas categorias: os não pesáveis também conhecidos como volumétricos e os lisímetros de pesagem ou gravimétricos.

Como o movimento d'água no solo é um processo relativamente lento, os lisímetros de percolação somente têm precisão para períodos longos. A evapotranspiração potencial por eles determinada refere-se a valores médios semanais, quinzenais ou mensais (PORTO et al., 2003).

Lisímetros de pesagem são mais precisos quando aferem valores de evapotranspiração diários, onde a precisão do equipamento é influenciada pelo posicionamento das células de carga, portanto, quando as células são instaladas próximo a superfície do solo, há instabilidade no sinal elétrico devido a temperatura, afetando diretamente os valores horários de evapotranspiração (ALLEN e FISCHER, 1991).

### **2.3.2 Métodos Indiretos**

A evapotranspiração é estimada por esses métodos através de equações empíricas ou baseadas em princípio físico-fisiológicos, ou mesmo pela utilização de instrumentos para medição da evaporação da água, ou seja, por meio de evaporímetros, correlacionando a evaporação da água com a evapotranspiração através de coeficientes (SILVEIRA et al., 1995).

O método do Tanque Classe A para estimativa da evapotranspiração de referência foi desenvolvido para estimar de forma prática a evapotranspiração, sendo aplicada no manejo da irrigação. O tanque é de pequena dimensão, com as paredes laterais expostas diretamente à radiação solar, e a água no tanque não oferece impedimento ao processo evaporativo, estando sempre disponível, mesmo durante os períodos secos. Portanto, o valor da evaporação obtido no tanque é exagerado em relação à perda efetiva de uma cultura, mesmo estando ela em condições hídricas ótimas. Logo, o valor diário medido no tanque precisa ser ajustado pelo coeficiente do tanque, assim é possível obter a ETo correspondente. Portanto:

$$ETo = Kp * Eca \quad (1)$$

Onde:

ETo = Evapotranspiração de referência (mm.dia<sup>-1</sup>);

Kp = coeficiente de tanque (adimensional);

Eca = Valor diário do tanque (mm.dia<sup>-1</sup>).

Em que o valor de Kp é sempre menor que 1, sendo função da velocidade do vento, da umidade relativa do ar e do tamanho da bordadura, vegetada ou não, circunvizinha ao tanque. Esse método é um dos recomendados pela FAO (DOORENBOS & KASSAM, 1994).

O método do tanque Classe A, apesar de indicado para estimativa de ETo para períodos acima de 5 dias, dada sua praticidade, baixo custo e boa precisão, era muito usado para fins de manejo em tempo real até a chegada das estações agro meteorológicas automáticas (COELHO et al., 2011).

Método de Thornthwaite foi proposto por Thornthwaite em 1948 para estimar a evapotranspiração potencial (ETP) mensal de um gramado como um elemento climatológico, visando a classificação climática. Nesse contexto, a ETP é tida como igual à "chuva ideal" para que uma região não apresente nem excesso nem deficiência hídrica durante o ano. A fórmula usada foi a seguinte:

$$ETP = Fc * 16 * \left(10 * \frac{Ti}{I}\right)^a \quad Ti > 0^\circ C \quad (2)$$

Sendo que:

ETP = Evapotranspiração potencial (mm/mês);

Fc = Fator de correção em função da latitude e mês do ano;

$$a = 6,75 * 10^{-7} * I^3 - 7,71 * 10^{-5} * I^2 + 0,01791 * I + 0,492 \quad (3)$$

I = índice anual de calor, correspondente a soma de doze índices mensais;

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{Ti}{5}\right)^{1,514} \quad Ti > 0^\circ C \quad (4)$$

$T_i$  = Temperatura média mensal (°C).

A grande desvantagem é que o método foi desenvolvido para condição de 12 horas de brilho solar e mês com 30 dias. Para casos fora desse padrão, há a necessidade de se ajustar a  $ET_o$  usando um fator de correção.

O método Blaney-Criddle relaciona os valores da  $ET_o$  mensal com a temperatura média mensal e com a percentagem mensal das horas anuais de brilho solar. Embora classificado como baseado apenas na temperatura, este método exige também observações da umidade relativa, da velocidade do vento e da razão de insolação.

$$ET_o = c * p(0,46 * T + 8,13) \quad (5)$$

Em que:

$p$  = Fator que representa a percentagem média diária de horas de brilho solar, o qual varia em função da latitude e época do ano;

$c$  = Coeficiente regional de ajuste da equação;

$T$  = Temperatura média

Embora este método possa ser utilizado para estimar  $ET_o$  em escalas de tempo menores que a mensal, a representatividade dessas estimativas é questionável, visto que o método foi desenvolvido em cima de dados médios mensais.

O método de Hargreaves & Samani foi desenvolvido por Hargreaves & Samani em 1985 para as condições semiáridas da Califórnia, a partir da evapotranspiração obtida usando um lisímetro de pesagem, cultivado com grama. Dessa forma, o método foi recomendado por Allen et al. (1998), uma vez que o demanda somente dados de temperatura do ar e de radiação solar extraterrestre. Tendo como base de cálculo a seguinte equação:

$$ET_p = 0,0023 * Q_o(T_{máx} - T_{mín})^{0,5}(T + 17,8) \quad (6)$$

Onde:

$Q_o$  = Irradiância solar extraterrestre expressa em mm de evaporação equivalente;

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

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

T = Temperatura média do ar (°C).

O método de Camargo foi desenvolvido analisando os resultados da equação de Thornthwaite, propondo uma fórmula mais simples, porém com a mesma eficiência na estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em períodos de 10 ou 30 dias (CAMARGO e CAMARGO, 1983). Neste método, a estimativa da ET<sub>o</sub> é dada pela seguinte expressão:

$$ET_o = 0,01 * Q_o * T * ND \quad (7)$$

Em que:

Q<sub>o</sub> = É a irradiância solar global extraterrestre, expressa em mm de evaporação equivalente por dia;

T = Temperatura média do ar (°C);

ND = Número de dias do período considerado.

Essa fórmula facilita a estimativa da evapotranspiração pois não há necessidade de se conhecer a temperatura média anual, a expressão reproduz bem os valores estimados pela fórmula de Thornthwaite.

O método de Penman-Monteith é baseado em processos físicos, incorporando os parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos. Podemos contar com vários métodos para estimar a evapotranspiração, mas suas performances podem variar ao considerar diferentes ambientes, apresentando empirismo em sua concepção (SENTELHAS et al., 2010).

O método de Penman-Monteith é a equação-padrão, mais completa e precisa na estimativa da ET<sub>o</sub>, porém necessita de muitos dados meteorológicos (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e radiação ou horas de sol), que geralmente não estão disponíveis em qualquer propriedade (MANTOVANI et al., 2009).

JENSEN et al. em 1990, relatam que a equação de Penman-Monteith é mais precisa quando usada na base horária, onde é feito a somatória diária dos valores para se obter estimativas diárias da evapotranspiração de referência.

Deve-se ter cuidado ao usar dados climáticos, o uso pode conduzir a erros significativos. Esses erros são resultado de várias interações entre elementos climáticos, como radiação solar, umidade, velocidade e direção do vento, temperatura do ar (DOORENBOS e KASSAM, 1977).

O método de Penman-Monteith é dado pela seguinte expressão matemática:

$$ET_{oPM} = \frac{0,408 * \Delta * (Rn - G) + \gamma * \frac{900}{T + 273} * U_2 * (es - ea)}{\Delta + \gamma * (1 + 0,34 * U_2)} \quad (8)$$

Em que:

$ET_{oPM}$  = Evapotranspiração de referência (mm.dia<sup>-1</sup>);

$\Delta$  = Inclinação da curva de saturação do vapor ( KPa °C<sup>-1</sup> )

$Rn$  = Radiação líquida (MJ.m<sup>-2</sup>. dia);

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

$\gamma$  = Constante psicométrico ( KPa . °C<sup>-1</sup> )

$U_2$  = Velocidade do vento (m.s<sup>-1</sup>);

$es$  = Pressão saturada de vapor (KPa);

$ea$  = Pressão parcial de vapor (KPa);

$T$  = Temperatura média (°C).

Como poucas estações meteorológicas possuem registros do fluxo de calor no solo ( $G$ ), é possível desprezar seu uso, uma vez que seu valor é expressivamente pequeno, isso faz com que não haja prejuízos significativos na estimativa da  $ET_o$  (CONCEIÇÃO, 2006).

Ao desconsiderar o fluxo de calor a expressão assume a seguinte forma:

$$ET_{oPM} = \frac{0,408 * \Delta * Rn + \gamma * \frac{900}{T + 273} * U_2 * (es - ea)}{\Delta + \gamma * (1 + 0,34 * U_2)} \quad (9)$$

Dispondo da pressão atmosférica, e considerando o coeficiente psicométrico como uma constante de valor igual 0,063 (KPa °C<sup>-1</sup>), a equação resulta em:

$$ET_o = \left[ \frac{0,408 * \Delta * Rn + \left( 56,7 * U_2 * \frac{(es - ea)}{T + 273} \right)}{\Delta + 0,063 * (1 + 0,34 * U_2)} \right] \quad (10)$$

A escolha de um método de estimativa da evapotranspiração depende de uma série de fatores. O primeiro é a disponibilidade de dados meteorológicos, pois métodos complexos, que

exigem grande número de variáveis, só terão aplicabilidade se houver disponibilidade de todos os dados necessários. Por exemplo, o método de Penman - Monteith não poderá ser empregado em local que só disponha de dados de temperatura do ar.

O segundo fator é a escala de tempo requerida. Normalmente, métodos empíricos, como os de Thornthwaite e de Camargo, estimam bem a evapotranspiração em escala mensal e havendo disponibilidade do saldo de radiação, apresentam boas estimativas também na escala diária.

Todavia se tratando de métodos empíricos, é necessário que conheça as condições climáticas para as quais foram desenvolvidos, pois podem apresentar algumas particularidades para algumas regiões. Desse modo, métodos como os de Thornthwaite e de Camargo aplicam-se a regiões de clima úmido, não apresentando boas estimativas para regiões de clima semiárido, onde eles tendem a subestimativas. Nessa situação, o método de Hargreaves & Samani adapta-se melhor, pois foi desenvolvido para esse tipo de clima.

## 2.4 App Inventor

Para desenvolver o aplicativo que estime a evapotranspiração de referência ETo foi usado o *MIT App Inventor*.

Para GOMES et al. 2013, o *App Inventor*, é um ambiente visual de programação em blocos, o qual permite o desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis *Android* de uma maneira consideravelmente simples, principalmente se comparada às linguagens de programação tradicionais. Seu ambiente gráfico possibilita o ensino de conceitos de lógica de programação de uma forma atraente e motivadora para estudantes do ensino médio e superior.

*App Inventor for Android* é uma linguagem visual de programação para a criação de aplicativos para dispositivos móveis baseados em *Android*, desenvolvida conjuntamente pelo Google e MIT. O *App Inventor* possui um ambiente de desenvolvimento baseado em blocos, entretanto, seu diferencial consiste em possibilitar aos usuários criar aplicações que incorporem serviços baseados na *web*, interação com redes sociais, leitura de códigos de barra, interação com sensores de orientação e geolocalização, e de funcionalidades como *text-to-speech* e reconhecimento de voz (GOMES et al. 2013).

O sistema de desenvolvimento de aplicativos nesta ferramenta é composto de duas seções: *App Inventor Designer* e *Blocks Editor*. A janela *App Inventor Designer* é a tela inicial do projeto, na qual é criada a interface do aplicativo, com a seleção de componentes e ajustes

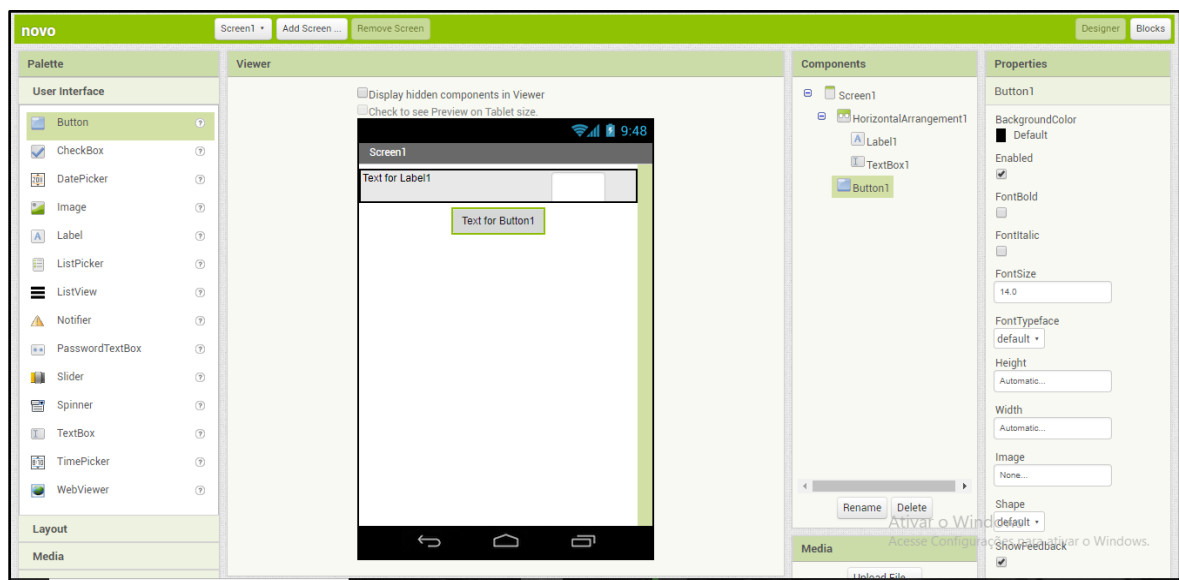
de suas propriedades. Já a janela *Blocks Editor* é a área da ferramenta na qual são associadas ações para cada componente do aplicativo, ou seja, é a janela onde toda a programação é realizada, sendo desenvolvida por meio de blocos conectáveis, com uma interface bem próxima a um quebra-cabeça (BARBOSA, 2016).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A plataforma de desenvolvimento de aplicativos, o App Inventor 2 é dividida em duas janelas, sendo elas a “Designer” e a “Blocos”. Na janela “Designer”, Figura 1, é desenvolvida a interface do aplicativo, nesta janela o desenvolvedor insere telas, botões, legendas, caixas de texto, imagens e outros objetos. Na janela “Blocos”, Figura 2, são inseridos os algoritmos do aplicativo, nela o desenvolvedor insere os blocos lógicos que dará os comandos aos objetos inseridos na janela “Designer”, os blocos são divididos por categorias, como por exemplo, blocos de controle, de operadores lógicas, de operações matemáticas, de texto, de procedimentos e de inserção e manipulação de variáveis (AMORIM et al., 2016).

A Figura 1 mostra a página onde é feita toda a parte gráfica do aplicativo; no lado esquerdo têm-se as ferramentas que irão interagir com o usuário. No meio, a simulação de uma tela do aparelho Android. No lado direito tem-se as propriedades das ferramentas selecionadas.

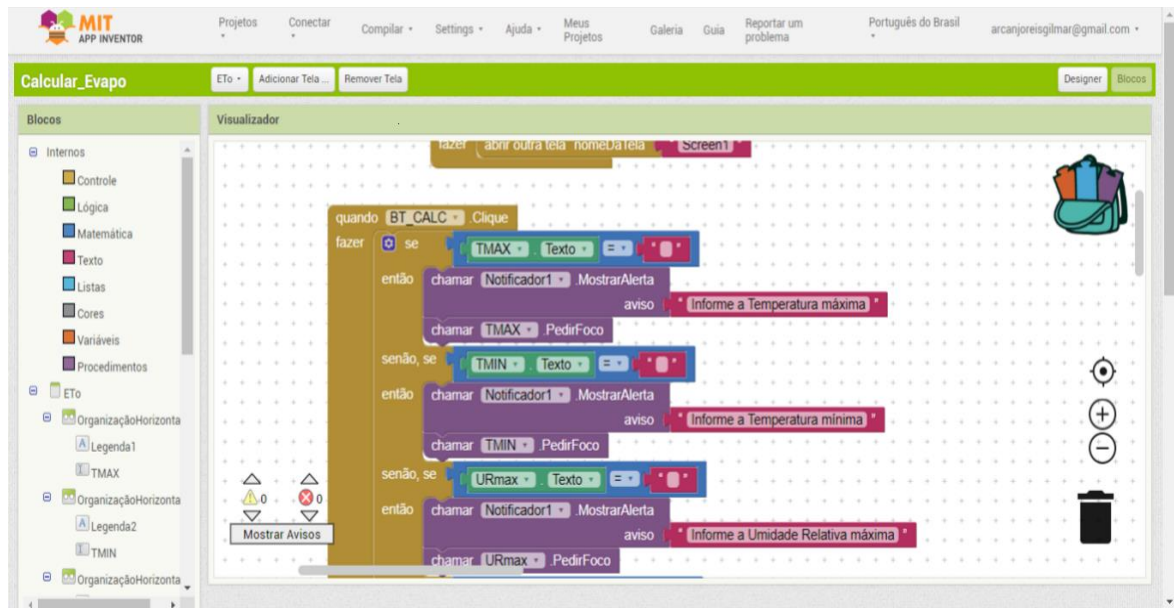
**Figura 1.** Janela “Designer” do App Inventor 2.



Já a Figura 2 mostra a janela de Blocks Editor (editor de blocos), onde o usuário faz a programação do comportamento do aplicativo encaixando os blocos como se fosse um quebra cabeça. E para facilitar a construção das ações, os comandos são organizados como peças de quebra-cabeças, onde apenas funções compatíveis se encaixam.



Figura 2. Janela “Blocos” do App Inventor 2.



Também é possível utilizar o App Inventor 2 para desenvolver aplicativos que se comunicam com outros através de sistemas como gateway, e placa arduino automatizando processo, por exemplo, desenvolver um aplicativo que monitore o volume de um reservatório com sensores de nível, uma placa arduino, módulo bluetooth e um smartphone android para fazer o monitoramento remoto (OLIVEIRA et al, 2014).

Para o desenvolvimento do trabalho será utilizado a equação de Penman-Monteith, obtendo assim uma estimativa para a evapotranspiração de referência.

$$ET0 = \left[ \frac{0,408 * \Delta * Rn + \left( 56,7 * U_2 * \frac{(es - ea)}{T + 273} \right)}{\Delta + 0,063 * (1 + 0,34 * U_2)} \right] \quad (11)$$

Para realizar tal estimativa necessitasse de alguns parâmetros, que podem ser calculados pelas expressões que segue.

A diferença entre “es” e “ea” é denominado déficit de saturação. Esses valores podem ser calculados usando as seguintes equações.

Em que “esmáx e esmín” é a pressão saturada de vapor máxima e mínima, respectivamente, e sua unidade é KPa.

$$es = \frac{esmáx + esmín}{2} \quad (12)$$

$$ea = \frac{UR * es}{100} \quad (13)$$

Para o cálculo da umidade relativa (UR) usa-se a “URmáx e a URmín”, que são umidade relativa máxima e mínima (%).

$$UR = \frac{URmáx + URmín}{2} \quad (14)$$

Pode-se obter a temperatura média, usando "Tmax" e "Tmin", sendo temperatura máxima e mínima do dia (°C).

$$T = \frac{Tmáx + Tmín}{2} \quad (15)$$

A pressão de saturação máxima e mínima diária (esmáx e esmín) podem ser obtidas por meio das seguintes expressões:

$$esmáx = 0,6108 * e^{\frac{17,27 * Tmáx}{237,3 + Tmáx}} \quad (16)$$

$$esmín = 0,6108 * e^{\frac{17,27 * Tmín}{237,7 + Tmín}} \quad (17)$$

Com isso é possível calcular o gradiente de pressão, usando a equação que segue:

$$s = \frac{4098 * es}{(T + 237,3)^2} \quad (18)$$

Ao dispor de todos esses parâmetros, pode-se realizar a estimativa da evapotranspiração de referência por meio da equação de Penman-Monteith.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O aplicativo EToCALC 1.0 foi desenvolvido em duas etapas, sendo a primeira o desenvolvimento das telas, para isso foi usado as ferramentas de criação de telas presentes na plataforma do App Inventor 2, em que foram utilizados botões, caixas de texto, legendas e figuras. Já a segunda etapa foi composta pelo desenvolvimento do algoritmo, onde estão presentes as rotinas necessárias para a execução das tarefas de cada tela.

Para desenvolver os layouts das telas do aplicativo, além da janela *Designer* da plataforma App Inventor 2, utilizou-se o software *Corel Draw* que possibilitou o desenvolvimento dos elementos gráficos que compõem as telas do aplicativo.

A tela inicial do aplicativo contém três botões de interação com usuário, tais botões estão dispostos nas seguintes figuras.

**Figura 3.** Tela do aplicativo EToCALC 1.0.



O botão “ETo” direciona o usuário a tela de cálculo da evapotranspiração, onde o usuário encontra as seguintes variáveis: temperatura máxima e mínima, umidade relativa máxima e mínima, velocidade do vento e radiação líquida, e cada uma dessas variáveis deve ser informada para que possa ser calculado a estimativa da ETo. As variáveis descritas no

aplicativo estão disponíveis no site do INMET-Instituto Nacional de Meteorologia, ou em alguma estação de um órgão pesquisador, por exemplo, a Embrapa.

**Figura 4.** Tela de cálculo da ETo.

O botão “Sobre” exibi uma tela que disponibiliza informações sobre o aplicativo, seus desenvolvedores e colaboradores. A tela que contém tais informações está representada na figura 5.

**Figura 5.** Tela do botão “Sobre”.

**EToCALC 1.0**

O aplicativo EToCALC 1.0 foi desenvolvido por acadêmicos com a colaboração dos professores do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD.

**DESENVOLVEDORES**

GILMAR ARCANJO REIS  
[arcanjo\\_reish@live.com](mailto:arcanjo_reish@live.com)

MARCIO MOREIRA DE SOUZA  
[moreira\\_souza1094@outlook.com](mailto:moreira_souza1094@outlook.com)

**COLABORADORES**

PROF. DR. EDER PEREIRA GOMES  
[edergomes@ufgd.edu.br](mailto:edergomes@ufgd.edu.br)

PROF. DR. ELTON APARECIDO SIQUEIRA MARTINS  
[eltonmartins@ufgd.edu.br](mailto:eltonmartins@ufgd.edu.br)

UF GD  
 UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

FCA  
 Faculdade de Ciências Agrárias  
 1970

EA  
 Engenharia Agrícola  
 UFGD

Já no botão “Tutorial” estão presentes informações sobre como o usuário utiliza as ferramentas disponíveis no aplicativo, tendo uma breve explicação da funcionalidade básica de cada tela presente no aplicativo.

**Figura 6.** Tela do botão “Tutorial”.



Visando estimar a evapotranspiração de referência foram considerados dados climatológicos como, temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e a radiação líquida.

Para a validação do aplicativo foram realizadas as estimativas considerando os dados do mês de setembro do ano de 2019.

Para evitar que ocorra erros durante a execução do aplicativo, foram adicionadas algumas restrições no algoritmo do aplicativo visando evitar que o usuário provoque erros de execução. A principal restrição inserida no algoritmo do EToCALC 1.0 verifica se ao clicar no botão “CALCULAR” se todas as caixas de texto de entrada de dados estão preenchidas, caso a caixa esteja vazia ou preenchida com valor negativo, o aplicativo interrompe a execução do cálculo e exibi uma notificação para o usuário solicitando que o mesmo informe a variável pendente (Figura 7).

**Figura 7.** Notificação solicitando preenchimento de caixa de texto.

Para melhor visualização e interpretação dos dados usados e os dias que foram considerados disponibilizou-se a seguinte tabela.

**Tabela 1:** Dados usados para estimar a ETo usando o aplicativo EToCALC 1.0

<b>Dia / Mês / Ano</b>	<b>T<sub>máx</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>mín</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>méd</sub> (°C)</b>	<b>UR<sub>máx</sub> (%)</b>	<b>UR<sub>mín</sub> (%)</b>	<b>UR<sub>méd</sub> (%)</b>	<b>Vento (m/s)</b>	<b>Rn (MJ/m<sup>2</sup>)</b>
01 / 09 / 2019	19,90	14,40	17,15	96,00	85,00	90,50	1,10	1,80
04 / 09 / 2019	29,30	19,80	24,55	62,00	45,00	53,50	1,43	0,10
07 / 09 / 2019	37,90	20,10	29,00	79,00	10,00	44,50	1,95	10,10
10 / 09 / 2019	37,70	20,20	28,95	67,00	15,00	41,00	1,82	9,40
13 / 09 / 2019	31,00	14,60	22,80	93,00	37,00	65,00	0,98	11,60
16 / 09 / 2019	39,90	24,30	32,10	43,00	12,00	27,50	1,37	9,60
19 / 09 / 2019	37,00	18,80	27,90	91,00	27,00	59,00	2,12	9,20
22 / 09 / 2019	30,90	18,20	24,55	89,00	24,00	56,50	1,35	11,90
25 / 09 / 2019	22,20	18,10	20,15	97,00	69,00	83,00	0,86	3,10
28 / 09 / 2019	32,50	18,40	25,45	70,00	28,00	49,00	1,16	13,00

Fonte: Embrapa Agropecuária Oeste, (2019).

Para fazer a validação do aplicativo EToCALC 1.0, realizou-se a comparação dos resultados obtidos usando tal aplicativo, com dados disponibilizados pela Embrapa Agropecuária Oeste, com os dados do software ETo Calculator, desenvolvido e usado pela Divisão de Terra e Água da FAO, e com os dados calculados pelo aplicativo EvapoCalc desenvolvido por Diogo Francisco Borba Rodrigues.

Os dados usados na estimativa, foram disponibilizados pelo órgão pesquisador Embrapa Agropecuária Oeste, localizada na cidade de Dourados no estado de Mato Grosso do Sul.

**Tabela 2:** Valores da estimativa da evapotranspiração de referência para o mês de setembro do ano de 2019, usando diferentes softwares e aplicativos

	<b>Dia / Mês / Ano</b>	<b>Embrapa</b>	<b>EToCalculator</b>	<b>EvapoCalc</b>	<b>ETo CALC 1.0</b>
ETo	01 / 09 / 2019	0,60	0,60	0,63	0,63
ETo	04 / 09 / 2019	1,60	1,60	1,45	1,45
ETo	07 / 09 / 2019	6,40	6,40	5,43	5,43
ETo	10 / 09 / 2019	5,90	5,90	5,24	5,24
ETo	13 / 09 / 2019	4,20	4,20	4,01	4,01
ETo	16 / 09 / 2019	5,80	5,80	5,46	5,46
ETo	19 / 09 / 2019	5,40	5,40	4,56	4,56
ETo	22 / 09 / 2019	4,90	4,90	4,58	4,58
ETo	25 / 09 / 2019	1,10	1,10	1,11	1,11
ETo	28 / 09 / 2019	5,30	5,30	5,06	5,06

Ao observar a tabela 2, é possível notar a proximidade dos valores obtidos para o mês de setembro, tanto a estimativa gerada pelos aplicativos quanto as calculadas pelo software ETo Calculator e os disponibilizados pela Embrapa.



## 5. CONCLUSÃO

Usando a ferramenta de programação MIT App Inventor foi possível desenvolver o aplicativo EToCALC 1.0 para estimar a evapotranspiração de referência (ETo) por Penman-monteith.

Nota-se que o aplicativo desenvolvido produziu valores idênticos ao aplicativo EvapoCalc.

Se pode observar que os valores estimados pelos aplicativos foram visivelmente próximos aos estimados pelo software ETo Calculator e também aos dados fornecidos pela estimativa realizada pela Embrapa Agropecuária Oeste.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, L. P. de; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. **Estimativa da Evapotranspiração de Referência ( ETo Padrão FAO ), Para Minas Gerais, na Ausência de Alguns Dados Climáticos.** Revista Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.35, n.1, p.39-50, jan./fev. 2015.
- AMORIM, J. C. de, et al. **Integrando as Plataformas App Inventor e Arduino na Construção de um Humanoide.** In: Congresso Brasileiro de Informática na Educação, 5. 2016, Uberlândia. Anais... UFU, 2016. p. 786-795.
- ANA-AGENCIA NACIONAL DE AGUAS. **Atlas Irrigação Uso da Água na Agricultura Irrigada.** Brasília, 2017.
- BARBOSA, E. DA S. **App Inventor 2: Análise de Potencialidades Para o Desenvolvimento de Aplicativos Para Matemática.** Rio de Janeiro, 2016. Instituto Federal Fluminense. p. 17-20.
- BERNARDO, S. **Impacto Ambiental da Irrigação no Brasil.** São Paulo, 2008. Documento WINOTEC. p. 1-13.
- CANTELE, T. D. **Água e Aplicativos Para Dispositivos Móveis.** Tese de Mestrado Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, 2016. p. 22-35.
- CARVALHO, L.G. de. et al. **Evapotranspiração de Referência: Uma Abordagem Atual de Diferentes Métodos de Estimativa.** Artigo de Revisão. Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul./set. 2011.
- COELHO, E. F. et al. **Irrigação e Fertirrigação em Fruteiras e Hortaliças.** Minas Gerais, 1 Edição. Editora Embrapa, p. 159-224, 2011.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. **Determinação da Evapotranspiração de Referência com Base na Evaporação do Tanque Classe A, na Região Nordeste de São Paulo.** Comunicado Técnico n° 37, São Paulo, Abr., 2001, p. 1-4. Embrapa Uva e Vinho.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. **Roteiro de Cálculo da Evapotranspiração de Referência pelo Método de Penman-Monteith.** São Paulo, Dezembro, 2006. Circular Técnica. EMBRAPA Uva e Vinho, Estação Experimental de Viticultura Tropical.
- EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Guia Clima.** Disponível em: [https://clima.cpao.embrapa.br/?lc=site/banco-dados/base\\_dados](https://clima.cpao.embrapa.br/?lc=site/banco-dados/base_dados). Acesso em: 01 de Novembro de 2019.
- GOMES, T. C. S.; MELO, J. C. B. de. **App Inventor for Android: Uma Nova Possibilidade para o Ensino de Lógica de Programação.** Pernambuco, 2013. II Congresso Brasileiro de Informática na Educação. p. 620-623.
- GONÇALVES F. M. et al. **Manejo Móvel: Uma Ferramenta Facilitadora no Manejo da Irrigação Localizada por Gotejamento.** INOVAGRI. IV WINOTEC – WorkShop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação. Maio, 2012.

- KOBIYAMA, M.; VESTENA, L. R. **Aplicação do Método de PENMAN Modificado no Cálculo da Evapotranspiração Potencial para Quatro Estações Meteorológicas do Estado do Paraná**. Paraná, 2006. Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol. 8, n° 1. p. 84-86.
- KLAR, A. E. **Irrigação: Frequência e Quantidade de Aplicação**. São Paulo, 1991. Editora Nobel. P. 95-118.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e Métodos**. Minas Gerais, 2009. Editora UFV. 3 edição. p. 13-21, 76-86.
- MENDONÇA E. A. **Estimativa da Evapotranspiração de Referência no Município de Capim – PB**. Campina Grande-PB, 2008. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande. p. 23-24.
- MOURA, A. R. C. **Estimativa da Evapotranspiração de Referência em Bacia Experimental na Região Nordeste**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco. p. 3-33, 2009.
- OLIVEIRA, I. R. H.; SANTOS, C. R. B.; RODRIGUES, M. A. L. **Desenvolvimento de um Aplicativo Android para Monitoramento Micro Controlado no Nível de um Reservatório de Água Residencial em Tempo Real**. In: Conferência de Estudo em Engenharia Elétrica, 12. 2014, Uberlândia. Anais... UFU, 2014. p. 1-6.
- OLIVEIRA A. L. M. **Calibração da Equação de Hargreaves-Samani e de um Novo Método para Estimativa da Evapotranspiração de Referência na Região Mineira da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São João Del-Rei. Sete Lagoas, 2016. p. 5-22.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos Processos e Aplicações**. São Paulo, 2004. 1 edição. Editora Manole. p. 293-308.
- SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R. **Meteorologia Agrícola**. Edição Revista e Ampliada. Piracicaba, SP. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. p. 78-91, fev. 2007.
- SILVA, J. C. Da. **Construção, Automação e Avaliação de um Lisímetro de Pesagem Hidráulica**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso. Rondonópolis, MT. p. 16-23.
- SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. **Determinação da Evapotranspiração Para Fins de Irrigação**. Goiás, 1995. Embrapa-CNPAP. p. 14-19.
- TANAKA, A.A., et al. **Evapotranspiração de Referência Estimada por Modelos Simplificados Para o Estado do Mato Grosso**. Universidade Federal de Mato Grosso. V.51, n° 2, Fev. 2016.
- VILLA NOVA, N.A. et al. **Estimativa da Evapotranspiração Potencial Pelo Método de Penman-Monteith Simplificado**. Eng. Agríc. Jaboticabal, v.26, n°3, p.713-721, set./dez. 2006.