

Evapotranspiração de Referência (ET_0) na Região de Dourados, Mato Grosso do Sul

Danilton Luiz Flumignan¹
Lucas Henrique Soares Figueiredo²
Jaqueline Alves da Silva³
Carlos Ricardo Fietz⁴
Éder Comunello⁵

Na agrometeorologia, a chamada superfície de referência corresponde a uma extensa área gramada, sob crescimento ativo, cobrindo completamente o solo com altura aproximada de 12 cm. Esta área deve ser conduzida sem limitação hídrica e de fertilidade do solo, além de ser isenta de pragas, doenças e plantas invasoras (ALLEN et al., 1998). Nos países de clima tropical, esta definição teórica é aplicada nas estações meteorológicas usando os tradicionais gramados de grama batatais (*Paspalum notatum* Flüggé).

A evapotranspiração de referência (ET_0) corresponde à taxa de evapotranspiração que ocorre nesta superfície de referência. Esse conceito foi introduzido para estudar a demanda evaporativa da atmosfera correlacionando-a com essa superfície.

Na ótica da ciência dos processos de transferência de água no sistema solo-planta-atmosfera, percebe-se que a utilização do conceito de ET_0 torna este insensível ao fator planta, pois esta é fixa (gramado de referência), e também ao fator solo, pois a umidade está sempre disponível (sem limitação hídrica). Dessa forma, os únicos fatores que são capazes de modificar a ET_0 são as condições climáticas; logo, a ET_0 pode ser considerada uma variável climática. Assim, a ET_0 é capaz de representar o poder evaporante da atmosfera em uma determinada localidade e época.

Atualmente, o consenso científico recomenda que o método Penman-Monteith, conforme padronizado em Allen et al. (2005), seja adotado como método padrão para estimativa das taxas de ET_0 , considerando sua

⁽¹⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem), pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS.

⁽²⁾ Graduando em Agronomia, Centro Universitário da Grande Dourados, Dourados, MS.

⁽³⁾ Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS.

⁽⁴⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Irrigação), pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS.

⁽⁵⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS.

qualidade, a qual já foi devidamente comprovada no meio científico. As estimativas usualmente são obtidas em escala diária (mm dia^{-1}) e requerem, como dados de entrada, medidas que são tomadas rotineiramente nas estações meteorológicas, sendo elas: radiação solar global (termo radiativo), temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento (termo aerodinâmico).

O conhecimento das taxas de ET_0 , que ocorrem em um determinado local, constitui uma importante informação para algumas aplicações na agrometeorologia e na irrigação. Por exemplo, nos estudos de zoneamento agrícola de risco climático, a ET_0 é utilizada para estimar o consumo hídrico da cultura de interesse. Essa estimativa é então cruzada, por meio de um balanço hídrico, com dados de chuva, para avaliar o risco de deficiência hídrica e, assim, recomendar ou não a semeadura. Outro exemplo é seu uso no dimensionamento e manejo da irrigação. Os valores de ET_0 são requeridos como primeiro passo no dimensionamento, pois possibilita o cálculo da demanda hídrica da cultura a ser irrigada e, com isso, faz-se o dimensionamento hidráulico do sistema que consiga atender essa demanda prevista. Além disso, no momento de manejar a irrigação, dados de ET_0 são usados para monitorar o consumo hídrico da cultura de interesse e assim determinar a lâmina correta a ser aplicada, no momento mais apropriado.

Apesar da importância da ET_0 , o conhecimento atualmente disponível acerca da dinâmica da mesma na região de Dourados, MS, ainda é escasso e, por isso, os objetivos deste trabalho foram determinar:

- 1) A dinâmica temporal (mês a mês) das taxas de ET_0 .
- 2) Os valores decendiais de ET_0 para serem usados em estudos de zoneamento agrícola de risco climático.
- 3) O nível de contribuição dos termos radiativo e aerodinâmico para as taxas de ET_0 .

Dados utilizados e forma de análise

Foi utilizado o banco de dados da Estação Agrometeorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, localizada em Dourados, MS (latitude $22^{\circ}16'S$, longitude $54^{\circ}49'O$ e altitude de 408 m). Este banco se encontra disponível no site Guia Clima (<http://www.cpa0.embrapa.br/clima/>).

A estação é mantida conforme os protocolos previstos para assegurar a condição de superfície de referência. Está localizada em área de 1,4 ha, com superfície coberta com grama batatais e posicionada de tal forma que a menor distância da mesma até o final da bordadura gramada tenha 37 m, garantindo a minimização de problemas relacionados a advecção, sombreamentos e quebra-ventos. O gramado recebe roçagens frequentes para manter a sua altura entre 9 cm e 15 cm, além de tratos culturais adequados, e irrigação para mantê-lo livre de deficiência hídrica.

Utilizou-se dados diários de radiação solar global (R_s), temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento (U_2), medidos por sensores instalados a 2 m de altura. Foram usados dados históricos de 13 anos ($1^{\circ}/1/2001$ a $31/12/2013$). Essa série histórica é praticamente isenta de falhas, dispondo de 99,5% dos dados desse período. Todos os dados foram avaliados quanto à sua qualidade, segundo os critérios constantes em Allen (1996) e Allen et al. (2005).

De posse dos dados de R_s , T , UR e U_2 foram estimadas as taxas diárias de ET_0 (mm dia^{-1}) pelo método de Penman-Monteith (Equação 1), conforme descrito em Allen et al. (2005). O cálculo foi realizado usando o software Ref-ET (ALLEN, 2000):

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

sendo ET_0 a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); Δ a declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); R_n a radiação líquida na superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); γ a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); T a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); U_2 a velocidade do vento (m s^{-1}); e_s a pressão de saturação de vapor (kPa); e_a a pressão parcial de vapor (kPa).

Uma planilha computacional foi desenvolvida para analisar separadamente a contribuição dos termos radiativo e aerodinâmico para as taxas de ET_0 . Isso foi realizado tomando-se como base o disposto em Zotarelli et al. (2015). Dessa forma, o termo radiativo (ET_{rad}) correspondeu à Equação 2 e o termo aerodinâmico (ET_{ero}) à Equação 3, como segue:

$$ET_{rad} = \frac{0,408\Delta(R_n - G)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \dots\dots\dots(2)$$

e

$$ET_{aero} = \frac{\gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \dots\dots\dots(3)$$

sendo ET_{rad} a evapotranspiração associada ao termo radiativo e ET_{aero} aquela associada ao termo aerodinâmico, ambas em mm dia⁻¹. O somatório das duas sempre é igual a ET₀.

Os dados obtidos de ET₀, ET_{rad} e ET_{aero} foram analisados por estatística descritiva baseada em medidas de posição. Enfoque foi dado para caracterizar a dinâmica desses valores nos diferentes decêndios e meses do ano, na região de Dourados, MS.

Dinâmica temporal da ET₀

Pelas Figura 1 e Tabela 1 observa-se que existe variabilidade na demanda evaporativa da atmosfera entre os diferentes meses do ano, em Dourados, MS.

A média anual da ET₀ é de 4,2 mm dia⁻¹ e nota-se que em 80% dos dias as taxas ficam entre 2 mm dia⁻¹ e 6,3 mm dia⁻¹. O menor valor já registrado no período analisado foi de 0,2 mm dia⁻¹. Este foi obtido em 28 de setembro de 2010, um dia caracterizado por baixa temperatura do ar, baixa oferta de radiação solar, alta umidade relativa, pouco vento e ocorrência de chuva (céu nublado). Já o maior valor foi de 9,6 mm dia⁻¹ e aconteceu no dia 26 de novembro de 2002. Nesse dia o céu esteve limpo, com predominância de temperatura alta, bastante vento, alta oferta de radiação solar e baixa umidade relativa do ar.

As maiores taxas de ET₀ ocorrem nos meses de novembro, dezembro e janeiro (primavera/verão), enquanto as menores ocorrem em maio, junho e julho (outono/inverno). Novembro e dezembro são os meses de maior média (5,3 mm dia⁻¹), enquanto junho apresenta a menor (2,4 mm dia⁻¹).

Recomendação de valores decendiais de ET₀ para uso em zoneamento agrícola de risco climático

Nos estudos de zoneamento agrícola de risco climático, os dados de ET₀ são utilizados em escala decendial, considerando o total de evapotranspiração acumulada em cada decêndio. Por isso, esses valores são apresentados conforme segue na Tabela 2.

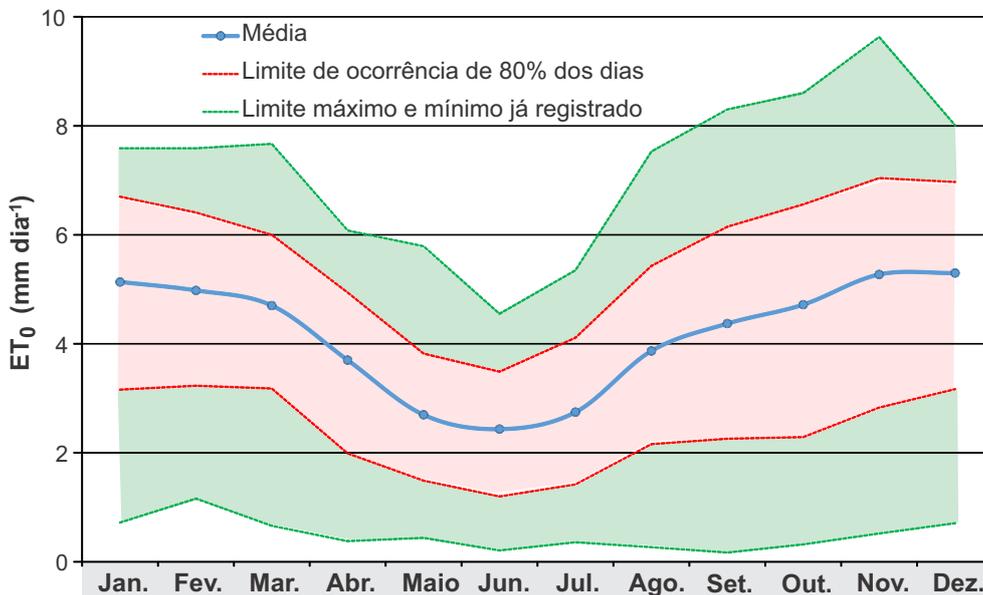


Figura 1. Dinâmica mensal da evapotranspiração de referência (ET₀) na região de Dourados, MS.

Tabela 1. Estatística descritiva mensal e anual da evapotranspiração de referência (ET_0 ; mm dia⁻¹) na região de Dourados, MS.

	Mínimo	Limite 80% inferior	Média	Limite 80% superior	Máximo
Janeiro	0,7	3,2	5,1	6,7	7,6
Fevereiro	1,2	3,2	5,0	6,4	7,6
Março	0,7	3,2	4,7	6,0	7,7
Abril	0,4	2,0	3,7	4,9	6,1
Mai	0,4	1,5	2,7	3,8	5,8
Junho	0,2	1,2	2,4	3,5	4,6
Julho	0,4	1,4	2,7	4,1	5,4
Agosto	0,3	2,2	3,9	5,4	7,5
Setembro	0,2	2,3	4,4	6,2	8,3
Outubro	0,3	2,3	4,7	6,6	8,6
Novembro	0,5	2,8	5,3	7,0	9,6
Dezembro	0,7	3,2	5,3	7,0	8,0
Anual	0,2	2,0	4,2	6,3	9,6

Tabela 2. Valores acumulados decendiais da evapotranspiração de referência (ET_0 ; mm decêndio⁻¹) na região de Dourados, MS.

Decêndio	ET_0	Decêndio	ET_0	Decêndio	ET_0	Decêndio	ET_0
1 (1-10/jan.)	53	10 (1-10/abr.)	39	19 (1-10/jul.)	27	28 (1-10/out.)	47
2 (11-20/jan.)	51	11 (11-20/abr.)	39	20 (11-20/jul.)	27	29 (11-20/out.)	43
3 (21-31/jan.)	50	12 (21-30/abr.)	33	21 (21-31/jul.)	29	30 (21-31/out.)	51
4 (1-10/fev.)	54	13 (1-10/maio)	28	22 (1-10/ago.)	34	31 (1-10/nov.)	50
5 (11-20/fev.)	47	14 (11-20/maio)	28	23 (11-20/ago.)	41	32 (11-20/nov.)	53
6 (21-29/fev.)	49	15 (21-31/maio)	24	24 (21-31/ago.)	41	33 (21-30/nov.)	55
7 (1-10/mar.)	51	16 (1-10/jun.)	25	25 (1-10/set.)	44	34 (1-10/dez.)	51
8 (11-20/mar.)	47	17 (11-20/jun.)	25	26 (11-20/set.)	44	35 (11-20/dez.)	55
9 (21-31/mar.)	44	18 (21-30/jun.)	23	27 (21-30/set.)	43	36 (21-31/dez.)	53

Nível de contribuição dos termos radiativo e aerodinâmico

Além da variabilidade temporal que existe nas taxas de ET_0 , observa-se que os termos radiativo e aerodinâmico influenciam diferentemente as taxas de ET_0 ao longo do ano (Figura 2 e Tabela 3).

Em todos os meses, o termo radiativo contribui mais para a ET_0 que o termo aerodinâmico. Isso quer dizer que a radiação solar é o principal fator que determina

a demanda evaporativa da atmosfera na região. Os demais contribuintes e que constituem o termo aerodinâmico (temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento) também contribuem para a ET_0 , porém em menor proporção.

Na média anual, o termo radiativo é responsável por $2,9 \text{ mm dia}^{-1}$ da demanda atmosférica total, enquanto o termo aerodinâmico é responsável por $1,3 \text{ mm dia}^{-1}$. Isso equivale a, respectivamente, 68,2% e 31,8% da demanda atmosférica.

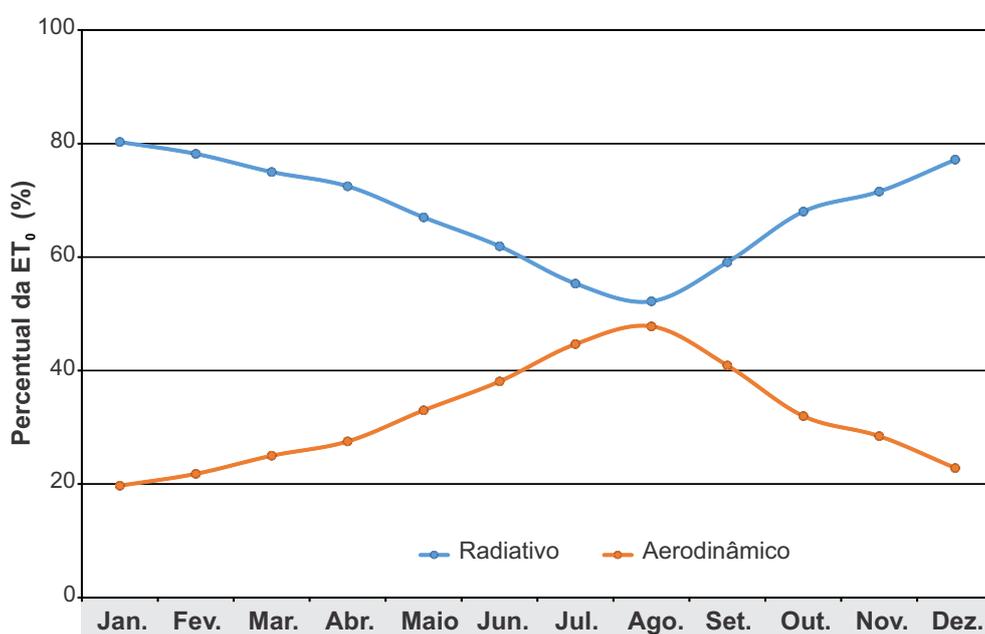


Figura 2. Dinâmica mensal da contribuição dos termos radiativo e aerodinâmico para a evapotranspiração de referência (ET_0) na região de Dourados, MS.

Tabela 3. Estatística descritiva mensal e anual do nível de contribuição dos termos radiativo (ET_{rad}) e aerodinâmico (ET_{aero}) para a evapotranspiração de referência (ET_0) na região de Dourados, MS.

	ET_{rad}	ET_{aero}	ET_0	% radiativo	% aerodinâmico
	mm dia ⁻¹				
Janeiro	4,1	1,0	5,1	80,3	19,7
Fevereiro	3,9	1,1	5,0	78,2	21,8
Março	3,5	1,2	4,7	75,0	25,0
Abril	2,7	1,0	3,7	72,5	27,5
Mai	1,8	0,9	2,7	67,0	33,0
Junho	1,5	0,9	2,4	61,9	38,1
Julho	1,5	1,2	2,7	55,3	44,7
Agosto	2,0	1,9	3,9	52,2	47,8
Setembro	2,6	1,8	4,4	59,1	40,9
Outubro	3,2	1,5	4,7	68,0	32,0
Novembro	3,8	1,5	5,3	71,6	28,4
Dezembro	4,1	1,2	5,3	77,2	22,8
Anual	2,9	1,3	4,2	68,2	31,8

No entanto, nota-se que o percentual de contribuição de cada termo varia dentro do ano. Janeiro é o mês onde o termo radiativo é mais predominante, sendo que 80,3% da ET_0 deve-se a este termo, enquanto 19,7% deve-se ao termo aerodinâmico. Por sua vez, agosto é o mês de menor contribuição do termo radiativo, respondendo por 52,2% da ET_0 , enquanto o termo aerodinâmico responde por 47,8%.

Essa dinâmica observada se deve, principalmente, ao padrão de oferta de radiação solar na região, em que durante o verão a quantidade de radiação é maior, por isso ET_{rad} é maior. Diferentemente, no inverno a oferta de radiação é menor na região e a ET_{rad} diminui por consequência.

Considerações finais

Na região de Dourados, Mato Grosso do Sul, a taxa média de ET_0 é de 4,2 mm dia⁻¹ e em 80% dos dias os valores variam entre 2 mm dia⁻¹ e 6,3 mm dia⁻¹. Os meses de novembro, dezembro e janeiro demonstraram ser os de maiores taxas, enquanto maio, junho e julho foram os de menores. Isso se justifica pelo fato de que a radiação solar demonstrou constituir a principal variável climática responsável pela demanda evaporativa da atmosfera na região, respondendo por 68,2% das taxas de ET_0 .

Referências

ALLEN, R. G. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 122, n. 2, p. 97-106, 1996.

ALLEN, R. G. **Ref-ET 2.0**: reference evapotranspiration calculation software. Kimberly, 2000. Disponível em: < <https://www.uidaho.edu/cals/kimberly-research-and-extension-center/water-resources/ref-et-software-request-form> >. Acesso em: 19 fev. 2007.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R. G.; WALTER, I. A.; ELLIOTT, R. L.; HOWELL, T. A.; ITENFISU, D.; JENSEN, M. E.; SNYDER, R. L. (Ed.). **The ASCE standardized reference evapotranspiration equation**. Reston: ASCE, 2005. 216 p.

ZOTARELLI, L.; DUKES, M. D.; ROMERO, C. C.; MIGLIACCIO, K. W.; MORGAN, K. T. **Step by step calculation of the Penman-Monteith evapotranspiration (FAO-56 Method)**. Gainesville: University of Florida, 2015. 10 p. (University of Florida. Document, AE459).

Comunicado Técnico, 215

Embrapa Agropecuária Oeste
BR 163, km 253,6 – Caixa Postal 449
79804-970 Dourados, MS
Fone: (67) 3416-9700
Fax: (67) 3416-9721
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



1ª edição
(2016): online

Comitê de Publicações

Presidente: *Harley Nonato de Oliveira*
Secretária-Executiva: *Silvia Mara Belloni*
Membros: *Auro Akio Otsubo, Clarice Zanoni Fontes, Danilton Luiz Flumignan, Ivo de Sá Motta, Marciana Retore, Michely Tomazi, Oscar Fontão de Lima Filho e Tarcila Souza de Castro Silva*

Membros suplentes: *Augusto César Pereira Goulart e Crébio José Ávila*

Expediente

Supervisão editorial: *Eliete do Nascimento Ferreira*
Revisão de texto: *Eliete do Nascimento Ferreira*
Editoração eletrônica: *Eliete do Nascimento Ferreira*
Normalização bibliográfica: *Eli de Lourdes Vasconcelos*