

Foto: Éder Comunello



Métodos empíricos para a estimativa do saldo de radiação da superfície de referência a partir da radiação solar

Danilton Luiz Flumignan¹
Carlos Ricardo Fietz¹
Éder Comunello²

Introdução e Conceitos

Na agrometeorologia, a chamada superfície de referência corresponde a uma extensa área gramada, com altura aproximada de 12 cm, sob crescimento ativo, cobrindo completamente o solo, sendo esta área 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 replicada na prática pelos tradicionais gramados de grama batatais (*Paspalum notatum* Flügge) presentes nas estações meteorológicas. Essa padronização da superfície de referência é de fundamental importância para assegurar a qualidade dos dados que são obtidos nas estações, além de permitir uma segura comparação dos dados obtidos por diferentes estações.

Para algumas aplicações na agrometeorologia e irrigação são requeridos dados do saldo de radiação (R_n) dessa superfície de referência. O R_n nada mais é do que o balanço entre o que chega de radiação na superfície e o que sai. A diferença entre o que chega e o que sai constitui o que fica e é então utilizado pela superfície.

Esse R_n é utilizado, principalmente, para a realização de três processos: evapotranspiração, aquecimento do ar e aquecimento do solo. Como exemplo, uma das principais aplicações dos dados de R_n está na estimativa da evapotranspiração da superfície de referência (ET_o), pois atualmente o principal modelo de estimativa da ET_o , conhecido como modelo ASCE Penman-Monteith (ALLEN et al., 2005), requer R_n como dado de entrada. Ressalta-se que em muitas situações, 70% a 80% do valor calculado de ET_o deve-se ao valor de R_n , sendo o restante devido às outras variáveis que são requeridas pelo modelo (temperatura, umidade relativa e velocidade do vento).

Embora o R_n seja uma informação importante, a sua medição em estações meteorológicas é rara em razão do custo do sensor e da complexidade da sua medida. Essa complexidade está associada à possibilidade de falhas nos sensores, mas principalmente ao fato de que é comum que nas estações meteorológicas não seja dado o tratamento adequado para assegurar que a superfície em questão possa ser enquadrada como superfície de referência. Se a superfície da estação não é manejada conforme o protocolo de manejo para superfície de referência, os dados de R_n obtidos são

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

⁽²⁾Engenheiro-Agrônomo, doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS.

certamente influenciados por este manejo, diferindo, portanto, dos valores que realmente deveriam ocorrer. Exemplos de mau manejo são: falta de irrigação do gramado em regiões áridas ou em épocas de estiagem em regiões úmidas, mistura com/uso de outras espécies de gramíneas, deficiências nutricionais, gramado com cobertura falhada apresentando solo exposto, ausência de gramado (uso de solo nu ou cimento) e outros.

Considerando o exposto, ASCE-EWRI (ALLEN et al., 2005) recomendaram que os valores de R_n necessários para estimar os valores de ET_o sejam preferencialmente estimados a partir dos dados medidos de radiação solar (R_s), conforme o protocolo descrito no próprio documento. Este método de estimativa tem bastante qualidade, porém possui um nível de complexidade elevado, pois faz uso de muitos cálculos astronômicos, além de requerer como entrada as coordenadas geográficas do local e os dados medidos de temperatura e umidade relativa do ar.

Um alternativa para essa questão é o uso de métodos empíricos, ou seja, métodos que possuem soluções práticas que são oriundas a partir da observação sistemática do fenômeno avaliado. Esses métodos têm validade limitada a condições semelhantes em que eles foram gerados, mas dentro dessas condições apresentam resultados satisfatórios.

Objetivo

Este trabalho teve como objetivo ajustar dois métodos empíricos para a estimativa do R_n a partir dos dados de R_s , para a região de Dourados, MS. Um dos métodos foi ajustado com o propósito científico (Método de Gauss), pois constitui-se de uma modelagem matemática, enquanto o outro foi ajustado com propósito mais prático (Método Prático) por se tratar de coeficientes de conversão mensais fixos. Embora os métodos tenham sido ajustados para a região de Dourados, MS, presume-se que os mesmos tenham validade para outras regiões que possuam características climáticas semelhantes, como, por exemplo, regiões nos estados de Mato Grosso do Sul, do Paraná e de São Paulo, e também no Paraguai.

Metodologia Utilizada

Foi utilizado o banco de dados meteorológicos da Embrapa Agropecuária Oeste, localizada em Dourados, MS (latitude 22°16'S, longitude 54°49'O e altitude de 408 m). 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 à advecção e sombreamentos. O gramado recebe roçagens frequentes para manter a sua altura entre 8 cm e 15 cm, além de tratos culturais adequados e irrigação para mantê-lo livre de deficiência hídrica.

O trabalho constituiu-se de duas fases: (1) fase de calibração e (2) fase de validação.

Calibração

Na fase de calibração utilizou-se os dados diários de R_s disponíveis a partir de 01/01/2001 até 31/12/2012 (12 anos). Essa série histórica é praticamente isenta de falhas, dispondo de 99,5% dos dados deste período. Todos os dados de R_s foram avaliados quanto a sua qualidade, segundo os critérios constantes em Allen (1996) e ASCE-EWRI (ALLEN et al., 2005).

Os dados de R_n foram estimados segundo a padronização disposta em ASCE-EWRI (ALLEN et al., 2005). Para isso também foi necessária a utilização dos dados de temperatura e umidade relativa do ar.

A calibração consistiu em ajustar os Métodos de Gauss e Prático por meio da análise da relação entre os valores diários de R_s e R_n , ou seja, R_n/R_s em %. Essa relação indica o quanto da radiação que atingiu a superfície foi de fato utilizada pela superfície. Por exemplo, uma relação de 60% para um determinado dia ou mês indica que do total de radiação que atingiu a superfície (R_s), 60% foi utilizado pela superfície nos seus diferentes processos (R_n).

O ajuste do Método de Gauss (Equação 1) foi realizado utilizando o software Table Curve 2D 5.01. O ajuste foi feito de modo a permitir estabelecer um valor de y correspondente à relação R_n/R_s para cada valor de x correspondente ao dia do ano (dia 1 até o dia 366 em anos bissextos). A modelagem consistiu, portanto, em definir o valor dos parâmetros a , b , c e d da Equação 1. Por outro lado, no Método Prático foram desenvolvidos coeficientes mensais da relação R_n/R_s . Para representar cada um dos 366 dias no caso do Método de Gauss, ou cada um dos 12 meses no caso do Método Prático, foi utilizada a média dos 12 anos de dados.

$$y = a + b \times e^{-0,5 \times \left(\frac{x-c}{d}\right)^2} \dots \dots \dots (1)$$

Validação

A validação consistiu em analisar a qualidade das estimativas de R_n obtidas usando os Métodos de Gauss e Prático, a partir de valores medidos de R_s . Para isso, instalou-se na estação meteorológica um sensor de alta precisão de R_s (piranômetro CMP3 da Kipp & Zonen®), no período de 1º/07/2013 até 30/06/2014 (1 ano). Ao longo desse período também monitorou-se os valores de R_n . Para isso, foi instalado um sensor de alta precisão de R_n (saldo radiômetro NR-Lite da Kipp & Zonen®). Os valores obtidos pelas estimativas foram comparados com os medidos.

Resultados

Calibração

O Método de Gauss foi ajustado satisfatoriamente, tal qual evidenciam o alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9171$), o baixo erro padrão da modelagem ($\pm 1,8721\%$) e o ajustamento gráfico visual (Figura 1). No gráfico nota-se que a relação R_n/R_s varia ao longo do ano, sendo mais alta nos meses de temperaturas maiores e mais chuva-verão (extremos do gráfico) e mais baixa nos meses de temperaturas menores e menor pluviosidade-inverno (centro do gráfico). Considerando-se que a média anual da relação R_n/R_s é de 57%, de outubro a março a relação é mais alta que a média anual, enquanto de abril a setembro essa relação é mais baixa (Tabela 1). A relação mais alta ocorre em janeiro (64,4%) e a mais baixa em junho (47,7%). Finalmente nota-se que os valores apresentados na Tabela 1 constituem os coeficientes ajustados segundo o Método Prático.

Tabela 1. Variabilidade mensal da relação R_n/R_s na região de Dourados, MS. Os valores mensais constituem os coeficientes de calibração segundo o Método Prático.

Mês	Relação R_n/R_s (%)
Janeiro	64,4
Fevereiro	63,1
Março	60,0
Abril	56,5
Mai	51,2
Junho	47,7
Julho	48,4
Agosto	49,5
Setembro	55,8
Outubro	61,7
Novembro	62,7
Dezembro	63,9
Anual	57,0

Validação

Conforme demonstrado na Figura 2, observa-se que durante o ano de validação avaliado (1º/07/2013 até 30/06/2014) ambos os métodos de estimativa ajustados apresentaram desempenho considerado muito satisfatório para estimar os valores de R_n a partir de R_s . Essa impressão é evidenciada pela boa concordância dos pares de dados com a reta 1:1, pelos altos valores de R^2 e pela proximidade dos coeficientes angulares das retas obtidas com relação a unidade.

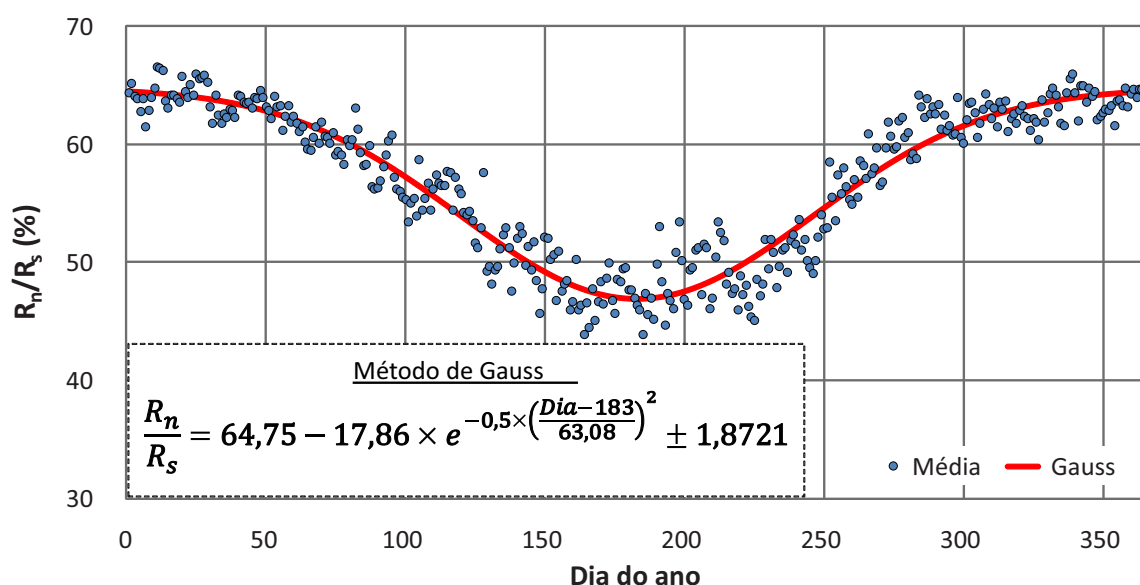


Figura 1. Ajuste do Método de Gauss para determinação dos valores de R_n/R_s em % para qualquer dia do ano (Dia) na região de Dourados, MS.

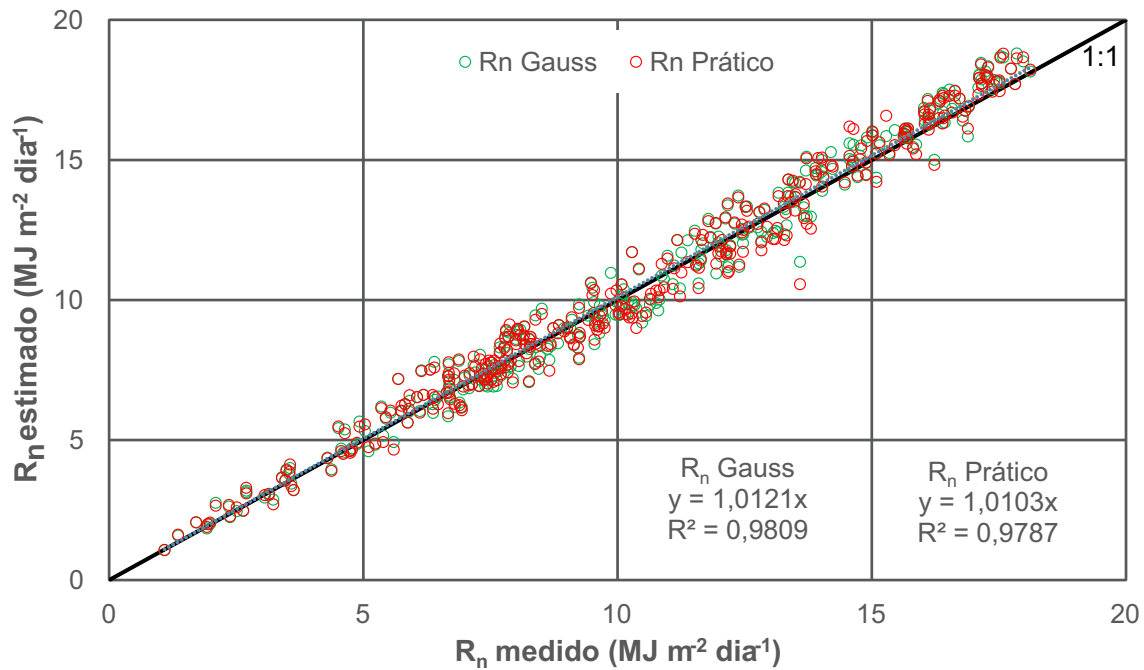


Figura 2. Validação dos Métodos de Gauss e Prático para estimativa dos valores de R_n a partir de valores medidos de R_s . Dados obtidos no período de 1º/07/2013 até 30/06/2014 (1 ano).

Recomendação Final

Embora ambos os métodos tenham apresentado desempenho satisfatório, recomenda-se que seja dada preferência pelo uso do Método de Gauss, em especial em aplicações mais refinadas, onde a preocupação com o valor estimado seja mais intensa. Por outro lado, em situações mais expeditas, com menor rigor da estimativa, recomenda-se que seja utilizado o Método Prático, por causa da menor complexidade de cálculo.

Exemplos de Uso

Se R_s no dia 19 de fevereiro de um ano qualquer foi de $20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, estime R_n pelos Métodos de Gauss e Prático.

Método de Gauss

Sabendo-se que o dia 19 de fevereiro é o 50º dia do ano, temos:

$$\frac{R_n}{R_s} = 64,75 - 17,86 \times e^{-0,5 \times \left(\frac{\text{Dia} - 183}{63,08}\right)^2}$$

$$\frac{R_n}{R_s} = 64,75 - 17,86 \times e^{-0,5 \times \left(\frac{50 - 183}{63,08}\right)^2}$$

$$\frac{R_n}{R_s} = 64,75 - 17,86 \times e^{-0,5 \times \left(\frac{-133}{63,08}\right)^2}$$

$$\frac{R_n}{R_s} = 64,75 - 17,86 \times e^{-0,5 \times (-2,1084)^2}$$

$$\frac{R_n}{R_s} = 64,75 - 17,86 \times e^{-0,5 \times 4,4455}$$

$$\frac{R_n}{R_s} = 64,75 - 17,86 \times e^{-2,2227}$$

$$\frac{R_n}{R_s} = 64,75 - 17,86 \times 0,1083$$

$$\frac{R_n}{R_s} = 64,75 - 1,93$$

$$\frac{R_n}{R_s} = 62,82\%$$

Logo,

$$R_n = 20 \times \left(\frac{R_n}{R_s} \right)$$

$$R_n = 20 \times \left(\frac{62,82}{100} \right)$$

$$R_n = 20 \times 0,6282$$

$$R_n = 12,56 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

Método Prático

Sabendo-se que em fevereiro R_n/R_s é igual a 63,1%, temos:

$$R_n = 20 \times \left(\frac{R_n}{R_s} \right)$$

$$R_n = 20 \times \left(\frac{63,1}{100} \right)$$

$$R_n = 20 \times 0,631$$

$$R_n = 12,62 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

Referências

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

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.). **ASCE standardized reference evapotranspiration equation**. Reston: ASCE, 2005. 216 p.

Comunicado Técnico, 199

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

1ª edição
(2014): on-line

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



Comitê de Publicações

Presidente: *Harley Nonato de Oliveira*
Secretária-Executiva: *Silvia Mara Belloni*
Membros: *Auro Akio Otsubo, Clarice Zanoni Fontes, Danilton Luiz Flumignan, Fernando Mendes Lamas, Germani Concenço, Ivo de Sá Motta, Marciana Retore e Michely Tomazi*

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*.