

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/339765059>

# Estimativa da temperatura de superfície foliar e de evapotranspiração para a cultura do trigo

Article · March 2020

DOI: 10.31062/agrom.v27i1.26576

CITATIONS

0

READS

18

3 authors, including:



**Rodolfo Armando de Almeida Pereira**

University of São Paulo

7 PUBLICATIONS 5 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Fábio Ricardo Marin**

University of São Paulo

229 PUBLICATIONS 1,577 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Improving water and energy use for irrigation in tropical environments [View project](#)



Intercomparação, aprimoramento e adaptação de modelos de simulação de culturas para aplicação em mudanças climáticas - Impacto das mudanças climáticas em plantas forrageiras [View project](#)



# Estimativa da temperatura de superfície foliar e de evapotranspiração para a cultura do trigo

Luís Alberto Silva Antolin<sup>1</sup>, Rodolfo Armando de Almeida Pereira<sup>1</sup> e Fábio Ricardo Marin<sup>1(\*)</sup>

<sup>1</sup>Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP). Avenida Pádua Dias, 11, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. E-mails: antolin.luis@gmail.com, rodolfopereira@usp.br e fabio.marin@usp.br

(\*) Autor para correspondência.

## INFORMAÇÕES

### História do artigo:

Recebido em 18 de setembro de 2019

Aceito em 4 de março de 2020

### Termos para indexação:

Evapotranspiração  
modelagem  
trigo

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a utilização de métodos iterativos na determinação e avaliação da temperatura da superfície foliar (Tf) e evapotranspiração de cultura (ETc) para o trigo (*Triticum aestivum* L.), baseando-se em modelos empíricos e dispondo de poucas variáveis quantificadas via coleta de dados. As informações obtidas para o ajuste destes modelos foram providas por uma estação micrometeorológica estacionada na área experimental, bem como o uso de dados de porometria realizadas regularmente ao longo do ciclo da cultura. Os modelos foram colocados a prova em testes com dados de campo e avaliados pela sua precisão (R<sup>2</sup>) e acurácia (d). A otimização através do método computacional por tentativa e erro (iteração) para o melhor ajuste, resultou em modelos com R<sup>2</sup> de 0,872 e 0,874, e “d” de 0,913 e 0,876 para ETc e Tf, respectivamente, o que demonstra boa confiabilidade quanto ao uso combinado de modelos empíricos aplicados ao ambiente computacional, na estimativa de componentes micrometeorológicos.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

## Introdução

Em agricultura, o estudo dos cultivos sob o aspecto da influência de variáveis climáticas quanto às demandas das culturas, tem um papel primordial para o bom funcionamento dos processos produtivos.

Para a melhor compreensão dos efeitos atmosféricos sobre as culturas, modelos empíricos são empregados amplamente na determinação e predição das variações climatológicas em relação aos cultivos agrícolas (McMahon et al., 2016). Dentre as variáveis de grande impacto no desenvolvimento das plantas, estudos de demanda hídrica

possuem forte apelo científico, além de possuir elevada importância no que se refere ao entendimento da relação solo-planta-atmosfera (Jensen & Allen, 2016).

Estudos de demanda hídrica são conduzidos com o objetivo de quantificar a ETc, bem como entender os processos que a compõem. Monteith (1965) decompôs os diversos processos que culminam na evaporação e transpiração da água presente nos cultivos vegetados para a atmosfera, explicitando alguns conceitos utilizados no presente trabalho, como resistência externa ou aerodinâmica (Ra) e resistência interna ou de cobertura (Rc). Ambas as terminologias fazem alusão à relação fluxo-gradiente e na

utilização de energia do para mudança de fase da água presente no ambiente e nas superfícies vegetadas para que ocorra a transformação de fase líquida para gasosa, como um componente do saldo energético ( $R_n$ ) presente no ambiente da atmosfera.

Para suportar tais evidências, Marin (2001a) demonstrou que os valores de  $R_c$  e  $R_a$  podem ser utilizados para determinar os componentes que correspondem ao fluxo de calor latente (LE) e ao fluxo de calor sensível (H) presentes no regime atmosférico ao qual as plantas estão expostas, sendo que para ambos os componentes, é necessário determinar também a temperatura na superfície foliar ( $T_f$ ), uma vez que este processo depende da interação na transferência de energia entre os meios atmosféricos e vegetais.

Embora diversos modelos tenham sido desenvolvidos a ponto de não haver necessidade da elaboração de métodos iterativos para a obtenção das variáveis estudadas (Beguería et al., 2014; Valipour, 2017), atualmente, tem-se a disposição o uso de técnicas computacionais confiáveis e de fácil aplicação, como demonstrado por Marin (2003). Assim através da inserção das informações matemáticas e admitindo alguns dados de entrada, é possível obter respostas para as variáveis requisitadas por via de procedimentos computacionais de tentativa e erro, de forma eficiente e prontamente disponível. Partindo deste pressuposto, o presente trabalho teve como objetivo a utilização de métodos iterativos na determinação e avaliação da temperatura foliar e evapotranspiração de cultura para o trigo, baseando-se em modelos empíricos e dispondo de poucas variáveis quantificadas via coleta de dados.

## Material e Métodos

O experimento foi realizado em uma área pertencente à Fazenda Areião, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, no município de Piracicaba, São Paulo (22° 52' S, 47° 30' W, 546 m), sendo a região considerada como Cwa pela classificação climática de Köppen (CEPAGRI, 2016). O tipo de solo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (Santos et al., 2013). O experimento compreendeu uma área de 7760 m<sup>2</sup>, sendo utilizada a cultivar de trigo TBIO-Sossego, com semeadura sendo realizada no dia 30/05/2017.

Para a coleta diária e periódica das informações atmosféricas no ambiente de cultivo, foi instalada uma torre micrometeorológica dentro da área experimental, utilizando-se de instrumentos para coleta de dados, tais como: dois termo-higrômetros (HMP155, Vaisala) com diferença de altura de 0,7 m entre eles, sendo que o mais baixo estava localizado a 0,2 m acima do dossel, acompanhando o crescimento da planta, seguindo a metodologia proposta por ALLEN et al. (1998). Um pluviômetro (TE525MM, Texas Instruments), quatro sensores de umidade volumétrica, tem-

peratura e condutividade elétrica do solo (GS3, Decagon), sendo esses instalados na linha e na entrelinha nas profundidades de 0,2 e 0,5 m, dois sensores de fluxo de calor no solo (HFP01, Hukseflux), um saldo radiômetro (NR-Lite2, Kipp & Zone), como também um anemômetro de caneca para o monitoramento da velocidade do vento ao longo do dia (m.s<sup>-1</sup>). Para o armazenamento dos dados coletados por esses sensores, utilizou-se uma datalogger (CR1000, Campbell Scientific), que faz a aferição a cada segundo, realizando o registro da média das aferições a cada 15 minutos.

A evapotranspiração para a cultura do trigo (ETc, mm.15 min<sup>-1</sup>) foi determinada pelo método da Razão de Bowen (Bowen, 1926), utilizando-se das informações coletadas da torre micrometeorológica, como o balanço de radiação ( $R_n$ , MJ.m<sup>-2</sup>.15min<sup>-1</sup>) e seus componentes (H, LE e G, MJ.m<sup>-2</sup>.15min<sup>-1</sup>), temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%).

Tendo como objetivo complementar as informações providas pela estação meteorológica, e fornecer mais informações para os modelos empregados neste trabalho, foram realizadas biometrias periódicas da cultura, sendo colhidas informações sobre altura da comunidade vegetal ao longo do ciclo, bem como análises de porometria. As análises porométricas objetivaram a coleta de informações sobre a resistência foliar à difusão de vapor ( $R_c$ , s/m) das plantas em relação a transferência de água do mesófilo para o ambiente, tal qual o exemplificado em Gerhards et al. (2016) e Hura et al. (2019).

Foram realizadas nove porometrias, utilizando-se de porômetros de equilíbrio dinâmico (modelo Delta T, AP4), entre os dias 28/06 e 06/09/2017, com intuito de mensurar a temperatura foliar ao longo do dia, bem como os valores de  $R_c$ . As datas de amostragem foram representadas pelos dias julianos deste mesmo ano (179, 188, 194, 202, 208, 225, 233, 243 e 249). Os horários de amostragem variaram entre 8:00 até as 17:00, na maioria dos dias. Os modelos foram testados e comparados para os dados contidos nestes dias e horários, para comprovar a capacidade dos mesmos em expressar as informações da forma mais verossímil em relação ao que foi observado.

As informações meteorológicas registradas através da estação micrometeorológica para os dias de coleta de dados, podem ser verificadas na Tabela 1.

Sob esta mesma ótica, utilizou-se também um estimador de  $R_c$  ( $R_{c.c}$ ), para que também pudessem ser estimados os valores de evapotranspiração e temperatura foliar, a partir de um valor calculado de resistência foliar. Desta forma, utilizando-se da fórmula proposta por Marin et al., (2001b) o valor de  $R_{c.c}$  é dado por:

$$R_{c.c} = \frac{(p * c_p * \Delta e)}{\gamma * 0,66 * (R_n - G)} - R_a \quad \text{Eq. 1}$$

**Tabela 1:** Valores médios diários de temperatura do ar (Temp. Ar), umidade relativa (UR), velocidade do vento (Vento), somatório diário do saldo de radiação (Rn) e somatório diário fluxo de calor no solo (G).

Dia J.	Temp. Ar (°C)	UR (%)	Vento (m.s <sup>-1</sup> )	Rn (MJ.m <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup> )	G (MJ.m <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup> )
179	20.8	67.2	1.3	4.32	0.34
188	17.8	67.8	1.9	2.82	0.21
194	20.8	66.3	1.4	4.87	0.26
202	21.3	62.9	2.2	6.05	0.20
208	22.1	54.9	1.5	4.44	0.15
225	25.2	52.0	2.8	4.91	0.19
233	16.9	71.3	3.0	3.01	0.00
243	24.5	61.9	3.1	9.61	0.47
249	26.3	40.5	1.4	8.87	0.57

Onde  $\rho$  é densidade do ar atmosférico ( $\sim 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$ ),  $c_p$  é o calor específico do ar ( $\sim 1005 \text{ J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ ),  $\Delta e$  é o déficit de pressão de vapor (kPa),  $\gamma$  é coeficiente psicrométrico (kPa.°C<sup>-1</sup>), Rn representa o saldo de radiação incidente no local ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{15min}^{-1}$ ), enquanto G expressa o fluxo de calor no solo ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{15min}^{-1}$ ).

O coeficiente psicrométrico ( $\gamma$ ) é dado pela seguinte equação:

$$\gamma = \frac{P_{atm} * c_p}{0,622 * \lambda E} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde  $P_{atm}$  é a pressão atmosférica no local obtida da estação situada no Posto Meteorológico da ESALQ/USP, em Piracicaba (kPa), e  $\lambda E$  é o calor latente de vaporização da água, assumido como aproximadamente  $2,47 \text{ MJ.kg}^{-1}$  (Szilagyi et al., 2017)□.

O valor de Ra na equação 1, corresponde a resistência aerodinâmica da comunidade vegetal ao fluxo de vapor dentro da camada limite superficial. Desta forma, Ra é calculado pela fórmula recomendada no boletim FAO-56 (Allen et al., 1998), sendo descrita por:

$$Ra = \frac{[\ln(z-d)/z_0]^2}{K^2 * U_z} \quad \text{Eq. 3}$$

Sendo  $z_0$  (Rosenberg et al., 1983) e D (Stanhill, 1969) dados por:

$$z_0 = \frac{h^{0,997}}{7,638} \quad \text{Eq. 4}$$

$$d = \frac{h^{0,979}}{1,425} \quad \text{Eq. 5}$$

Em que k é a constante de von Karman (0,41, adimensional),  $U_z$  é a velocidade do vento (m/s) medida na altura z (m),  $z_0$  é o comprimento da rugosidade da superfície vege-

tada (m), D é o deslocamento do plano zero (m) em relação ao nível do solo, sendo h a altura média da comunidade vegetal estudada (m).

A temperatura foliar foi calculada por duas vias: uma utilizando a Rc, e outra através do mesmo parâmetro, porém, através de um estimador (Rc.c). As duas vias são referenciadas por Temp. folha (1) e Temp. folha (2), respectivamente. Já a ETc, foi estimada utilizando-se apenas Rc.c, uma vez que a estação meteorológica instalada na área experimental determinou o valor de evapotranspiração a partir de valores reais medidos pela mesma, embora o foco deste trabalho seja fazer uso de modelos empíricos para quantificar novos dados, tendo em vista a falta de informações fornecidas por observações instrumentais.

Sendo assim, a temperatura foliar pode ser obtida por meio do cálculo do saldo de radiação, dado por:

$$Rn = H + LE + G \quad \text{Eq. 6}$$

Tal que, H é o fluxo de calor sensível, LE é o fluxo de calor latente e G, o fluxo de calor no solo (expressos em MJ/m<sup>2</sup>.dia). Assim, como descrito por Marin (2003):

$$H = \frac{p * c_p * (T_f - T_{ar})}{Ra} \quad \text{Eq. 7}$$

$$LE = \frac{p * \lambda E * [e_s(T_f) - e_a]}{\gamma * (Rc + Ra)} \quad \text{Eq. 8}$$

Dado que  $T_f$  corresponde a temperatura foliar (°C),  $T_{ar}$  corresponde a temperatura do ar (°C),  $e_a$  é a pressão parcial de vapor na atmosfera (kPa),  $e_s(T_f)$  é a pressão de saturação de vapor em função da temperatura da folha (kPa), determinada pela equação de Tetens (1930), tal que:

$$e_s = 0,6108 * 10^{\frac{7,5 * T}{237,3 + T}} \quad \text{Eq. 9}$$

$$e_a = \frac{UR * e_s}{100} \quad \text{Eq. 10}$$

Por fim, para que seja determinada a temperatura foliar, toma-se como base a seguinte equação:

$$Rn - (H + LE + G) = 0 \quad \text{Eq. 11}$$

Fazendo uso de funções específicas encontradas em softwares computacionais e estatísticos, pode ser obtido um valor de  $T_f$  que satisfaça a igualdade da equação, determinando desta forma, o valor de temperatura foliar.

Tomando como base que o valor de  $LE$  corresponde ao fluxo de calor latente dado pela vaporização da água em um dado ambiente, pode-se inferir que o volume de água evapotranspirado pode ser determinado pelo quociente do mesmo com o calor latente de vaporização da água. Assim, a evapotranspiração da cultura pode ser determinada por:

$$ET_c = \frac{LE}{\lambda E} \quad \text{Eq. 12}$$

Objetivando testar também a acurácia dos modelos abordados, utilizou-se também do índice de concordância 'd' de Willmott (Willmott et al., 2012), onde -1 representa "total falta de concordância" e 1 "concordância total entre observado e simulado". Sendo assim, foi possível testar estatisticamente se os dados estimados estão de acordo com os dados observados em campo, tanto para  $ET_c$ , bem como para a temperatura foliar.

Por fim, para avaliar a dispersão dos dados estimados com relação as amostras de campo, os modelos foram comparados com as observações pelo indicador  $R^2$ , que revela a precisão (ou confiabilidade) das informações geradas através de estimativas.

## Resultados e Discussão

O processamento dos dados obtidos em campo e as diferentes abordagens, permitiu a obtenção de um comparativo entre as metodologias utilizadas. Os modelos demonstraram alta confiabilidade nas estimativas, uma vez que são amplamente empregados e testados para as variáveis abordadas (Li et al., 2016; Valipour, 2015).

Ao se comparar os valores estimados de temperatura da folha pelos métodos (1) e (2), é possível observar certa tendência na variação da estimativa com relação ao segundo método. Analisando os valores obtidos de temperatura da folha a partir de  $R_{c.c}$ , nota-se que a resposta dos resultados acompanha a temperatura do ar média para cada instante nos dias registrados.

Com relação a temperatura foliar obtida a partir de dados de  $R_c$  medidos em porometria (1), o modelo demonstra subestimar os resultados com relação à temperatura do ar. Utilizando-se do modelo para outros cultivos, é notado que

a temperatura da folha ultrapassa a temperatura do ar no período diurno, nos momentos do dia no qual as medidas se encontram com as maiores temperaturas (Dong et al., 2017).

Ao se comparar os dados estimados de temperatura foliar com o que foi aferido em campo (Figura 1), percebe-se que há uma subestimação por parte do modelo em relação a realidade. Para a maioria das medições de temperatura foliar, o dado se mostrou superior ao que foi estimado, bem como à temperatura do ar, assim como o previsto na literatura.

Tomando como base a evapotranspiração da cultura medida e estimada, os valores calculados apresentaram boa confiabilidade e eficiência na representação dos dados obtidos através de instrumentos instalados em campo.

A grande maioria dos valores estimados de  $ET_c$  apresentaram-se abaixo do que foi medido, entretanto, houve grande proximidade entre o calculado e o observado (Figura 2). Desta forma, o método se mostrou útil e com boa fidelidade na apresentação dos resultados, configurando-se como uma boa opção para determinar a evapotranspiração da cultura, contando com poucos instrumentos, como um saldo radiômetro e anemômetros.

Partindo do pressuposto que a  $ET_c$  foi calculada a partir de uma estimativa de  $R_c$  ( $R_{c.c}$ ), utilizado para determinar  $LE$ , e através da divisão deste com o calor latente de vaporização da água ( $\lambda E$ ), resultando em de evapotranspiração de cultura com boa similaridade com o que foi observado experimentalmente, assim é possível inferir que o modelo mostrou boa performance na estimativa do cálculo de necessidade de água requerida para a cultura do trigo.

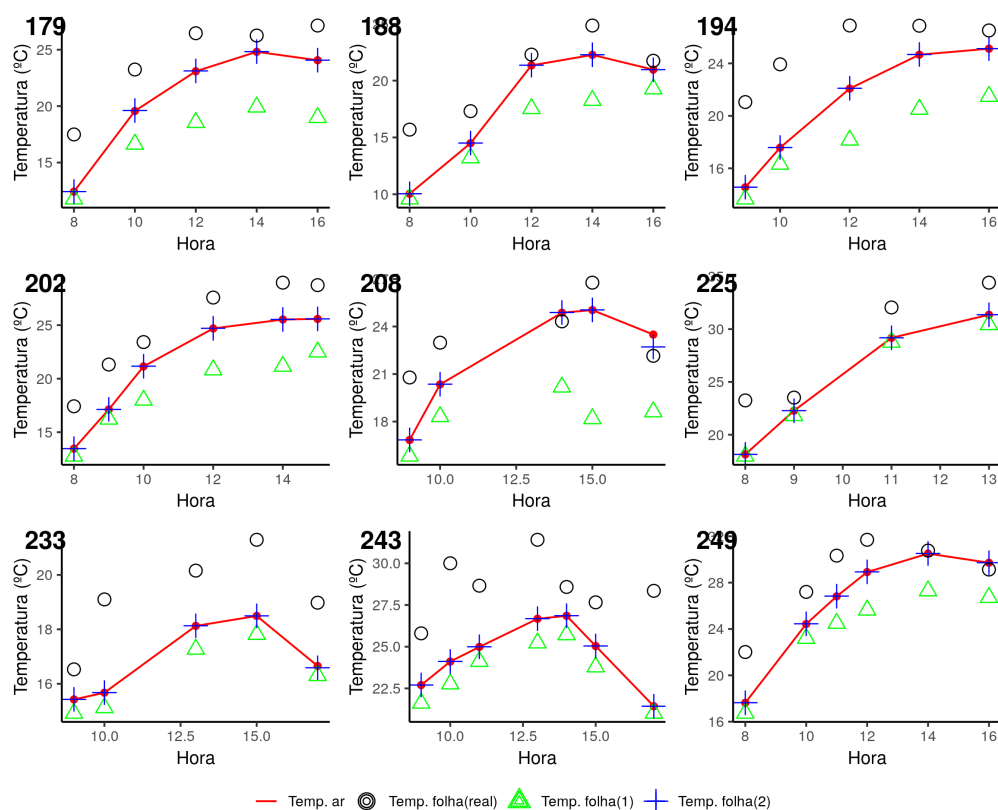
A proximidade entre dados estimados e medidos, pode ser melhor observada ao se comparar através de uma correlação direta de ambos os conjuntos de informações. Analisando a configuração da reta de regressão gerada, bem como  $R^2$  obtido, pode-se estabelecer um paralelo com relação ao método utilizado e a confiabilidade da informação gerada. Desta forma, quanto mais próximo o valor de  $R^2$  se aproximar de 1, maior é a confiabilidade dos dados estimados em relação aos observados.

A correlação direta mostrou que os dados de  $ET_c$  obtidos a partir do modelo testado, apresentaram alta confiabilidade e representatividade para a cultura do trigo em relação às informações obtidas pelos instrumentos instalados no campo experimental, demonstrando que os componentes que geram as informações estimadas tem alta relação com os dados obtidos em campo.

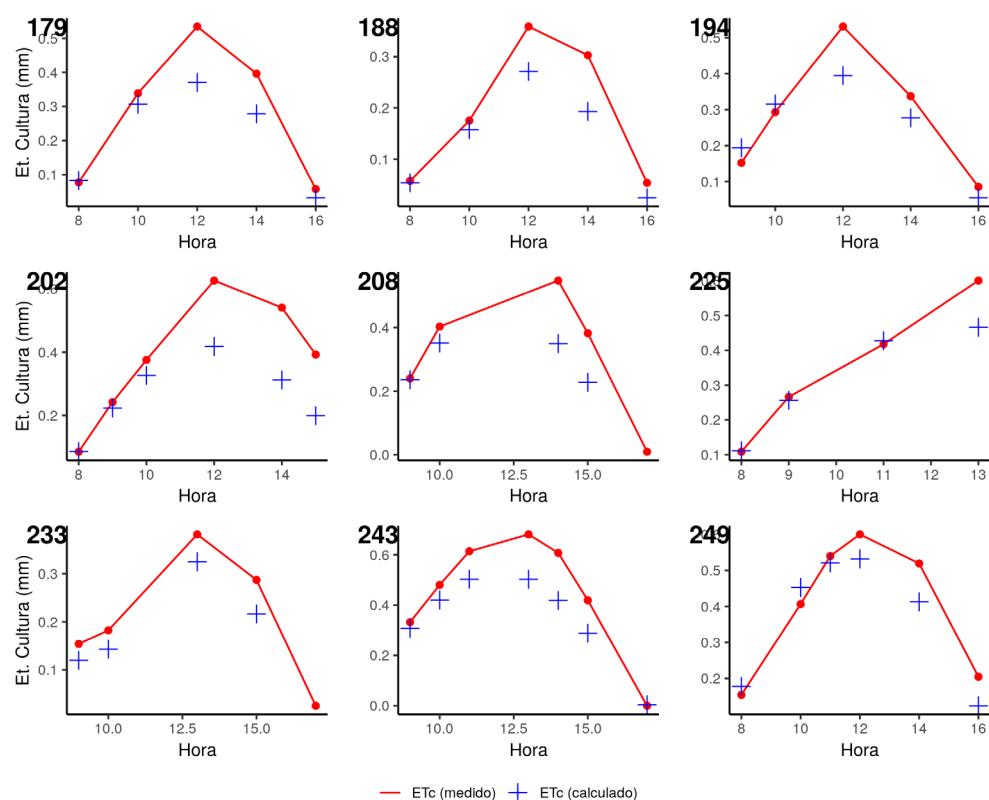
Para ambas as variáveis, o índice demonstrou alta concordância, com valores superiores a 0,91 e 0,87, respectivamente, o que evidencia a alta performance dos modelos em realizar as estimativas (Figura 3).

O mesmo pode ser observado através da mesma metodologia, porém aplicando-se aos dados de temperatura fo-

**Figura 1:** Comparativo entre a Temperatura do ar, Temperatura foliar real, Temperatura foliar calculada a partir do Rc medido (1) e Temperatura foliar calculada a partir de Rc.c (2).

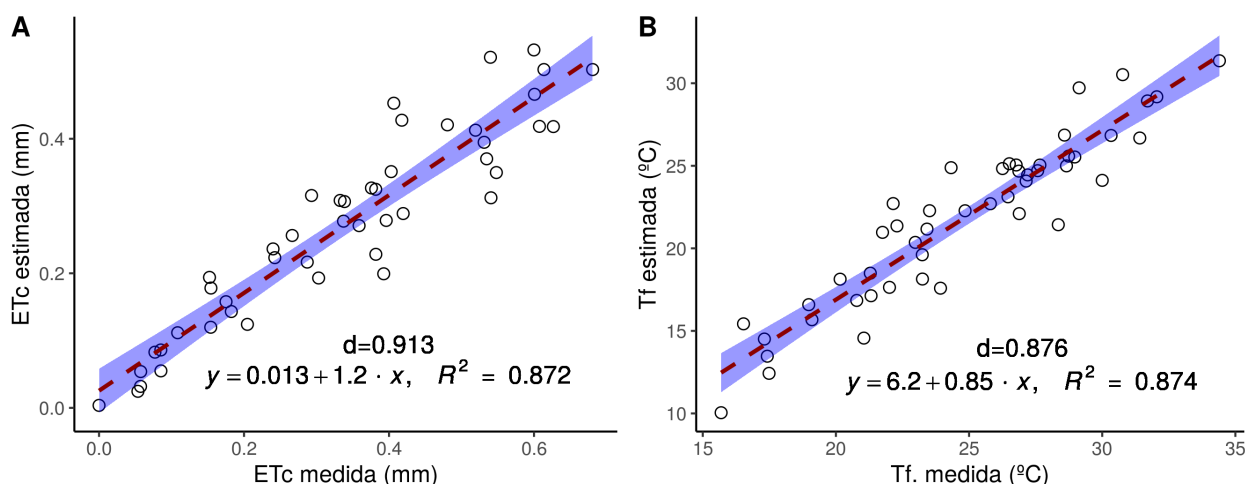


**Figura 2:** Comparativo entre a evapotranspiração da cultura medida em campo e a evapotranspiração da cultura estimada a partir de Rc.c.





**Figura 3:** (A) Correlação entre ETc medida e ETc estimada. (B) Correlação entre temperatura foliar medida e temperatura foliar estimada.



liar estimadas a partir de Rc.c (2) em relação ao que aferido em campo. Sendo assim, embora as temperaturas observadas se apresentem superiores ao estimado, a modelagem apresentou alta confiabilidade na representação dos dados reais. Portanto, apesar da disparidade entre simulado e medido, o modelo possui boa capacidade em expressar as informações de temperatura foliar para o trigo.

## Conclusão

As estimativas de ETc e Temp. Foliar através de modelos empíricos apresentaram boa representatividade para a cultura do trigo.

A tendência apresentada na variação dos resultados estimados frente aos dados observados, mostram que o uso destes modelos para suprir a demanda de eventuais dados faltantes em certas ocasiões, podem ser ferramentas úteis uma vez que apresentam boa confiabilidade na obtenção de novas informações.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado concedida e à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz por disponibilizar a estrutura e equipamentos necessários para a realização deste trabalho.

## Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. FAO, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

BEGUERÍA, S. et al. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 10, p. 3001–3023, 1 ago. 2014.

BOWEN, I. S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface, **Physical Review**, v. 27, p. 779–787, 1926.

CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_436.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_436.html)>. Acesso em: 10 maio 2017.

DONG, N. et al. Biophysical homeostasis of leaf temperature: A neglected process for vegetation and land-surface modelling. **Global Ecology and Biogeography**, v. 26, n. 9, p. 998–1007, 1 set. 2017.

GERHARDS, M. et al. Water stress detection in potato plants using leaf temperature, emissivity, and reflectance. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 53, p. 27–39, 1 dez. 2016.

HURA, T. et al. Water stress-induced flag leaf senescence may be accelerated by rehydration. **Journal of Plant Physiology**, v. 236, p. 109–116, 1 maio 2019.

JENSEN, M. E.; ALLEN, R. G. (EDS.). **Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements**. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2016.

LI, S. et al. Evaluation of six potential evapotranspiration models for estimating crop potential and actual evapotranspiration in arid regions. **Journal of Hydrology**, v. 543, p. 450–461, 2016.

MARIN, F. R. et al. Algoritmo computacional para estimativa da evapotranspiração potencial. In: **XII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, Fortaleza. p. 593–594, 2001a.

MARIN, F. R., ANGELOCCI, L. R., RIGHI, E. Z. Modelo simplificado para estimativa da resistência à difusão de vapor de árvores de lima ácida “Tahiti”. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 227–233, 2001b.

MARIN, F. R., RIGHI, E. Z., SANTIAGO, V. A., SENTELHAS, P. C., MAGGIOTO, S. R., LYRA, G. B. Estimativa da temperatura da superfície e da evapotranspiração em gramado com um método iterativo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 221–228, 2003.

MCMAHON, T. A.; FINLAYSON, B. L.; PEEL, M. C. Historical developments of models for estimating evaporation using standard meteorological data. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 3, n. 6, p. 788–818, 2016.

MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. Water in the plant. **Symposium of the Society for Experimental Biology**, Cambridge, v. 19, p. 205–234, 1965.

ROSENBERG, N. J., BLAD, B. L., VERMA, S. B. **Microclimate: The Biological Environment**. Wiley, USA, 495 pp 1983.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. [s.l.] Brasília, DF: Embrapa, 2013.

STANHILL, G., 1969. A simple instrument for the field measurement of turbulent diffusion flux. **Journal of Applied Meteorology** **8**, 509-513.

SZILAGYI, J.; CRAGO, R.; QUALLS, R. A calibration-free formulation of the complementary relationship of evaporation for continental-scale hydrology. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 122, n. 1, p. 264-278, 16 jan. 2017.

TETENS, Otto. Über einige meteorologische Begriffe. **Z. Geophys.**, v. 6, p. 297-309, 1930.

VALIPOUR, M. Temperature analysis of reference evapotranspiration models. **Meteorological Applications**, v. 22, n. 3, p. 385-394, 1 jul. 2015.

VALIPOUR, M. Calibration of mass transfer-based models to predict reference crop evapotranspiration. **Applied Water Science**, v. 7, n. 2, p. 625-635, 5 maio 2017.

WILLMOTT, C. J.; ROBESON, S. M.; MATSUURA, K. A refined index of model performance. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 13, p. 2088-2094, 2012.

## REFERENCIAÇÃO

ANTOLIN, L. A. S.; PEREIRA, R. A. A.; MARIN, F. R. Estimativa da temperatura de superfície foliar e de evapotranspiração para a cultura do trigo. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.1, p.135-142, set 2019.

Declaração: os trabalhos estão sendo publicados nesse número de AGROMETEOROS (v.27, n.1, set 2019) conforme foram aceitos pelo XXI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, realizado de 12 a 16 de agosto de 2019, em Catalão, Goiás, sem revisão editorial adicional da revista.





# Assessing wheat leaf surface temperature and crop evapotranspiration based on an iterative method

Luís Alberto Silva Antolin<sup>1</sup>, Rodolfo Armando de Almeida Pereira<sup>1</sup> and Fábio Ricardo Marin<sup>1(\*)</sup>

<sup>1</sup>Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP). Avenida Pádua Dias, 11, CEP 13418-900 Piracicaba, SP, Brazil.

E-mails: [antolin.luis@gmail.com](mailto:antolin.luis@gmail.com), [rodolfopereira@usp.br](mailto:rodolfopereira@usp.br) and [fabio.marin@usp.br](mailto:fabio.marin@usp.br)

(\*)Corresponding author.

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 18 September 2019

Accepted 4 March 2020

### Index terms:

evapotranspiration

modelling

wheat

## ABSTRACT

The present work aimed to use iterative methods to determine and evaluate wheat (*Triticum aestivum* L.) leaf surface temperature (Tf) and crop evapotranspiration (Etc), based on empirical models a few variables quantified by field samples. All info used for model adjustments were gathered from a micrometeorological automated station installed at the experimental area, and porometry regularly measured during the crop season. The models were hard tested using comparisons with field data and evaluated by their precision (R<sup>2</sup>) and accuracy (d). The optimization through a iterative computational method for the best fit, resulted in models with R<sup>2</sup> of 0.872 and 0.874, and “d” of 0.913 and 0.876 for ETc and Tf, respectively, which shows a good reliability of the combined action of empirical models applied to the computation environment, in estimating micrometeorological components.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

## CITATION

ANTOLIN, L. A. S.; PEREIRA, R. A. A.; MARIN, F. R. Estimativa da temperatura de superfície foliar e de evapotranspiração para a cultura do trigo. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.1, p.135-142, set 2019.

Disclaimer: papers are published in this issue of AGROMETEOROS (v. 27, n.1, set 2019) as accepted by the XXI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, held August 12-16, 2019 in Catalão, Goiás State, Brazil, without further revision by editorial board.