

COEFICIENTES DE ANGSTRÖM-PRESCOTT PARA ESTIMAR A RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL EM CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ

JOSÉ CARLOS MENDONÇA¹; ANDRE DALLA BERNARDINA GARCIA² E JONATHAN NOGUEIRA FRANCO³

¹ Laboratório de Engenharia Agrícola – LEAG, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Av. Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. mendonca@uenf.br

² Laboratório de Engenharia Agrícola – LEAG, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Av. Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. andredallabg@outlook.com

³ Laboratório de Engenharia Agrícola – LEAG, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Av. Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. jonathannfranco@gmail.com

1 RESUMO

Para reduzir custos com equipamentos utilizados na estimativa da radiação solar, geralmente são realizadas estimativas a partir de um modelo utilizando a irradiância solar, como Angström-Prescott. Esse trabalho teve por objetivo obter os coeficientes, mensais, utilizados na equação de Angström-Prescott para estimativa da Radiação Solar Global no município de Campos dos Goytacazes, RJ. Foram utilizados dados meteorológicos entre os anos de 1998 a 2020 para obtenção dos valores de horas de insolação (n), máximo de horas de insolação diária (N), radiação solar global no topo da atmosfera (Ra) e radiação solar global (Rs) mensalmente estimados. Os resultados foram validados por meio dos índices de concordância (D), erro médio absoluto (MAE), erro máximo (EMAX), eficiência do modelo ou método (EF), índice de desempenho (c) e coeficiente residual de massa (CRM). Para a região de estudo, os coeficientes “a” e “b” encontrados foram 0,0191 e 0,9486, respectivamente, considerando-se os valores anuais. Os índices estatísticos “D” e “c” foram 0,977 e 0,94, respectivamente, sendo classificados como ótimos. A partir dos resultados e obtidos é possível utilizar apenas um heliógrafo para estimar a radiação global com ótima precisão, em cada um dos meses individualmente, para a cidade de Campos dos Goytacazes.

Palavras-chave: climatologia, agrometeorologia, modelagem.

MENDONÇA, J. C., GARCIA, A. D. B., FRANCO, J. N.
MONTHLY ANGSTRÖM-PRESCOTT COEFFICIENTS TO ESTIMATE GLOBAL SOLAR RADIATION IN CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ

2 ABSTRACT

To reduce costs with equipment used to estimate solar radiation, estimates are usually made based on a model that uses solar irradiance, such as Angström-Prescott. This work aimed to obtain monthly coefficients, using the Angström-Prescott equation to estimate Global Solar Radiation in the city of Campos dos Goytacazes, RJ. Meteorological data from 1998 to 2020 were used to obtain values of hours of sunshine (n), maximum hours of daily sunshine (N), global solar recording at the top of the atmosphere (Ra) and global solar radiation (Rs)

monthly estimated. The results were validated using agreement indexes (D), mean absolute error (MAE), maximum error (EMAX), model or method efficiency (EF), performance index (c) and residual mass coefficient (CRM). For the study region, coefficients "a" and "b" found were 0.0191 and 0.9486, respectively, considering the annual values. The statistical indexes "D" and "c" were 0.977 and 0.94, respectively, and were classified as great. Based on the results, it is possible to use only a heliograph to estimate global radiation with maximum precision, in each month, individually, for the city of Campos dos Goytacazes.

Keywords: climatology, agrometeorology, modeling.

3 INTRODUÇÃO

O conhecimento da radiação solar na superfície da Terra é necessário à várias aplicações e atividades humanas, incluindo a meteorologia, a construção de sistemas fotovoltaicos ativos e passivos, a construção civil e a arquitetura, a agricultura e a climatologia (MEDEIROS; SILVA; BEZERRA, 2017).

Nesse sentido, o estudo da climatologia tem grande importância para auxiliar no manejo de irrigação e ganhos produtivos na agricultura. Dentre os fatores de estudo neste campo, a evapotranspiração de referência (ET_o) tem a maior influência na perda de água no sistema solo-planta-atmosfera, por isso quantificar esta variável é imprescindível.

Uma das mais importantes variáveis para estimar a ET_o é a Radiação Solar (R_s), no entanto estes dados estão disponíveis em menor quantidade do que número de horas de sol, temperatura e precipitação (HYUN; KIM, 2016), principalmente devido ao alto custo dos equipamentos utilizados para esta finalidade como o instrumento mais usado no Brasil, o piranômetro que mede também a radiação difusa, além do radiômetro e do actinógrafo bimetálico (MACÊDO et al., 2016).

Para reduzir os custos com implantação de equipamentos e facilitar a obtenção de dados de radiação solar, geralmente são realizadas estimativas de irradiação solar, que matematicamente integram um modelo de irradiância

utilizando variáveis de um dia com céu limpo e claro (PAULESCU et al., 2016).

De acordo com Antunes Júnior et al. (2017) a equação de Angström-Prescott, tem sido amplamente utilizada para estimar a radiação solar, uma vez que os valores de R_s podem ser estimados para qualquer região utilizando apenas um heliógrafo que é um equipamento de baixo custo, além de simples utilização, e valores de constantes diárias para o período de um ano.

Segundo Silva et al. (2016) o modelo de Angström-Prescott é o principal modelo estatístico para estimar a radiação solar global (R_s), a partir de uma única variável, o brilho solar (n) e outras duas constantes diárias. Tendo como única desvantagem a validade apenas para os locais em que são gerados ou para regiões de clima similar.

O Norte Fluminense apresenta forte característica rural e historicamente, o setor agropecuário da região tem sido caracterizado por alta concentração fundiária e por índices de produtividade baixos em relação aos valores nacionais (BAHIENSE; SOUZA; PONCIANO, 2015).

Ainda em acordo com Bahiense, Souza e Ponciano (2015) desde o século XVII, a indústria da cana-de-açúcar se destaca como uma das principais atividades econômicas da região. No entanto, em razão de alterações político-institucionais e das condições de mercado, que afetaram o setor sucroalcooleiro, a economia agrícola da região tem passado por um movimento de

empobrecimento, acompanhado a indicadores de êxodo rural, degradação ambiental e baixos índices de desenvolvimento humano.

Nesse sentido a utilização de técnicas e metodologias que auxiliem a redução de custos no manejo e condução das culturas é essencial para permanência e prosperidade do produtor rural do norte fluminense.

A realização deste trabalho teve como objetivo obter os coeficientes mensais e anual de “a” e “b” utilizados na equação de Angström-PreScott para estimativa da Radiação Solar Global no município de Campos dos Goytacazes, RJ.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da região experimental e coleta de dados

O trabalho foi realizado com dados obtidos por meio da Estação Experimental de Campos dos Goytacazes, PESAGRO-RIO, com coordenadas geográficas de 21°18'47" Sul e 41°18'24" Oeste e altitude de 11m, pertencente à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima da região é classificado como Aw, ou seja, clima tropical úmido, com verão chuvoso, inverno seco e temperatura do mês mais frio superior a 18 °C (PAES; ESTEVES; SOUSA, 2012).

Foram utilizados vinte anos de dados de horas de insolação (n), máximo de horas de insolação diária (N), radiação solar global no topo da atmosfera (Ra) e radiação solar global (Rs) adquiridos do banco de dados agrometeorológicos do laboratório de

engenharia agrícola – LEAG UENF com data entre 1998 a 2020.

As colunas e linhas de dados da planilha eletrônica que apresentavam algum tipo de inconsistência como valores em branco ou espúrios foram removidos sem prejuízos a confiabilidade estatística.

Os dados de número de horas de insolação (n) foram obtidos pela leitura da fita graduada queimada por um heliógrafo, enquanto os valores de máximo de insolação diária (N) foram calculados para cada dia do ano a partir da Equação 1, conforme Mehdizadeh, Behmanesh e Khalili (2016):

$$N = \frac{2}{15} \omega_s \quad (1)$$

Em que ω_s é o ângulo horário do nascer do Sol, em graus (°), calculado a partir da Equação 2:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \delta \tan \varphi) \quad (2)$$

Na qual, δ representa da declinação solar, em graus (°), calculada utilizando a Equação 3 e φ é a latitude da estação experimental também em graus (°):

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360(J + 284)}{365}\right) \quad (3)$$

Onde J refere-se ao dia juliano do ano começando por primeiro de janeiro.

Os dados de radiação solar global (Rs) foram adquiridos pela leitura dos resultados obtidos por meio de um piranômetro, e os valores de radiação no topo da atmosfera (Ra) foram calculados a partir de uma equação empírica descrita por Quej et al. (2016) conforme a Equação 4:

$$Ra = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_s f \left(\cos \varphi \cos \delta \operatorname{sen} \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \delta \right) \quad (4)$$

Em que G_s representa a constante solar (1367 Wm^{-2}), f é um fator de correção de excentricidade, φ é a latitude da estação experimental em graus ($^\circ$), δ e ω_s são a declinação solar e o ângulo horário do nascer do Sol, respectivamente, calculados conforme as equações 3 e 2 já apresentadas.

4.2 Cálculo dos coeficientes de Angström-Prescott

Como existe uma relação entre o brilho solar (insolação) e a radiação solar, que é distinta para cada local, bem como para cada época do ano, vários modelos foram desenvolvidos para estimá-los a partir somente dos dados de insolação. O precursor destes modelos foi publicado por Angström (1924), e logo em seguida foi simplificado por Prescott (1940), de modo que a partir dos coeficientes linear (a) e angular (b) de uma equação linear simples entre a razão do brilho solar e a radiação global, fosse possível estimar a radiação solar global, tendo como base os dados de insolação, este modelo então ficou conhecido como Angström-Prescott (MORATO, 2019).

Para calcular os valores dos coeficientes “a” e “b” utilizados na equação de Angström-Prescott foi adotada a metodologia descrita por Silva (2014) em que o cálculo dos coeficientes é realizado a partir da relação entre a fração do número de horas de insolação (n) e o máximo de insolação diária (N) com a fração da radiação solar global (Rs) e a radiação no topo da atmosfera (Ra), calculados conforme a Equação 5:

$$\frac{R_s}{R_a} = \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (5)$$

Ao obter os valores dos coeficientes a próxima etapa consistiu em comparar os valores de Rs obtidos com a aplicação dos valores de “a” e “b” com os valores reais adquiridos pela leitura do piranômetro.

Como os valores de N e Ra são fixos para cada dia do ano, conforme a latitude local, o cálculo da Radiação Solar global (Rs) pode ser realizado utilizando apenas um heliógrafo para obtenção do n e um rearranjo da Equação 5, gerando a Equação 6, apresentada por Carvalho et al. (2011):

$$R_s = \left(a + b \frac{n}{N} \right) R_a \quad (6)$$

Onde n é o número de horas de insolação (h.dia^{-1}), N é o máximo de insolação diária (h.dia^{-1}), Ra representa a radiação no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

4.3 Validação estatística

Com a finalidade de avaliar a eficiência e a precisão da estimativa da radiação solar global a partir dos coeficientes obtidos pela equação de Angström-Prescott foram aplicados parâmetros estatísticos segundo a metodologia utilizada por Garcia, Mendonça e Martins (2017), para calcular o índice de concordância (D) conforme Willmott et al. (1985), erro médio absoluto (MAE), erro máximo (EMAX), eficiência do modelo ou método (EF) e índice de desempenho (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997), conforme as equações 7, 8, 9, 10 e 11, respectivamente:

$$D = 1 - \frac{\sum_i^n (P_i - O_i)^2}{\sum_i^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (7)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (8)$$

$$EMAX = \text{máx} (|O_i - P_i|) \quad (9)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O - \bar{O})^2} \quad (10)$$

$$c = r * D \quad (11)$$

Em que P_i – Valores estimados; O_i – Valores reais observados; \bar{O} – Média dos valores reais observados; $máx$ – Máximo valor encontrado da diferença em módulo; r – Coeficiente de correlação de Pearson; D – Índice de concordância de Willmott, obtido pela Equação 7.

De acordo com Peixoto et al. (2014), para os índices ‘D’, ‘EF’ e ‘c’, quanto mais próximos a 1, melhor o desempenho do método, isso indica que os valores obtidos na previsão do modelo são

também similares aos resultados reais ou obtidos por meio de um método considerado como padrão.

A classificação da eficiência do modelo (EF), também conhecido como coeficiente de Nash-Sutcliffe (C_{NS}), foi arranjada de acordo a indicação de diferentes autores. Beskow et al. (2011) sugerem que para valores do índice $EF = 1$, o ajuste é considerado perfeito, valores de $EF > 0,75$ o modelo é considerado adequado e bom, e se $0,36 < EF < 0,75$ o modelo é considerado aceitável. No entanto para Zappa e Gurtz (2002), valores de EF maiores do que 0,5 já habilitam o modelo para simulação.

Para classificar o índice de desempenho (c), adotou-se a Tabela 1, seguindo os critérios indicados por Camargo e Sentelhas (1997).

Tabela 1. Critérios de interpretação do índice de desempenho “c”.

Índice de desempenho	Classificação
>0,85	Ótimo
0,76 – 0,85	Muito bom
0,66 – 0,75	Bom
0,61 – 0,65	Mediano
0,51 – 0,60	Sofrível
0,41 – 0,50	Mal
<0,41	Péssimo

Fonte: Adaptado de Camargo e Sentelhas (1997).

Outro parâmetro estatístico avaliado foi o coeficiente residual de massa (CRM), calculado conforme a Equação 12. Este índice expressa a condição de ótima ajuste, ou seja, quanto mais próximo de zero, melhor a adequação do modelo. Deste modo, valores positivos indicam tendência à superestimação, enquanto os negativos a subestimação (ANDRADE JUNIOR et al., 2012).

$$CRM = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \bar{y}_i - \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} \right] \quad (12)$$

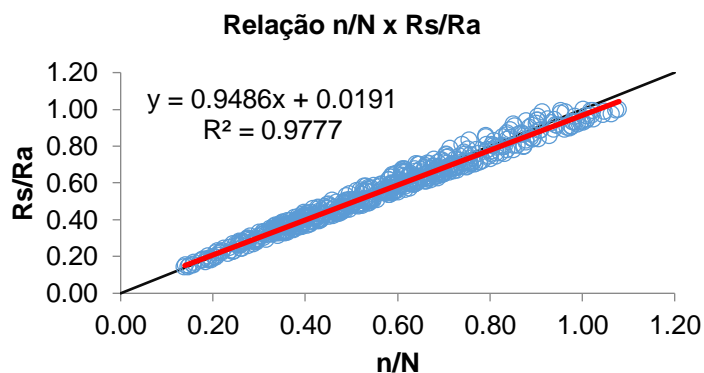
Onde \bar{y}_i é o valor estimado da razão de radiação (Rs/Ra) e y_i representa valor observado da razão de radiação (Rs/Ra).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise e tratamento dos dados meteorológicos de radiação solar e número de horas de sol foi possível plotar o

Gráfico 1 que representa a distribuição anual dos valores de R_s/R_a em relação à n/N , considerando-se todos os dados disponíveis (Geral).

Gráfico 1. Distribuição diária da razão entre a radiação solar e a extraterrestre (R_s/R_a) e a razão insolação (n/N), no período de 1998 a 2020.



Por meio da construção do gráfico foi possível obter a equação linear que fornece os coeficientes linear (a) e angular (b) gerais, sendo estes utilizados na equação de Angström-Prescott para estimar os valores de R_s . Para a região de Campos dos Goytacazes o coeficiente “ a ” encontrado é igual a 0,0191 e “ b ” a 0,9486, considerando-se os valores anuais. Observe-se também uma maior diferença entre os valores estimados na faixa de 0,8 a 1,0.

O valor de “ a ” é o coeficiente que expressa a fração da radiação no topo da atmosfera que atinge a Terra em dias totalmente nublados, correspondente à fração difusa, e “ b ” é o coeficiente complementar que expressa o total de radiação solar global. Trabalhos realizados

em regiões com clima semelhante a Campos dos Goytacazes (Koppen Aw) encontraram valores médios de “ a ” 0,2 e valores médios de “ b ” 0,5 (ALMOROX et al., 2018; CARVALHO et al., 2011; MORATO, 2019).

O valor de R^2 (0,977) da equação indica que houve bom ajustamento e pouca dispersão entre a razão de radiação e a razão de insolação (brilho solar). Para este resultado os valores devem variar entre 0 e 1, de modo que quando mais próximos da proporção 1:1 melhor a relação entre as razões.

Após o teste com os dados anuais e gerais foram realizados os cálculos para cada um dos meses entre os anos de 1998 a 2019, obtendo os resultados exibidos na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios mensais, anual e de todo o período (geral) dos parâmetros da equação de Angstrom-Prescott, e seus respectivos coeficientes de determinação e valores da radiação calculada e medida ($W m^{-2}$).

Meses	a	b	R ²	Equação estimativa	Rs Est. (média)	Rs Medida (média)
Jan	0,075	0,797	0,911	Rs= (0,0755 + 0,797 *n/N)*Ra	294,27	294,30
Fev	0,009	0,814	0,917	Rs= (0,009 + 0,8146 *n/N)*Ra	258,94	290,19
Mar	0,051	0,853	0,896	Rs= (0,051 + 0,853 *n/N)*Ra	242,45	242,52
Abr	0,031	0,876	0,922	Rs= (0,031 + 0,876 *n/N)*Ra	214,39	214,39
Mai	0,026	0,890	0,961	Rs= (0,026 + 0,890 *n/N)*Ra	182,04	182,06
Jun	0,068	0,801	0,909	Rs= (0,068 + 0,801 *n/N)*Ra	135,87	135,86
Jul	0,057	0,840	0,960	Rs= (0,057 + 0,840 *n/N)*Ra	172,96	173,19
Ago	0,019	0,898	0,929	Rs= (0,019 + 0,89 *n/N)*Ra	225,86	225,87
Set	0,009	0,926	0,95	Rs= (0,009 + 0,926 *n/N)*Ra	212,16	211,92
Out	0,043	0,851	0,937	Rs= (0,043 + 0,851 *n/N)*Ra	240,35	240,38
Nov	0,057	0,836	0,938	Rs= (0,057 + 0,836 *n/N)*Ra	249,06	249,04
Dez	0,033	0,882	0,936	Rs= (0,0331 + 0,882 *n/N)*Ra	280,65	280,65
Anual	0,019	0,948	0,977	Rs= (0,019 + 0,948 *n/N)*Ra	224,13	224,05

Com este resultado pode-se afirmar que, segundo o presente estudo a Equação 13, com a utilização dos dados corretos estima de forma confiável a radiação solar global (Rs) de maneira anual, ou seja em qualquer mês, para a cidade de Campos dos Goytacazes, RJ:

$$R_s = \left(0,0191 + 0,9486 \frac{n}{N} \right) R_a \quad (13)$$

A partir dos coeficientes linear e angular obtidos e aplicando a equação 13, foram estimados valores de Rs com uso apenas dos dados de “n” provenientes da leitura do heliógrafo, como demonstrado na Tabela 2, relacionando radiação solar real observada e radiação solar estimada.

Pela análise da Tabela 2 pode-se observar que há grande concordância entre os dados estimados e os dados reais observados de radiação solar global. Observa-se ainda uma precisão elevada na estimativa dos valores, uma vez que, os coeficientes de determinação ficaram muito próximos a 1.

Os coeficientes de determinação (R²), obtido para os meses do ano indica que o modelo linear utilizado estimou com boa performance a variação explicada em contraste com a variação total. Alguns autores (BELÚCIO et al., 2014; BEXAIRA et al., 2018; RIBEIRO et al., 2018) obtiveram valores de R² entre 0,8 e 0,98 indicando que o modelo de Angström-Prescott estimou com precisão os valores de

radiação solar, concordando com os resultados encontrados neste trabalho.

Além da análise gráfica, os resultados da análise estatística indicam que

houve uma boa resposta da aplicação dos coeficientes e do modelo linear proposto por Angström-Prescott, conforme resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores mensais dos parâmetros estatísticos e índice de desempenho (c) entre valores diários de radiação solar ($W m^{-2}$).

Mês	D	MAE	EMAX	EF	c	CRM	Classificação
Janeiro	0,98	15,75	62,08	0,91	0,93	0,00006	Ótimo
Fevereiro	0,93	31,25	107,14	0,75	0,89	-0,1077497	Ótimo
Março	0,97	16,18	56,26	0,90	0,92	-0,000026	Ótimo
Abril	0,98	13,60	52,36	0,93	0,94	-0,00007	Ótimo
Mai	0,99	10,26	37,91	0,97	0,97	-0,000058	Ótimo
Jun	0,98	8,65	27,32	0,91	0,93	-0,000013	Ótimo
Jul	0,99	9,67	34,62	0,96	0,97	-0,000073	Ótimo
Ago	0,98	13,96	49,87	0,93	0,95	-0,000092	Ótimo
Set	0,99	12,44	45,85	0,95	0,96	0,000049	Ótimo
Out	0,98	14,04	48,26	0,94	0,95	-0,00002	Ótimo
Nov	0,98	15,79	62,41	0,94	0,95	-0,000018	Ótimo
Dez	0,98	18,07	52,69	0,94	0,95	-0,000022	Ótimo

De acordo com Willmott et al. (1985) o índice de concordância (D) pode assumir valores de 0 a 1, sendo que valores próximos 0 indicam maior discordância, enquanto valores mais próximos a 1 indicam maior concordância nos resultados. Portanto, para este trabalho, obteve-se uma concordância muito boa entre os valores estimados e observados.

Os índices de MAE e EMAX indicam em valores absolutos a média de erros e o erro máximo absoluto encontrado ao comparar todos os pontos observados aos estimados. O maior valor para variável EMAX foi observado em fevereiro (107,14), obtido em cálculo efetuado com dados referentes ao dia 11/02/2012. A média absoluta dos erros entre 8,35 a 31,25 é considerada aceitável, uma vez que representa um erro de 6 a 11% na estimativa da radiação, dependendo da insolação diária. De acordo com Borges Júnior et al. (2017), algumas medidas de calibração podem ser tomadas para reduzir o valor de MAE, como melhor aferição na coleta de dados manuais, maior cuidado na

triagem de dados e calibração conforme diferentes períodos e estações do ano.

O índice de concordância (c), classificado como ótimo para todos os meses, corrobora os demais resultados obtidos com os outros indicadores, reafirmando a alta eficiência do método como se pode verificar no valor médio de EF (92%), exceto para o mês de fevereiro que teve a eficiência abaixo dos demais com 75% apenas.

Os valores de CRM calculados foram muito próximos a zero, o que indica uma condição ótima de ajuste. Além disso observa-se que para os meses de janeiro e setembro houve tendência em superestimar os valores, devido ao valor positivo de CRM, enquanto os demais meses têm a tendência a subestimar a Radiação Solar, em virtude do valor negativo do índice conforme Andrade Junior et al. (2012).

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, indica-se 0,0191 e 0,9486 como valores gerais para “a” e “b”,

respectivamente, a serem utilizados na equação da estimativa de radiação global por meio da equação de Angström-Prescott, para o município de Campos dos Goytacazes, RJ.

Todas as equações obtidas para cada um dos meses foram eficientes em determinar a Radiação Solar, com base

apenas no valor de insolação diária e radiação no topo da atmosfera.

A partir dos resultados e dos coeficientes obtidos é possível utilizar apenas um heliógrafo para estimar a radiação global com ótima precisão para a cidade de Campos dos Goytacazes, RJ.

7 REFERÊNCIAS

ALMOROX, J.; SENATORE, A.; QUEJ, V. H.; MENDICINO, G. Worldwide assessment of the Penman–Monteith temperature approach for the estimation of monthly reference evapotranspiration. **Theoretical and Applied Climatology**, Vienna, v. 131, n. 1-2, p. 693-703, 2018.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; NOLETO, D. H.; SILVA, M. E.; BRAGA, D. L.; BASTOS, E. A. Coeficientes da equação de Angstrom-Prescott para Parnaíba, Piauí. **Comunicata Scientiae**, v.3, n. 1, p.50-54, 2012.

ANGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Londres, v. 5, n. 210, p. 121-126, 1924.

ANTUNES JÚNIOR, E.; CASAROLI, D.; ALVES JUNIOR, J.; EVANGELISTA, A. W. Ajuste dos parâmetros da equação de Angström-Prescott na estimativa da radiação global em municípios goianos. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 26., 2017, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: ABID, p. 1348 – 1359 2017.

BAHIENSE, D. V.; SOUZA, P.; PONCIANO, N. J. Incentivos à produção de frutas e as mudanças na agricultura da região norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 2, p. 387-395, 2015.

BELÚCIO, L. P.; SILVA, A. P. N. D.; SOUZA, L. R.; MOURA, G. B. D. A. Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. 4, p. 494-504, 2014.

BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; SILVA, A. M. Performance of a distributed semi-conceptual hydrological model under tropical watershed conditions. **Catena**, Amsterdam, v. 86, n. 3, p. 160-171, 2011.

BEXAIRA, K. P.; STRECK, N. A.; CERA, J. C.; PRESTES, S. D. Coeficientes de Angström-Prescott para estimar a radiação solar no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 33, n. 3, p. 401-411, 2018.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; OLIVEIRA, A. L. M.; ANDRADE, C. D. L. T.; PINHEIRO, M. A. B. Equação de Hargreaves-Samani calibrada em diferentes bases temporais para Sete Lagoas, MG. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 38-49, 2017.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARVALHO, D. F.; SILVA, D. G.; SOUZA, A. P.; GOMES, D. P.; ROCHA, H. S. Coeficientes da equação de Angström-Prescott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 838-844, 2011.

GARCIA, A. D. B.; MENDONÇA, J. C.; MARTINS, C. A. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET0) no município de Santa Teresa, ES. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 4, p. 701-714, 2017.

HYUN, S. W.; KIM, K. S. Estimating Daily Solar Radiation Using Angström-Prescott Equation in Korea. In: THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY CONFERENCE, 2016, Seoul. **Proceedings** [...]. Daejeon: Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology, 2016. p. 147-150.

MACÊDO, K. G.; OLIVEIRA, J. B.; ARRAES, F. D. D.; TORRES, W. L. V.; LIMA JUNIOR, J. C. Nota técnica: estimativa da radiação solar global com dados de temperatura do ar em seis cidades do estado do Ceará. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 68-75, 2016.

MEDEIROS, F. J.; SILVA, C. M.; BEZERRA, B. G. Calibration of Ångström-Prescott Equation to Estimate Daily Solar Radiation on Rio Grande do Norte State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 32, n. 3, p. 409-416, 2017.

MEHDIZADEH, S.; BEHMANESH, J.; KHALILI, K. Comparison of artificial intelligence methods and empirical equations to estimate daily solar radiation. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, London, v. 146, n. 8, p. 215-227, 2016.

MORATO, B. C. **Determinação do consumo hídrico do pombeiro (*Combretum lanceolatum* Pohl)**. Cuiabá: UNIC, 2019. Disponível em: <https://repositorio.pgskroton.com/bitstream/123456789/23799/1/Bruno%20Campos%20Morato.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2020.

PAES, H. M. F.; ESTEVES, B. D. S.; SOUSA, E. F. Determinação da demanda hídrica do quiabeiro em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 256-261, 2012.

PAULESCU, M.; STEFU, N.; CALINOIU, D.; PAULESCU, E.; POP, N.; BOATA, R.; MARES, O. Ångström-Prescott equation: Physical basis, empirical models and sensitivity analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Northern Ireland, v. 62, n. 10, p. 495-506, 2016.

PEIXOTO, T. D. C.; LEVIEN, S. L. A.; BEZERRA, A. H. F.; SOBRINHO, J. E. Avaliação de diferentes metodologias de estimativa da ET₀ baseadas no tanque classe A, em Mossoró, RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 2, p. 58-65, 2014.

PRESCOTT, J. A. Evaporation from water surface in relation to solar radiation. **Transactions of the Royal Society of Australia**, Adelaide, v. 64, n. 1, p. 114-122, 1940.

QUEJ, V. H.; ALMOROX, J.; IBRAKHIMOV, M.; SAITO, L. Empirical models for estimating daily global solar radiation in Yucatán Peninsula, Mexico. **Energy conversion and management**. London, v. 110, n. 4, p. 448-456, 2016.

RIBEIRO, A. D. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; SILVA, E. M.; BASTOS, E.; SIMEÃO, M. Estimativa da radiação solar global a partir dos dados de insolação no Estado do Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 12, n. 1, p. 2348-2356, 2018.

SILVA, A. O. Coeficientes de Angström-Prescott e sua influência na radiação solar e ET₀ no perímetro irrigado de Bebedouro em Petrolina. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 8, n. 4, p. 333-342, 2014.

SILVA, M. B. P.; ESCOBEDO, J. F.; ROSSI, T. J.; SANTOS, C. M.; SILVA, S. M. G. Desempenho do Modelo Angström-Prescott (AP) e das Técnicas MVS e RNA na Estimativa da Irradiação Solar Global em Botucatu/SP/Brasil. *In*: REUNIÓN DE TRABAJO DE LA ASOCIACIÓN ARGENTINA DE ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE, 39., 2016, Buenos Aires. **Anais [...]** La Plata: ASADES, p. 1 -12, 2016.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K.; KLINK, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.

ZAPPA, M.; GURTZ, J. The spatial resolution of physiographic data as sensitive variable for distributed hydrological simulations in prealpine and alpine catchments. **Water Resources and Environment Research**, Zürich, v. 1, n. 2, p. 101-105, 2002.