

COEFICIENTES DE ANGSTRÖM-PRESCOTT E SUA INFLUÊNCIA NA RADIAÇÃO SOLAR E E_{T0} NO PERÍMETRO IRRIGADO DE BEBEDOURO EM PETROLINA

A. O. da Silva*

Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP - Univ Estadual Paulista, Botucatu, SP, Brasil.

RESUMO

A radiação solar global é um elemento meteorológico importante para o cálculo da evapotranspiração de referência e conseqüentemente para a estimativa de consumo hídrico das culturas. Mediante o exposto, o presente trabalho objetivou estudar os coeficientes a e b da equação de Angström-PreScott para o perímetro irrigado de Bebedouro em Petrolina-PE e sua influência na radiação solar e evapotranspiração de referência. Os dados (radiação solar e insolação) foram obtidos em uma estação meteorológica (1968-2011) localizada na estação experimental da Embrapa Semiárido em Bebedouro, Petrolina-PE. Os coeficientes a e b foram determinados por análise de regressão linear, para todo o período e para períodos mensais e anuais. Utilizando os coeficientes encontrados estimou-se a radiação solar e a evapotranspiração, avaliando-se os seus desempenhos. Os valores médios mensais do coeficiente linear (a) foram de 0,2467 (setembro) e 0,3211 (janeiro) e do coeficiente angular (b) variaram de 0,2785 (janeiro) a 0,3637 (setembro). Os melhores desempenhos foram obtidos para as estimativas na escala mensal e anual.

Palavras-chaves: Irrigação, consumo hídrico, balanço de energia

ANGSTROM-PRESCOTT COEFFICIENTS AND ITS INFLUENCE ON SOLAR RADIATION AND E_{T0} IN THE BEBEDOURO IRRIGATION PERIMETER, PETROLINA-PE

ABSTRACT

The solar radiation is an important meteorological element for the calculation of reference evapotranspiration and hence to estimate crop water consumption. The present study investigated the coefficients a and b of Angstrom-PreScott equation for the irrigated perimeter of Bebedouro in Petrolina-PE and its influence on solar radiation and evapotranspiration reference. The data (solar radiation and heat stroke) were obtained from a meteorological station (1968-2011) located at the experimental station of Embrapa Semi-Arid in Bebedouro, Petrolina-PE. The coefficients a and b were determined by linear regression analysis, for the entire period and for monthly and annual periods. Using the coefficients were estimated to solar radiation and evapotranspiration, evaluating their performance. The monthly average values of the linear coefficient (a) ranged from 0.2467 (September) to 0.3211 (January) and slope ranged (b) from 0.2785 (January) to 0.3637 (September). The best performances were obtained for the estimates in the monthly and annual scale.

Keywords: Irrigation, water consumption, energy balance

* alexandro.oliveira01@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A radiação solar global é um elemento meteorológico importante para o cálculo da evapotranspiração de referência e conseqüentemente para a estimativa de consumo hídrico das culturas e dimensionamento de sistemas de irrigação (BERNARDO et al., 2008). Para regiões Semiáridas como a região Nordeste do Brasil, a radiação solar tem grande importância no processo de evaporação do solo e conseqüentemente no armazenamento de água no solo (REICHARDT & TIMM, 2012; ANTONINO et al., 2000), visto que nessa região um grande volume de água é transferido para a atmosfera na forma de vapor na qual a principal fonte de energia consumida nesse processo é a radiação solar.

Na agricultura irrigada que é uma das principais fontes de renda do município de Petrolina-PE com a produção de frutas como uva e manga, a radiação solar tem grande importância na estimativa da evapotranspiração de referência, onde a razão entre a água evapotranspirada pela cultura e a aplicada pela irrigação deve aproximar-se de 1 para que se tenha máxima eficiência de uso e de aplicação de água (BERNARDO et al., 2008). Dentre os principais problemas para obter o saldo de radiação solar em certas regiões do país, deve-se considerar o alto custo para obtenção e manutenção de estações meteorológicas, a correta instalação dos equipamentos além da interpretação dos

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados meteorológicos foram coletados em uma estação agrometeorológica convencional na Estação Experimental da Embrapa Semiárido, no perímetro irrigado de Bebedouro, Petrolina-PE, com as seguintes coordenadas: latitude 09° 08' 10,4" S, longitude 40° 18' 30,6" W, e a uma altitude de 365,5 m na região do Submédio São Francisco. O clima da região é do tipo BSw^h Semiárido bastante quente, segundo

valores obtidos (ANDRADE JÚNIOR et al. 2012; DORNELAS et al., 2006). Contudo, suprir a falta de dados disponíveis de radiação solar, existe equações que estimam com boa precisão este elemento meteorológico, dentre estas podemos destacar a equação descrita por Angström - Prescott (MARTÍNEZ-LOZANO et al., 1984) envolvendo os coeficientes "a" e "b" e a radiação extraterrestre.

Segundo ANDRADE JÚNIOR et al. (2012), os coeficientes da equação de Angström - Prescott dependem, principalmente das características físicas da camada atmosférica e são influenciados pela latitude e altitude do local, bem como pela época do ano. VIANELLO & ALVES (1991) apresentaram coeficientes médios "a" e "b" anuais da equação de Angström - Prescott nos valores de 0,32 (a) e 0,37 (b) para Petrolina-PE, porém não obtiveram valores destes coeficientes na escala de tempo mensal e nem nas condições locais dos perímetros irrigados existentes nesta região o que pode influenciar na obtenção de dados razoáveis para cada localidade.

Mediante o exposto se desenvolveu este trabalho a fim de estimar os coeficientes (a e b) da equação de Angström- Prescott e seus efeitos na estimativa da radiação solar global e da evapotranspiração de referência, para as condições climáticas do perímetro irrigado de Bebedouro em Petrolina-PE.

classificação de Köppen. A região caracteriza-se pela irregularidade de chuvas (médias de 567 mm) e ocorrências de elevadas temperaturas (24,2 a 28,2° C).

O período de análise dos dados foi de 01/08/1968 a 31/07/2011. Foram obtidos dados diários de insolação (n) e radiação solar global (Q_g) utilizando-se o actinógrafo bimetálico Fuess e o heliógrafo Campbell-Stokes, respectivamente. A densidade de fluxo de radiação solar global

incidente numa superfície horizontal paralela à superfície do solo no topo da atmosfera (Q_0) foi obtida pela seguinte equação:

$$Q_0 = 916,7d(\text{sen}\theta \text{sen}\delta H + \text{cos}\theta \text{cos}\delta \text{sen} h) \quad (1)$$

Onde, d - é a excentricidade da Terra; H e h - Ângulo horário (rad e °); θ - a latitude (°); δ - é a declinação solar (°).

A excentricidade da Terra foi calculada pela expressão (2):

$$d = 1 + 0,033\cos(2\pi \frac{DJ}{365}) \quad (2)$$

Onde, DJ - é o dia Juliano do ano (dias).

O ângulo horário (H) no momento do nascer do solo foi calculado pela seguinte equação (3):

$$H = \text{arc. cos} - (\text{tg}\theta \text{tg}\delta) \quad (3)$$

Onde, θ - a latitude (°); δ - é a declinação solar (°).

A declinação solar (δ) foi obtida em função do número de dias do ano (DJ) conforme equação:

$$\delta = 23,45^\circ \text{sen}[360^\circ \frac{(284+DJ)}{365}] \quad (4)$$

Onde, DJ - é o dia Juliano do ano (dias).

O fotoperíodo (N) foi obtido de acordo com a seguinte expressão:

$$N = \frac{2}{15} \text{arc. cos} - (\text{tg}\theta \text{tg}\delta) \quad (5)$$

Onde, θ - a latitude (°); δ - é a declinação solar (°).

Obtidos os valores de Q_0 e possuindo os valores de Q_g para cada dia do ano, os dados foram agrupados e por meio de análise de regressão linear obtiveram-se os valores dos coeficientes “a” e “b” da equação de Angström-PreScott (Eq.6). Os coeficientes médios foram

determinados em três períodos de tempo: mensal, anual e geral (que compreendeu toda duração da série, sem divisão por ano ou meses).

$$Q_g = \left(a + b \frac{n}{N}\right) Q_0 \quad (6)$$

Onde, Q_g é a Radiação solar global diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); Q_0 é a Radiação extraterrestre, ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); n é o número de horas de brilho solar (h d^{-1}); N é o número máximo de horas de brilho solar (h d^{-1}).

A partir da obtenção dos coeficientes a e b estimados pelas seguintes metodologias: a) coeficientes “a” e “b” mensais; b) coeficientes “a” e “b” anual; c) coeficientes “a” e “b” geral; d) coeficientes “a” e “b” propostos por GLOVER & MCCULLOCH (1958) ($a=0,29\cos(\text{latitude})$ e $b=0,52$). A Q_g foi estimada e correlacionada com os valores de Q_g obtidos pela estação convencional por meio de análise de regressão. Obtidos os valores de Q_g estimada e medida calculou-se a radiação líquida (R_n), de posse dos dados de R_n (estimados e medidos) e os demais dados a evapotranspiração de referência (ET_0) foi obtida pelo método de Penman-Monteith pela metodologia da FAO (ALLEN et al. 1997) conforme equação 7:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left[\frac{900}{(T+273)} \right] u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34u_2)} \quad (7)$$

Onde, ET_0 é a Evapotranspiração por Penman-Monteith (mm dia^{-1}); R_n é o Saldo de irradiação ($\text{Mj m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G é a densidade de fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); Δ é a declinação da curva de saturação de vapor de água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); U_2 é a Velocidade do vento (m s^{-1}); T é a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$); e_s é a Pressão de saturação de vapor (kPa); e_a é a Pressão real de vapor (kPa); γ é a Fator psicrométrico (MJ kg^{-1}).

O desempenho dos dados gerados para Q_g e ET_0 estimadas pelos coeficientes “a” e “b” obtidos em cada metodologia foram avaliados pelo

coeficiente de determinação (d), a qual indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total. Conforme WILLMOTT (1982), o índice “d” é dado pelas seguintes equações:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{y}_i| + |y_i|)^2} \quad (8)$$

$$\hat{y}_i = \hat{y}_i - \bar{y} \quad (9)$$

$$y_i = y_i - \bar{y} \quad (10)$$

Onde, d é o índice de concordância adimensional variando de 0 a 1; \hat{y}_i é o Qg ou ETo estimada pelo método indireto (MJ m⁻² dia⁻¹ ou mm dia⁻¹); y_i é o Qg ou ETo medida (MJ m⁻² dia⁻¹ ou mm dia⁻¹); \bar{y} é a média dos valores do método padrão (MJ m⁻² dia⁻¹ ou mm dia⁻¹).

O coeficiente de correlação (r) foi definido por meio da seguinte equação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{N}}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{[\sum_{i=1}^n X_i]^2}{n} \right] \left[\sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{[\sum_{i=1}^n Y_i]^2}{n} \right]}} \quad (11)$$

Onde, r = coeficiente de correlação; X_i = Qg ou ETo medida (MJ m⁻² dia⁻¹ ou mm dia⁻¹); Y_i = Qg ou ETo estimada pelos métodos estudados (MJ m⁻² dia⁻¹ ou mm dia⁻¹).

Para a avaliação do desempenho de Qg e ETo pelos métodos estudados foi utilizado o índice (c) proposto por CAMARGO & SENTELHAS (1997) para indicar o desempenho dos métodos que reúne os coeficientes de correlação (r) e o de concordância (d) conforme equação (12) e Tabela 1:

$$c = r \times d \quad (12)$$

Onde, c = índice de “c” de desempenho; d = índice de concordância, adimensional, variando de 0 a 1; r = coeficiente de determinação.

Tabela 1. Critério de interpretação do desempenho dos métodos de estimativa pelo índice “c” de CAMARGO & SENTELHAS (1997)

Valor de “c”	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sufrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a distribuição geral da relação entre a radiação solar global e a radiação solar incidente no topo da atmosfera (Qg/Qo) em função da relação entre insolação e fotoperíodo (n/N). Apesar da variabilidade observada, houve uma tendência de ajuste linear com relação entre as grandezas estudadas, sendo obtido

um coeficiente de determinação (R²) de 0,57. ANDRADE JÚNIOR et al. (2012) e CARVALHO et al. (2011) observaram estudando a relação entre as mesmas variáveis valores de R² de 0,63 e 0,82 para a região de Parnaíba, PI e Seropédica, RJ, respectivamente.

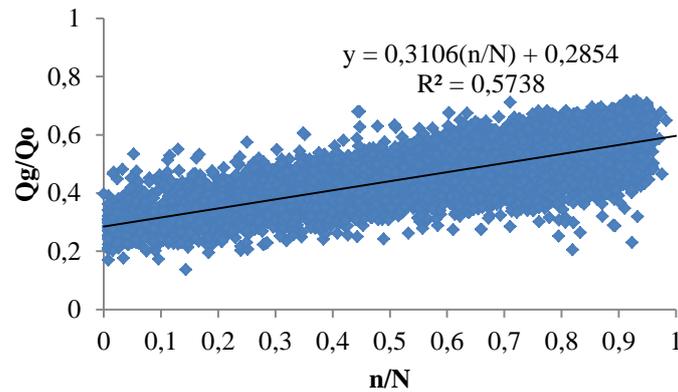


Figura 1. Dispersão dos valores anuais da razão de radiação (Q_g/Q_o) e razão de insolação (n/N) para Petrolina-PE.

A Tabela 2 apresenta o resultado das estimativas mensais, anual e geral dos coeficientes “a” e “b” de Angström-PreScott, tendo-se encontrado para todas as análises coeficientes de determinação superiores a 0,50; excetuando-se apenas o mês de novembro com R^2 de 0,48. Os valores médios mensais de “a” variaram entre 0,2785 (janeiro) e 0,3637 (setembro), enquanto os valores anual e geral foram de 0,3055 e 0,3105. Os valores médios mensais de “b” variaram entre 0,2467 (setembro) e 0,3211 (janeiro), enquanto os valores anual e geral foram de 0,2861 e 0,2853. A Q_g calculada a partir dos valores e “a” e “b” mensais superestimou os valores de Q_g medida para os meses de março (2,0%), maio (3,0%), junho (4,0%),

julho (3,0%), agosto (3,1%), setembro (7,0%) e outubro (5,5%), enquanto os meses de janeiro (-3,0%), fevereiro (-2,6%), abril (-1,4%), novembro (-1,4%), dezembro (-0,6%) foram subestimados. Os valores de Q_g estimados por “a” e “b” anual e geral, superestimaram os valores de Q_g medida em torno de 1,0% apenas. DORNELAS et al. (2006) obtiveram valores de R^2 acima de 0,80 para as equações de regressão mensais estudadas para a obtenção dos coeficientes “a” e “b” de Angström-PreScott para Brasília. TORRES et al. (2010) obtiveram valores de “a” e “b” mensais com equações de regressão com R^2 superiores a 0,90 para a região de Canavieiras, BA.

Tabela 2. Valores médios mensais, anual e geral da radiação solar global, observadas e calculadas pelos coeficientes a e b da equação de Angström-PreScott obtidos no período de 01/08/1968 a 31/07/2011.

Mês	a	b	R^2	Q_g calculada	Q_g medida
Janeiro	0,3211±0,007	0,2785±0,011	0,51	18,99±0,145	18,92±0,183
Fevereiro	0,3136±0,007	0,2848±0,011	0,53	18,64±0,131	18,80±0,165
Março	0,2894±0,007	0,2944±0,011	0,52	17,55±0,123	17,48±0,161
Abril	0,2971±0,006	0,2803±0,009	0,58	16,75±0,119	16,76±0,135
Mai	0,2715±0,005	0,3139±0,008	0,69	14,29±0,108	14,67±0,144
Junho	0,2688±0,005	0,3160±0,009	0,67	13,68±0,098	13,81±0,141
Julho	0,2696±0,006	0,3115±0,010	0,60	14,14±0,108	14,31±0,149
Agosto	0,2684±0,008	0,3184±0,012	0,53	16,42±0,112	16,51±0,160
Setembro	0,2467±0,009	0,3637±0,012	0,57	20,17±0,082	18,81±0,156
Outubro	0,2553±0,010	0,3580±0,014	0,52	21,22±0,089	20,12±0,173
Novembro	0,3115±0,009	0,2863±0,013	0,48	19,60±0,130	19,58±0,172
Dezembro	0,3163±0,006	0,3014±0,010	0,58	19,30±0,140	19,19±0,184
Anual	0,2861±0,008	0,3055±0,014	0,63	17,61±0,038	17,52±0,051
Geral	0,2853±0,002	0,3105±0,003	0,57	17,71±0,033	17,52±0,052

Na Figura 2 estão descritos os resultados da análise de regressão da Q_g observada e estimada com os coeficientes de “a” e “b” mensais (A), geral (B), anual (C) e latitude (D) para todo o período estudado. Observou-se desempenhos semelhantes entre às metodologias estudadas, onde as regressões foram lineares com R^2 superior a 0,60. CARVALHO et al. (2011), ANDRADE JÚNIOR et al. (2011) e TORRES et al. (2010) observaram desempenho

satisfatórios para os coeficientes propostos em diferentes períodos na estimativa da Q_g . Segundo LIU et al. (2009) os coeficientes “a” e “b” são fortemente afetados pela escala temporal em que estes são utilizados, podendo assim afetar a estimativa da Q_g . Possivelmente, a utilização dos coeficientes “a” e “b” em uma mesma escala de tempo em todas as metodologias, aproximou os valores de estimativa da Q_g apresentando assim coeficientes de determinação semelhantes.

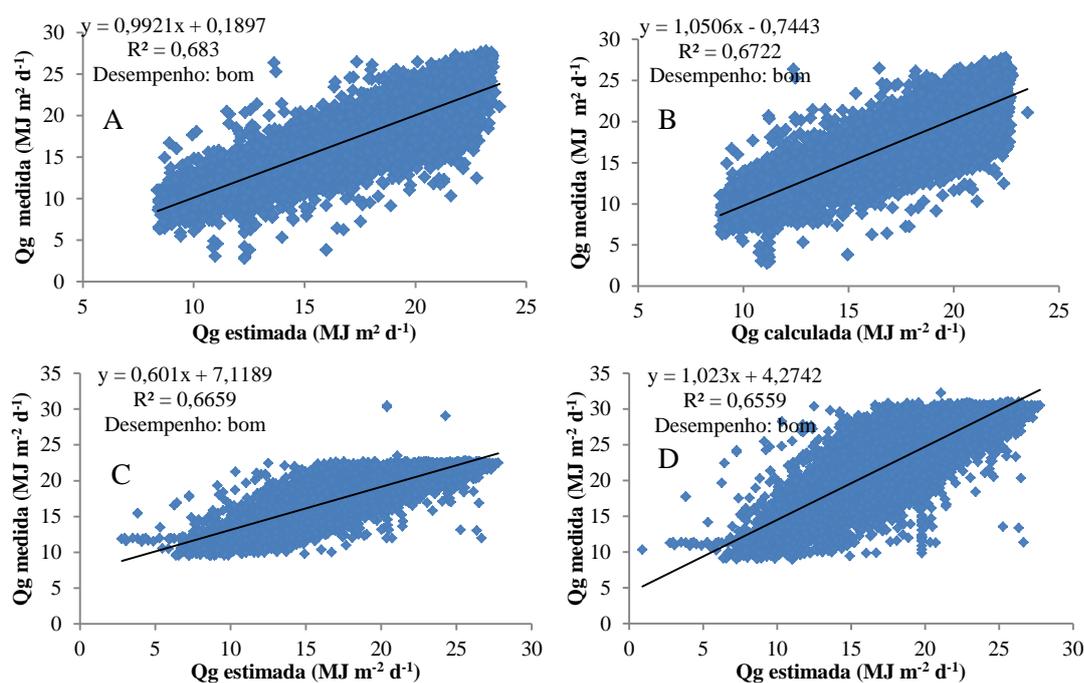


Figura 2. Comparação dos valores diários de radiação solar global (Q_g) medido e calculado pelas metodologias: A. mensal; B. geral; C. anual; D. latitude

A Tabela 3 apresenta o resultado da análise mensal da estimativa da Q_g calculada com os coeficientes “a” e “b” na escala mensal. Os melhores índices de desempenhos (c) foram obtidos entre os meses de abril até julho e dezembro, com valores superiores a 0,65. De janeiro a março e o mês de agosto o índice de desempenho foi inferior a 0,65; mostrando assim um desempenho mediano do modelo estudado. Para os meses de setembro a novembro, os valores de “c” foram abaixo de 0,60 caracterizando-se como sofrível. Os resultados apresentados são diferentes dos obtidos por CARVALHO et al. (2011) para a região de Seropédica, RJ em que estes autores observaram valores de “c”

superiores a 0,70 na maioria dos meses estudados para os coeficientes “a” e “b” estimados na escala mensal. DALLACORT et al. (2004) na região de Palotina, PR observaram valores de R^2 superiores a 0,80 para a partição mensal na obtenção dos coeficientes “a” e “b”.

O resultado da análise mensal da estimativa da Q_g calculada com os coeficientes “a” e “b” na escala anual apresentaram maiores valores para “c” observados nos meses de fevereiro (0,66), abril (0,61), maio (0,74), junho (0,67), julho (0,68) e dezembro (0,68). Os meses de março, agosto e setembro apresentaram valores de “c” máximos de 0,65; classificando o modelo como mediano. Os

meses de janeiro, outubro e novembro apresentaram os piores valores de “c” sendo estes abaixo de 0,60. Para os valores de Qg obtidos pelos coeficiente “a” e “b” anuais. O resultado da análise mensal da estimativa da Qg calculada com os coeficientes “a” e “b” na escala geral apresentou índice de desempenho “c” classificado como sofrível (S) para os meses de fevereiro (0,60), maio (0,60), outubro (0,59) e novembro (0,56). Os meses de janeiro, março, julho, agosto, setembro apresentaram índice “c” acima de 0,60 classificados como mediano (MD). Os meses de abril, junho e dezembro foram classificados como bons (B).

Para a análise mensal da estimativa da Qg calculada com os coeficientes “a” e “b” através da metodologia pela latitude apresentou os piores índices de desempenho estudados, classificando-se entre mau (M) para os meses de fevereiro a maio, sofrível (S) para os meses de janeiro, julho, setembro a dezembro, mediano (MD) para o mês de agosto e índice de desempenho bom (B) apenas para o mês de junho. Estes resultados diferem dos resultados obtidos por CARVALHO et al. (2011) em estudos sobre a radiação solar para o município de Seropédica-RJ que observaram desempenhos entre “bom” e “muito bom” para estimativa da radiação solar com os coeficientes propostos.

Tabela 3. Desempenho da estimativa da radiação solar (Qg) com coeficientes a e b utilizando-se a equação de Angström-Prescott para diferentes metodologias.

Mês	Qg estimada (a e b calculados)											
	Mensal			Anual			Geral			Latitude		
	d	c	Ds	d	c	Ds	d	c	Ds	d	c	Ds
Janeiro	0,83	0,61	MD	0,82	0,60	MD	0,81	0,61	MD	0,69	0,51	S
Fevereiro	0,82	0,61	MD	0,82	0,60	MD	0,81	0,61	S	0,64	0,47	M
Março	0,84	0,63	MD	0,84	0,64	MD	0,83	0,63	MD	0,61	0,47	M
Abril	0,86	0,68	B	0,86	0,68	B	0,85	0,67	B	0,58	0,46	M
Maio	0,86	0,77	MB	0,89	0,75	B	0,81	0,60	S	0,64	0,46	M
Junho	0,89	0,74	B	0,88	0,72	B	0,88	0,68	B	0,86	0,71	B
Julho	0,87	0,70	B	0,86	0,70	B	0,87	0,68	B	0,68	0,54	S
Agosto	0,85	0,66	B	0,85	0,66	B	0,85	0,66	B	0,78	0,61	MD
Setembro	0,84	0,65	B	0,81	0,64	MD	0,80	0,61	MD	0,54	0,41	S
Outubro	0,83	0,62	MD	0,78	0,59	S	0,80	0,60	S	0,55	0,41	S
Novembro	0,80	0,59	S	0,82	0,61	MD	0,82	0,59	S	0,58	0,41	S
Dezembro	0,87	0,71	B	0,88	0,74	B	0,86	0,72	B	0,73	0,59	S

Ds = Desempenho: O- ótimo, MB - Muito bom, B - bom, MD - mediano, M- mau, S- sofrível

Para a relação entre a estimativa da ETo pelo cálculo da Qg estimada e para os valores medidos obtidos no período estudado (Figura 3), foram observados valores de R² maiores que 0,50 porém com índice de desempenho sofrível, excetuando apenas a estimativa da ETo com o uso da Qg com coeficientes “a” e “b” geral, que apresentou índice de desempenho “bom”. Estes resultados diferem dos obtidos por DORNELAS et al. (2006), que apresentaram desempenho “ótimo” para o

mês de agosto para a região de Brasília. Segundo LIU et al. (2010) cada metodologia para a estimativa da radiação, pode melhorar ou piorar o seu desempenho de acordo com a escala temporal em que estas são utilizadas, porém na ausência de informações estatísticas como as correlações aqui estudadas, deve-se tomar cuidado para recomendar qualquer metodologia utilizada, pois estimativas de Qg pouco ajustáveis não devem ser utilizadas.

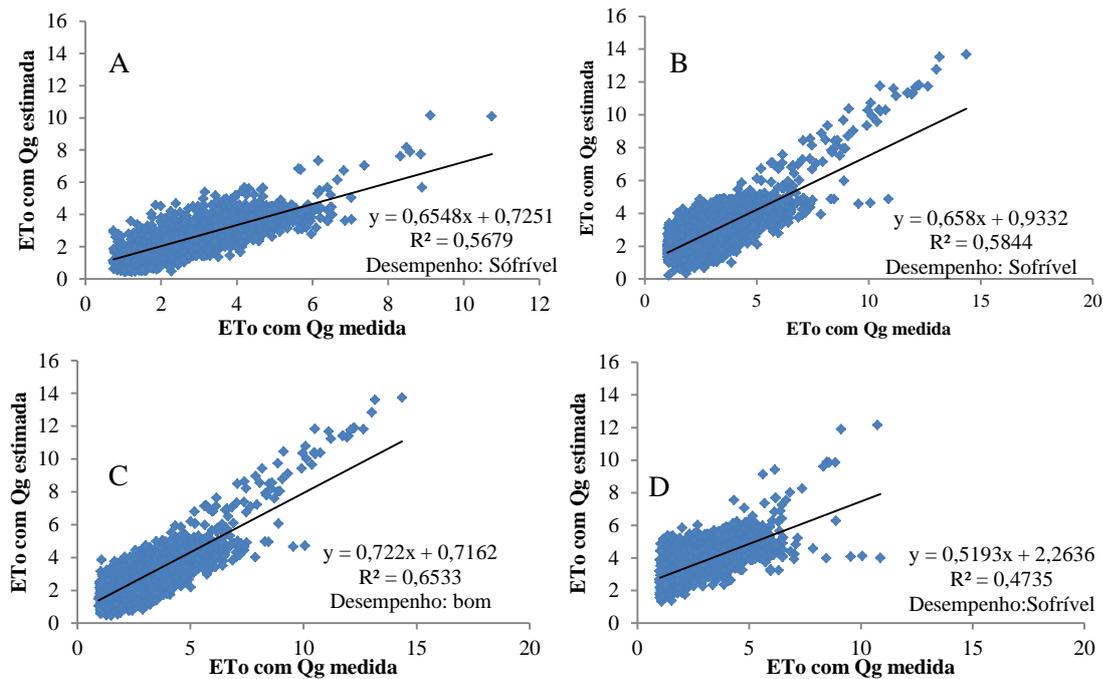


Figura 3. Comparação dos valores diários de evapotranspiração de referência (ETo) medido e calculado pelas metodologias: A. mensal; B. anual; C. geral; D. latitude

Para o desempenho dos coeficientes “a” e “b” de Angström-PreScott, estimados mensalmente para o cálculo da ETo (Tabela 4), observa-se que os melhores desempenhos foram obtidos para os meses de abril, junho e setembro, classificados como “muito bom”, enquanto os meses de fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro, apresentaram os piores desempenhos sendo classificados como sofríveis. Para a estimativa da ETo com os coeficientes “a” e “b” anual, os índices de desempenhos variaram entre “ótimo” para o mês de setembro, e péssimo para o mês de outubro. Estes resultados diferem dos apresentados por CARVALHO et al. (2011) e DORNELAS et al. (2006), que apresentaram índices de desempenho entre

“ótimo” e “muito bom”. VALIATI & RICIARI (2005), observaram valores de R^2 acima de 0,80 para a estimativa da radiação solar com os coeficientes “a” e “b” na região de cascavel, PR.

Para a estimativa da ETo com os coeficientes “a” e “b” geral, observou-se índices de desempenho “ótimo” e “muito bom” para os meses de setembro e junho respectivamente, e “mediano” a “sofrível” para os demais meses. O desempenho da estimativa da ETo com a Qg obtida pelos coeficientes médios “a” e “b” obtidos pela metodologia da latitude, apresentaram os piores índices de desempenho para as metodologias estudadas, com exceção do mês de setembro que apresentou índice de desempenho “muito bom”.

Tabela 4. Desempenho dos coeficientes médios a e b mensal na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) utilizando-se a equação de Angström-PreScott, com seus respectivos R² e índices de desempenho

Mês	ET _o estimada (a e b calculados)											
	Mensal			Anual			Geral			Latitude		
	d	c	Ds	d	c	Ds	d	c	Ds	d	c	Ds
Janeiro	0,83	0,70	B	0,75	0,53	S	0,79	0,59	S	0,25	0,07	P
Fevereiro	0,77	0,57	S	0,73	0,51	S	0,77	0,50	M	0,20	0,04	P
Março	0,78	0,58	S	0,79	0,48	M	0,80	0,57	S	0,09	0,02	P
Abril	0,90	0,77	MB	0,90	0,75	B	0,83	0,69	B	0,81	0,56	S
Mai	0,87	0,70	B	0,77	0,50	M	0,75	0,48	M	0,38	0,17	P
Junho	0,92	0,81	MB	0,93	0,82	MB	0,92	0,82	MB	0,40	0,31	P
Julho	0,84	0,63	MD	0,77	0,51	S	0,78	0,55	S	0,85	0,64	MD
Agosto	0,83	0,60	S	0,72	0,42	M	0,84	0,65	MD	0,83	0,60	S
Setembro	0,94	0,85	MB	0,95	0,87	O	0,97	0,93	O	0,94	0,84	MB
Outubro	0,78	0,54	S	0,57	0,24	P	0,72	0,47	M	0,78	0,54	S
Novembro	0,75	0,57	S	0,76	0,53	S	0,79	0,59	S	0,75	0,57	S
Dezembro	0,78	0,58	S	0,75	0,53	S	0,83	0,63	MD	0,78	0,58	S

Ds = Desempenho: O - ótimo, MB - muito bom, B - bom, MD - mediano, S- sofrível, M - Mau, P - péssimo

CONCLUSÕES

Os valores médios mensais do coeficiente linear (a) foram de 0,2467 (setembro) e 0,3211 (janeiro) e do coeficiente angular (b) variaram de 2785 (janeiro) a 0,3637 (setembro). Os melhores

desempenhos para a estimativa da radiação solar e evapotranspiração de referência mensal foram obtidos com os coeficientes a e b, médios mensais e anual.

REFERÊNCIAS

ANTONINO, A. C. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIO, A. D.; SALCEDO, I. H. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no Semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4 (1): 29-34, 2000.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, S. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. Trad. Gheyi, H. R. et al. Roma: FAO (*Irrigation and Drainage paper 56*).1997, 300p.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; NOLETO, D. H.; SILVA, M. E.; BRAGA, D. L.; BASTOS, E. A. Coeficientes da equação de Angström-PreScott para Parnaíba, Piauí. **Comunicata Scientiae**, v.3 (1): 50-54, 2012.

BERNARDO, S.; SOARES, A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV. 2008. 625p.

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 e Agrícola e Ambiental**, v.15(8): p.838-844, 2011.

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**, v.5 (1): 89-97, 1997.

DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R.;

- BERTONHA, A.; SILVA, F. F.; TRINTINALHA, M. Determinação dos coeficientes da equação de Angström para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.26 (3): 329-336, 2004.
- GLOVER, J.; MCCULLOCH, J. S. G. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. **The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.84 (1):172- 175, 1958.
- DORNELAS, K. D. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. Coeficientes médios da equação de Angström-Prescott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41 (8): 1213-1219, 2006.
- LIU, X.; MEI, X.; LI, Y.; PORTER, J. R.; WANG, Q.; ZHANG, Y. Choice of the Angstrom–Prescott coefficients: Are time-dependent ones better than fixed ones in modeling global solar irradiance?. **Energy Conversion and Management**, v.51 (1): 2565-2574, 2010.
- LIU, X.; MEI, X.; LI, Y.; ZHANG, Y.; WANG, Q.; JENSEN, J. R.; PORTER, J. R. Calibration of the Angström–Prescott coefficients (a, b) under different time scales and their impacts in estimating global solar radiation in the Yellow River basin. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149 (1): 697-710, 2009.
- MARTÍNEZ-LOZANO, J. A.; TENA, F.; ONRUBIA, J. E.; RUBIA, J. L. The historical evolution of the Angström formula and its modifications: review and bibliography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 33(1): 109-128, 1984.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 3ª ed. Barueri-SP: Manole, 2012. 500p.
- TORRES, C. J. F.; SILVA, N. L.; BARROS, F. M.; ROCHA, F. A.; SILVA, J. O. Determinação dos coeficientes do modelo de Angström–Prescott para a região de canavieiras, Estado da Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, v.6 (11): 1-7, 2010.
- VALIATI, M. I.; RICIERI, R. P. Estimativa da irradiação solar global com partição mensal e sazonal para a região de cascavel - PR. **Engenharia Agrícola**, v.25(1): 76-85, 2005.
- VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. UFV, 1991. 449p.
- WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Buletin of the American Meteorological Society**, v. 63(11): 1309-1313, 1982.