

## Estimativas da radiação global com base na insolação na Amazônia brasileira

O objetivo do trabalho foi calibrar e avaliar estatisticamente a equação simplificada de Angström-Prescott (AP) para estimativa da radiação global (Qg) com base na razão de insolação (n/N), em diferentes agrupamentos de dados, na Amazônia brasileira. O modelo AP, baseia-se nas relações entre a transmissividade atmosférica e a razão de insolação ( $Qg/Qo = a + b (n/N)$ ), e possui dois coeficientes (linear e angular) que demandam calibrações regionais. Para tanto, foram usados dados de 20 estações meteorológicas (automáticas e convencionais) pertencentes a rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), inseridas no bioma amazônico; as bases de dados foram separadas em agrupamentos total, anual e sazonal (seca, seca-chuva, chuva e chuva-seca), sendo considerados a proporção de 70 e 30% de dados para calibração e avaliação estatística do desempenho, respectivamente. Foram considerados os indicadores estatísticos erro relativo médio (MBE), quadrado da raiz do erro médio (RMSE) e índice de concordância de Willmott (d). Os coeficientes calibrados no agrupamento total (que considera todas as estações do bioma) geraram os piores desempenhos estatísticos na estimativa de Qg (com diferenças de até 36% entre os valores medidos e estimados), indicando a necessidade de avaliação por estação e não por bioma. Para cada estação, os coeficientes obtidos no agrupamento anual (total de dados da estação) apresentaram desempenhos estatísticos semelhantes aos coeficientes obtidos nos agrupamentos sazonais, independentemente da estação e da época do ano, sendo, portanto, recomendados pela simplicidade e facilidade de aplicação nas estimativas de Qg.

**Palavras-chave:** Radiação solar; Razão de insolação; Modelo Angstrom-Prescott (AP); Transmissividade atmosférica; Indicativos estatísticos.

## Estimates of global radiation based on insolation in the Brazilian Amazon

The objective of this paper was to calibrate and evaluate statistically the simplified Angström-Prescott (AP) model for estimating global radiation (Qg) based on the sunshine ratio (n/N), in different data groups, in the Brazilian Amazon. The AP model is based on the relationship between atmospheric transmissivity and sunshine ratio ( $Qg/Qo = a + b (n/N)$ ), and has two coefficients (linear and angular) that require regional calibrations. For this purpose, we used data from 20 meteorological stations (automatic and conventional) belonging to the network of stations of the National Institute of Meteorology (INMET) inserted in the Amazon biome; the databases were separated into total, annual (total data by station) and seasonal groupings (dry, dry-rain, rain and rain-dry), considering the proportion of 70 and 30% of database for calibration and statistical performance evaluation, respectively. The statistical indicators mean beans error (MBE), square of the root of the mean error (RMSE) and the Willmott concordance index (d) were considered. The coefficients calibrated in the total database (which considers all stations in the biome) generated the worst statistical performances in Qg estimation (with differences of up to 36% between measured and estimated Qg values), indicating the need for evaluation by season and not by biome. For each season, the coefficients obtained in the annual grouping (total station data) presented statistical performances similar to the coefficients obtained in the seasonal groupings, regardless of the season and time of year, being therefore recommended for the simplicity and ease of application in the estimates of Qg.

**Keywords:** Solar radiation; Sunshine ratio; Angstrom-Prescott (AP) model; Atmospheric transmissivity; Statistical indicators.

Topic: **Meteorologia, Climatologia e Mudanças Climáticas**

Received: **06/10/2021**

Approved: **26/10/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Charles Campoe Martim   
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5119317321357907>  
<http://orcid.org/0000-0003-2955-0105>  
[charlescampaomartim@gmail.com](mailto:charlescampaomartim@gmail.com)

Adilson Pacheco de Souza   
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1396815209817592>  
<http://orcid.org/0000-0003-4076-1093>  
[pachecoufnt@gmail.com](mailto:pachecoufnt@gmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0020

### Referencing this:

MARTIM, C. C.; SOUZA, A. P.. Estimativas da radiação global com base na insolação na Amazônia brasileira. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.10, p.233-246, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0020>

## INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica engloba vários países da América do Sul, como, Guiana Francesa, Suriname, Guiana, Venezuela, Colômbia, Equador, Peru, Bolívia e o Brasil, sendo o que bioma amazônico brasileiro representa cerca de 49% do território que ocupa uma faixa que se estende da latitude 5° N a 15° S e longitude de 72° a 44° W. Em função de sua localização, dos movimentos aparentes do Sol e da dinâmica da atmosfera na região, ocorrem altos valores médios diários de radiação global ( $Q_g$ ), associados com elevados totais de precipitação (ALVARES et al., 2013; BELÚCIO et al., 2014), que por sua vez, geram grande variabilidade espacial da transmissividade atmosférica.

A nível nacional ainda ocorre limitação quanto a disponibilidade de informações meteorológicas de superfície, principalmente quanto ao registro da radiação solar, pois os sensores apresentam custo elevado e necessitam de manutenções periódicas (BURIOL et al., 2012; SRIVASTAVA et al., 2013). Para a região da Amazônia brasileira, essa limitação é ainda maior, decorrentes principalmente das dificuldades de acesso/logística e da distribuição de redes públicas de monitoramento meteorológico de superfície.

Em condições de escassez de dados meteorológicos, podem ser aplicados modelos estatísticos e/ou paramétricos para suprir essas lacunas, possibilitando assim, realizar o preenchimento de falhas, construção de séries históricas contínuas, análises de sensibilidade e outros processos de estimativas. As estimativas da radiação solar por modelos simplificados, vêm se tornando cada vez mais difundida na comunidade científica, em função da simplicidade e disponibilidade de variáveis de entrada como a insolação ( $n$ ) e temperatura do ar ( $T_a$ ) (MEDEIROS et al., 2017; SILVA et al., 2017; SOUZA et al., 2017; PAVÃO et al., 2018; MARTIM et al., 2020).

O primeiro modelo estatístico com essa abordagem foi proposto por Angstrom (1924), que demonstrou a existência de uma relação linear entre a transmissividade atmosférica ( $Q_g/Q_0$ ) e a insolação ( $n$ ) em dias sem nuvens; como essa condição de céu, na prática pouco ocorre, o modelo foi alterado por Prescott (1940), incorporando outras condições de nebulosidade; nesse caso, o modelo passou a ser conhecido como modelo AP. No ajuste de uma regressão linear entre a razão de insolação ( $n/N$ ) (variável independente) e a transmissividade atmosférica ( $Q_g/Q_0$ ) (variável dependente), ocorre a dependência de coeficientes linear ( $a$ ) e angular ( $b$ ), que indicam a transmissividade atmosférica mínima da região (relacionado a radiação difusa) e o grau de crescimento da transmissividade atmosférica com o aumento do brilho solar (relacionado com a radiação direta), respectivamente (BURIOL et al., 2012; SRIVASTAVA et al., 2013).

Quanto maior a abrangência espacial dos dados maior será a representatividade na estimativa da radiação global (ANDRISANI et al., 2014; SABZIPARVAR et al., 2013), principalmente na Amazônia brasileira, que ocorre uma grande variação sazonal dos elementos climáticos (ALVARES et al., 2013; BELÚCIO et al., 2014), o que indica a necessidade de avaliações sazonais (estações hídricas e/ou estações do ano) para a geração de coeficientes regionalizados condicionados pelas condições climáticas da mesorregião (LIU et al., 2010; SABZIPARVAR et al., 2013; WMO, 2014).

Estudos vêm demonstrando que o modelo original proposto por AP, apresenta um desempenho melhor ou superior a outras modificações propostas a sua condição original, nos quais o aumento da complexidade da equação estatística pela inserção de novas variáveis ao modelo, não necessariamente melhoram o seu desempenho (LIU et al., 2012; SOUZA et al., 2016). Outros trabalhos têm mostrado que estimativas de  $Q_g$  baseadas na insolação ( $n$ ) são mais adequadas quando comparado aos baseados na temperatura (CHEN et al., 2004; ANDRISANI et al., 2014), visto que a insolação é uma componente direta da radiação solar ao contrário da temperatura que depende da umidade relativa do ar para a conversão do calor latente em aumento da temperatura do ar (ALLEN et al., 1998). Em geral, modelos simplificados baseados na temperatura apresentam melhores desempenhos estatísticos em regiões úmidas (SOUZA et al., 2017).

Os ajustes de modelos simplificados em diferentes agrupamentos de bases de dados (anual, sazonal e mensal) também são importantes para determinar a interferência temporal e atmosférica na estimativa da  $Q_g$  em uma mesma estação meteorológica ou na região (LIU et al., 2010; ANDRISANI et al., 2014). O trabalho mais abrangente envolvendo o modelo AP nas condições brasileiras foi desenvolvido por Mota et al. (1977), para 96 cidades (estações meteorológicas), sendo que destas, apenas seis estavam inseridas no bioma amazônico. Além deste, são encontrados trabalhos atuais, porém pontuais, como para Macapá-AP (BELÚCIO et al., 2014), Manaus-AM (RIBEIRO et al., 1982), Capitão Poço-PA (PACHECO et al., 2002), Sinop-MT (MARTIM et al., 2014; PAVÃO et al., 2018). Em outras regiões do país, essas estimativas foram melhor difundidas e empregadas, destacando-se trabalhos como os realizados para Santa Maria-RS (BURIOL et al., 2012), Rio Grande do Norte (MEDEIROS et al., 2017), Botucatu-SP (SILVA et al., 2017), Seropédica-RJ (CARVALHO et al., 2011), Brasília-DF (DORNELAS et al., 2006) e Alagoas (SOUZA et al., 2016); para outros países, também são obtidos pesquisas mais recentes com esse modelo, como os casos do Irã (SABZIPARVAR et al., 2013), China (LIU et al., 2010; LIU et al., 2012; CHEN et al., 2004), Índia (SRIVASTAVA et al., 2013) e Itália (ANDRISANI et al., 2014), dentre outros.

Em função da inexistência de trabalhos na literatura que calibraram a equação de Angstrom-Prescott no bioma amazônico, o presente trabalho tem como objetivo estimar os seus coeficientes (linear e angular) e avaliar o desempenho estatístico na estimativa da radiação global ( $Q_g$ ) diária, para vinte estações meteorológicas (cidades), em diferentes agrupamentos de dados.

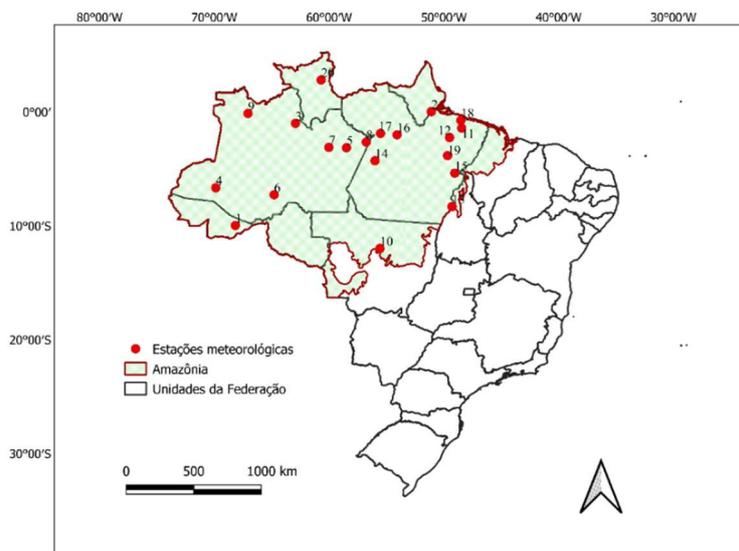
## MATERIAIS E MÉTODOS

A Amazônia brasileira apresenta segundo a classificação de Koppen os tipos climáticos Af (clima tropical úmido), Am (clima de monções) e pequena parte Aw (clima tropical com estação seca de inverno) (ALVARES et al., 2013). A abrangência espacial das estações avaliadas varia de 2,82 a -11,97° em latitude e de -48,43 a -72,66° na longitude.

Os dados meteorológicos diários utilizados neste estudo foram obtidos das estações meteorológicas de superfície automáticas e convencionais (Figura 1), localizadas no bioma amazônico brasileiro, pertencente a Rede de Estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por meio da Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos (SADMET). A insolação ( $n$ ), medida em horas pelo heliógrafo Campbell-Stokes, foi

obtida junto ao Banco de dados Meteorológicos para o Ensino e Pesquisa (BDMEP) do próprio INMET.

A Tabela 1 apresenta a descrição das 20 estações meteorológicas avaliadas no presente trabalho. Sabe-se que existem outras estações da Rede no INMET na Amazônia, contudo, nesse trabalho, foram avaliadas apenas as estações que apresentaram as medidas da insolação disponível e concomitantes com medidas de rotina da radiação global por estações meteorológicas automáticas (EMA's), considerando distâncias máximas de 100 km. Dessa forma, o período dos dados foi diferente entre as estações em função das diferentes datas de instalação das EMC's e EMA's, sendo o número de dados efetivamente utilizados, menor em função de falhas ou falta de consistência na base de dados (para dados de Qg ou de insolação).



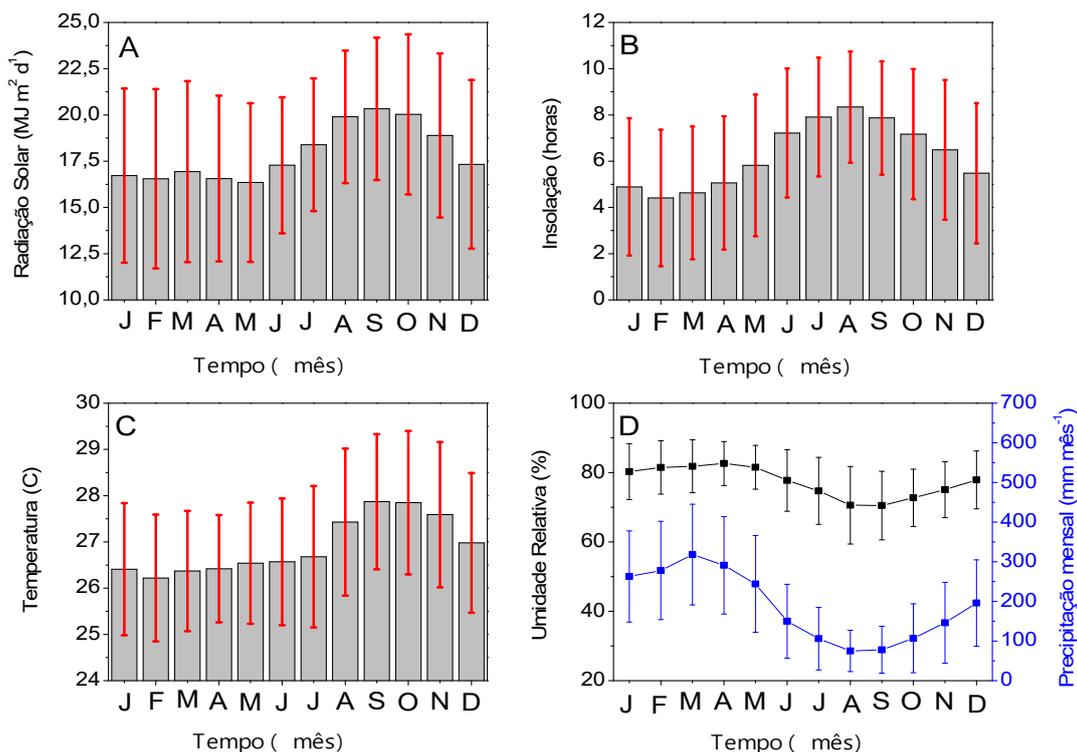
**Figura 1:** Localização das vinte estações meteorológicas avaliadas, inseridas na Amazônia brasileira. Fonte: IBGE (1993).

**Tabela 1:** Estações meteorológicas automáticas inseridas na Amazônia brasileira.

Código	Cidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Período de dados	TD	PF (%)
<b>ACRE</b>							
A104	1 - Rio Branco	-7,6	-72,66	220	05/2015 - 06/2018	1144	36
<b>AMAPÁ</b>							
A249	2 - Macapá	0,035	-51,13	27	12/2013 - 06/2018	1662	30
<b>AMAZONAS</b>							
A128	3 - Barcelos	-0,98	-62,92	17	04/2008 - 06/2018	3725	32
A109	4 - Eirunepé	-6,65	-69,87	143	08/2012 - 06/2018	2130	44
A121	5 - Itacoatiara	-3,12	-58,47	37	04/2008 - 06/2018	3723	30
A111	6 - Labrea	-7,25	-64,78	64	07/2008 - 06/2018	3627	66
A101	7 - Manaus	-3,12	-59,95	67	05/2000 - 06/2018	6627	26
A123	8 - Parintins	-2,63	-56,75	35	04/2008 - 06/2018	3734	56
A134	9 - São Gabriel da Cachoeira	-0,12	-67,05	90	09/2011 - 06/2018	2496	18
<b>MATO GROSSO</b>							
A917	10 - Sinop	-11,97	-55,55	371	11/2006 - 12/2017	4082	59
<b>PARÁ</b>							
A201	11 - Belém	-1,4	-48,43	24	01/2003 - 12/2017	5460	41
A236	12 - Cametá	-2,23	-49,48	22	06/2008 - 12/2017	3480	18
A241	13 - Conceição Araguaia	-8,25	-49,27	180	09/2008 - 12/2017	3406	11
A231	14 - Itaituba	-4,27	-56,00	131	02/2008 - 12/2017	3606	23
A240	15 - Marabá	-5,17	-49,37	116	07/2009 - 12/2017	3112	21
A239	16 - Monte Alegre	-2,00	-54,07	96	07/2012 - 12/2017	2005	25
A232	17 - Óbidos	-1,88	-49,12	96	07/2012 - 12/2017	2006	45
A227	18 - Soure	-0,80	-48,5	11	05/2008 - 12/2017	3536	19
A229	19 - Tucuruí	-3,82	-49,67	148	03/2008 - 12/2017	3593	20
<b>RORAIMA</b>							
A135	20 - Boa Vista	2,82	-60,68	94	09/2010 - 06/2018	2865	15

TD (total de dados diários); PF (percentual de dados faltosos/sem consistência)

As condições meteorológicas das 20 estações utilizadas neste estudo (Figura 2) apresentaram um padrão semelhante ao longo do ano, com as medidas de radiação global aumentando de 16,55 (fevereiro) para 20,33 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (setembro), insolação variando de 4,41 (fevereiro) a 8,34 horas dia<sup>-1</sup> (agosto), temperatura do ar média mensal oscilando de 26,22 (fevereiro) a 27,87 °C (setembro) e a umidade relativa do ar variando de 82,61 (abril) a 70,49% (setembro). Esse comportamento na região ocorre em função da baixa presença de nuvens e vapor d'água na atmosfera no período de seca (junho a setembro). Em média, as maiores precipitações pluviáticas ocorrem em março (318 mm mês<sup>-1</sup>) e totais médios anuais ficaram entre 1950 e 2250 mm.



**Figura 2:** Médias mensais diárias (desvio padrão) da radiação global(A), insolação (B), temperatura do ar (C) e umidade relativa do ar e precipitação (D), de 20 estações meteorológicas situadas no bioma amazônico.

O modelo de A-P (equação 01) na sua forma linear simples, estima a radiação global (Q<sub>g</sub>) em função da radiação no topo da atmosfera (Q<sub>o</sub> – equação 02), dos coeficientes “a” e “b” e da razão entre a insolação (n) e o fotoperíodo (N - equação 06). Nesse caso, a radiação no topo da atmosfera (Q<sub>o</sub>, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) e suas variáveis foram estimativas seguindo as recomendações de Allen et al. (1998) e Iqbal (1983).

$$\frac{Q_g}{Q_o} = a + b \left( \frac{n}{N} \right) \tag{01}$$

$$Q_o = 37,59 * dr * \left( \frac{\pi}{180} * Ho * \sin \varnothing * \sin \delta + \cos \varnothing * \cos \delta * \sin Ho \right) \tag{02}$$

$$dr = 1 + 0,033 * \cos \left( \frac{360 * DJ}{365} \right) \tag{03}$$

$$\delta = 23,45 * \sin \left[ \frac{360}{365} (DJ + 284) \right] \tag{04}$$

$$Ho = \cos^{-1}(-\tan \varphi * \tan \delta) \tag{05}$$

$$N = \frac{2 * Ho}{15} \tag{06}$$

Em que: 37,59 (constante);  $\varnothing$  é a latitude local (°);  $\delta$  é declinação solar (°); Ho é o ângulo horário diário (°);

dr é o fator de excentricidade da órbita da Terra; DJ é ordenamento dos dias ao longo do ano (dias). A fim de evitar erros sistemáticos e outliers nas bases de dados de calibração dos coeficientes e de avaliação do desempenho, foram realizados os seguintes procedimentos (filtros de dados), com exclusão: i) insolação (n) ausente, razão de insolação (n/N) maior que 1,0 ou menor que 0,0; ii) radiação solar (Qg) nula entre as 10 e 14 horas; iii) transmissividade atmosférica (Qg/Qo) superiores a 0,85 (ESCOBEDO et al., 2009).

As bases de dados de cada EMC ou EMA (períodos concomitantes) foram separadas nos seguintes agrupamentos: i) total, considerando todas as vinte estações/cidades (visando verificar a possibilidade de utilização de coeficientes únicos para o bioma amazônico); ii) anual, considerando todos os dados de uma única estação; iii) sazonal, considerando os todos os dados de uma única estação meteorológica, separados em outras quatro bases de dados: seca (junho a agosto); seca-chuva (setembro a novembro); chuvosa (dezembro a fevereiro); chuvosa-seca (março a maio). As bases de dados de cada agrupamento, foram separadas novamente em 70 % dos dados para calibração (geração dos coeficientes) e 30% para análise de desempenho estatístico (avaliar o erro na estimativa da radiação). Essas separações foram realizadas de forma sistemática, para que todas as bases de dados apresentassem todos os decêndios de cada mês, independentemente do agrupamento.

Ass avaliações de desempenho estatístico (base de dados de validação – 30% dos dados, que não foram empregados nas calibrações) foram considerados as seguintes aplicações: i) coeficientes calibrados no agrupamento total (t) em bases de dados anuais e sazonais de cada EMA; ii) aplicação dos coeficientes calibrados no agrupamento anual de cada EMA, nas suas respectivas bases de dados sazonais; iii) e os coeficientes calibrados sazonalmente em cada EMA, aplicados nas suas bases de dados sazonais. Na análise do desempenho estatístico (validação) dos modelos obtidos com os coeficientes calibrados, empregou-se o erro relativo médio (MBE), a raiz quadrada do erro relativo médio (RMSE) e o índice de concordância de Willmott (d) nas equações 07 a 09.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N-1} \quad (07)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (08)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (09)$$

Em que:  $P_i$  é o valor estimado pelo modelo,  $O_i$  é o valor medido pela estação meteorológica,  $N$  é o número de observações.

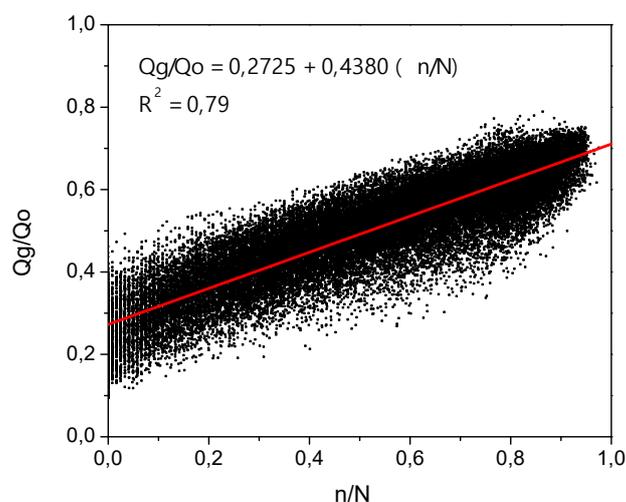
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de AP em agrupamento total de dados (calibrado para as 20 estações inseridas no bioma amazônico) apresentou correlação em torno de 89% entre a transmissividade atmosférica ou índice de claridade “kt” (Qg/Qo) e a razão de insolação (n/N) (Figura 3). Esse ajuste pode ser considerado como satisfatório, porém Liu et al. (2012) indicam que modelos que são descritos como universais, independentemente do número de estações meteorológicas e abrangência dos dados, devem ser usados com cautela, dando preferência a modelos que considera condições locais e/ou regionais.

Segundo Carvalho et al. (2011) os coeficientes (a e b) da equação AP representam as características

microclimáticas do local e devem ser ajustados para diferentes condições meteorológicas da região. Esse contexto também foi observado por Medeiros et al. (2017) no estado do Rio Grande do Norte, que ao avaliarem as diferenças entre os coeficientes ajustados sazonalmente e anualmente em relação aos coeficientes universais [ $a = 2,90 \cos(\text{latitude})$ ;  $b = 0,52$ ] recomendado por Allen et al. (1998) no boletim da FAO-56, obtiveram aumento e redução do coeficiente linear e angular, respectivamente.

Para cada valor de razão de insolação ( $n/N$ ), observa-se um elevado espalhamento da transmissividade atmosférica ( $Q_g/Q_0$ ), ou seja, ocorre uma faixa de valores superiores a 0,20 da variável dependente para um mesmo valor da variável independente. Esse comportamento advém da interação da radiação solar com as nuvens, gases, aerossóis, vapor d'água, dentre outros (SILVA et al., 2017), que caracterizam as condições atmosféricas predominantes em regiões tropicais.



**Figura 3:** Coeficientes da equação de Angstrom-Prescott, no agrupamento total de dados de razão de insolação e transmissividade atmosférica, para 20 estações meteorológicas inseridas na Amazônia brasileira.

A Tabela 2 mostra os coeficientes linear (a) e angular (b) ajustados no agrupamento sazonal (e anual das 20 cidades inseridas no bioma amazônico). O coeficiente linear (a) variou de 0,2167 a 0,3680; 0,2290 a 0,4118; 0,2230 a 0,3396; 0,2129 a 0,3586, para os períodos de seca, seca-chuva, chuva e chuva-seca, respectivamente, e de 0,2251 a 0,3561 para os agrupamentos anuais. Por conseguinte, o coeficiente angular (b) variou de 0,3325 a 0,4903; 0,3235 a 0,4911; 0,3585 a 0,5127; 0,3218 a 0,5854, nos mesmos agrupamentos supracitados.

Os melhores ajustes expressos pelos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram observados no período chuvoso e agrupamento anual. Esse comportamento se justifica na amplitude de valores da razão de insolação ( $n/N$ ) no período chuvoso, visto que, mesmo em com maior ocorrência de dias nublados, posteriormente às chuvas, ocorrem dias de céu aberto ( $Q_g/Q_0 > 0,65$ ), permitindo assim melhores ajustes de regressões lineares. No período seco, a alta frequência de dias de céu aberto (SOUZA et al., 2016), concentra a dispersão dos valores de  $n/N$  próximos a 1,0 e prejudica os ajustes dos coeficientes lineares, gerando piores correlações.

**Tabela 2:** Coeficiente linear (a), angular (b) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do modelo de Angstrom-Prescott em agrupamentos sazonal (seca, seca-chuva, chuva, chuva-seca) e anual para 20 estações meteorológicas inseridas na Amazônia brasileira.

Estação	Sazonal									Anual					
	seca			seca - chuva			chuva			chuva - seca			a	b	$R^2$
	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$			
<b>ACRE</b>															
A104	0,288	0,430	0,82	0,282	0,444	0,81	0,278	0,458	0,78	0,282	0,432	0,82	0,282	0,441	0,82
<b>AMAPÁ</b>															
A249	0,285	0,469	0,87	0,402	0,324	0,59	0,242	0,512	0,92	0,213	0,585	0,87	0,238	0,528	0,91
<b>AMAZONAS</b>															
A128	0,303	0,451	0,81	0,313	0,439	0,83	0,304	0,436	0,76	0,295	0,494	0,77	0,303	0,451	0,79
A109	0,305	0,404	0,79	0,277	0,447	0,81	0,272	0,508	0,74	0,285	0,452	0,74	0,283	0,446	0,78
A121	0,249	0,440	0,81	0,24	0,446	0,8	0,223	0,503	0,83	0,231	0,518	0,83	0,236	0,468	0,83
A111	0,316	0,350	0,72	0,308	0,41	0,78	0,293	0,473	0,76	0,291	0,436	0,82	0,306	0,396	0,78
A101	0,240	0,485	0,86	0,243	0,463	0,82	0,228	0,491	0,82	0,235	0,513	0,84	0,236	0,487	0,85
A123	0,234	0,471	0,88	0,245	0,491	0,89	0,234	0,513	0,86	0,231	0,526	0,84	0,239	0,491	0,88
A134	0,239	0,456	0,8	0,265	0,453	0,79	0,262	0,441	0,79	0,261	0,445	0,79	0,258	0,452	0,8
<b>MATO GROSSO</b>															
A917	0,341	0,391	0,54	0,309	0,427	0,74	0,289	0,495	0,77	0,317	0,436	0,79	0,304	0,446	0,75
<b>PARÁ</b>															
A201	0,221	0,369	0,51	0,229	0,350	0,47	0,227	0,365	0,71	0,230	0,322	0,58	0,225	0,356	0,65
A236	0,300	0,416	0,72	0,307	0,405	0,73	0,291	0,442	0,85	0,279	0,461	0,84	0,294	0,428	0,83
A241	0,294	0,402	0,64	0,261	0,437	0,81	0,260	0,501	0,82	0,267	0,450	0,82	0,272	0,437	0,80
A231	0,299	0,429	0,86	0,312	0,407	0,87	0,286	0,479	0,86	0,274	0,499	0,87	0,294	0,444	0,87
A240	0,295	0,403	0,77	0,293	0,397	0,81	0,286	0,433	0,82	0,309	0,395	0,77	0,295	0,405	0,81
A239	0,285	0,473	0,9	0,310	0,423	0,81	0,263	0,481	0,93	0,285	0,481	0,90	0,278	0,473	0,91
A232	0,217	0,438	0,78	0,264	0,369	0,71	0,239	0,403	0,79	0,235	0,391	0,81	0,238	0,404	0,82
A227	0,368	0,333	0,81	0,325	0,377	0,82	0,340	0,359	0,85	0,359	0,376	0,78	0,356	0,345	0,84
A229	0,257	0,381	0,68	0,260	0,413	0,72	0,277	0,388	0,75	0,300	0,322	0,65	0,283	0,362	0,71
<b>RORAIMA</b>															
A135	0,279	0,490	0,87	0,293	0,435	0,82	0,308	0,388	0,81	0,314	0,445	0,86	0,303	0,430	0,84

Em agrupamentos de dados menores (anual e sazonais), os coeficientes do modelo de AP apresentaram diferenças espaciais na região amazônica, visto efeitos geográficos decorrentes da latitude na incidência de  $Q_g$  ao longo do ano. Associadas a isso, ainda ocorrem variações do regime pluvial em algumas regiões específicas, como relatado por Belúcio et al. (2014), que em Macapá, não a duas estações bem definidas (como seca e chuva), e sim, uma estação com chuvas excedentes e outra com chuvas moderadas. Alvares et al. (2013), através de interpolações para o bioma Amazônico, encontraram variabilidade espacial da precipitação com regiões apresentando de 1900 e 3100 mm ano<sup>-1</sup>.

Para Macapá (Tabela 5) os coeficientes anuais da equação AP foram 0,2378 e 0,5217, com coeficiente de determinação de 0,91. Belúcio et al. (2014) nessa mesma estação meteorológica, porém com período de dados diferente (2006-2012), encontraram  $a = 0,27$  e  $b = 0,43$ , com  $R^2$  de 0,67. Em Sinop-MT, o desempenho dos coeficientes de AP para a estação seca (junho-agosto) foi um dos mais baixos, com correlação de 73%, com valores ajustados de 0,3041 e 0,4458. Martim et al. (2020), em estudo na mesma cidade, obtiveram valores anuais diferentes ( $a = 0,2441$  e  $b = 0,3774$ ), considerando dados entre 2011 e 2016. As diferenças entre esses ajustes devem-se ao fato de Martim et al. (2020) avaliaram dados de  $Q_g$  obtidos na estação meteorológica da UFMT Campus Universitário de Sinop, enquanto que no presente trabalho, os dados de  $Q_g$  considerados foram obtidos na EMA do INMET, distante em torno de 20 km da estação da UFMT. Todavia, os dados da razão de insolação ( $n/N$ ) em ambos os casos foram obtidos junto a estação da UFMT Sinop.

Para a estação de Belém-PA (A201), foram obtidas as menores correlações independentemente do

agrupamento de dados. Esses ajustes foram prejudicados pelo comportamento pluvial específico dessa região, visto em Manaus-AM (A101), com latitude semelhante e também situada no entorno de grande superfície de água livre, foram obtidos maiores valores de  $R^2$ . Para Manaus-AM, os coeficientes anuais ajustados foram de 0,2356 e 0,4865 (com correlação de 92%), sendo que Mota et al. (1977) encontraram 0,27 e 0,45, enquanto que Ribeiro et al. (1982) encontraram 0,26 e 0,49 e correlação de 83%, para essa mesma região. Em Belém-PA, os valores de “a” e “b” foram de 0,2251 e 0,3561 com correlação de 81% no agrupamento anual, enquanto que Mota et al. (1977) obtiveram 0,29 e 0,43, respectivamente; e Pacheco et al. (2002) encontraram valores de 0,2980 e 0,3412 com correlação de 84% para a cidade de Capitão Poço, distante em torno de 210 km ao Leste de Belém.

Quando se compara a amplitude dos coeficientes (a e b) ajustados no agrupamento sazonal em comparação ao agrupamento total de dados do bioma, observam-se diferenças de até 0,19 e 0,26 nas duas estações de transição (seca-chuva e chuva-seca), por sua vez, as diferenças entre os coeficientes em agrupamentos anuais para cada estação e agrupamento total do bioma, apresentaram-se em até 0,13 e 0,18. Buriol et al. (2012) calibraram os coeficientes do modelo AP para Santa Maria (RS) ao longo do ano e encontraram uma variação dos coeficientes dependente da sazonalidade da transmissividade atmosférica de  $Q_g$  (kt), corroborando com as observações na Tabela 3.

As condições climáticas ocorrentes em diferentes regiões podem ser identificadas pelos coeficientes do modelo AP. Na Índia, Srivastava et al. (2013) encontraram coeficientes baixos ( $a = 0,05$  e  $b = 0,13$ ) em regiões com baixa transmissividade atmosférica em função de nuvens, particulados e aerossóis que interagem com a radiação, e, coeficientes angulares altos (0,56 a 0,64) em regiões com alta transmissividade.

O erro relativo médio (MBE) para a aplicação dos coeficientes gerais calibrados no agrupamento total de dados do bioma variam de  $-1,25$  a  $2,07 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  quando aplicado nos agrupamentos anuais de cada estação meteorológica, e de  $-1,64$  a  $3,84 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  quando aplicados nos agrupamentos sazonais, indicando um padrão de aumento do erro quando se utiliza os coeficientes mais abrangentes em agrupamentos de dados menores. Por conseguinte, os coeficientes calibrados em agrupamento anual por estação meteorológica, indicaram super e subestimativas de  $0,53$  e  $0,68 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente, quando aplicados nos agrupamentos sazonais. Já os coeficientes calibrados sazonalmente propiciam redução do MBE para variações entre  $-0,31$  e  $0,35 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , com maior ocorrência de subestimativas na seca e na transição seca-chuva.

Analisando os valores de RMSE (Tabela 4), que indicam o nível de espalhamento médio das estimativas, ou seja, mantendo um mesmo valor da variável independente (X) “n/N” indica-se a faixa de variação da variável dependente (Y) ou  $Q_g/Q_0$ , têm-se que as aplicações de coeficientes calibrados sazonalmente não melhoram os espalhamentos quando aplicados nos próprios agrupamentos sazonais de dados, independentemente da época do ano. Essa comparação com as aplicações dos coeficientes calibrados anualmente nos agrupamentos sazonais pode ser melhor observada nos estados que apresentam apenas uma estação meteorológica.

**Tabela 3:** Erro relativo médio (MBE) na estimativa da radiação global (em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) pelo modelo de Angström-Prescott, calibrado e aplicado em diferentes agrupamentos de dados, na Amazônia brasileira.

Estação	(t - t)	(t - a)	(t - s)				(a - a)	(a - s)				(s - s)			
			S	SC	C	CS		S	SC	C	CS	S	SC	C	CS
<b>ACRE</b>															
A104	-0,08	-0,29	-0,21	-0,62	-0,27	-0,05	0,09	0,14	-0,21	0,13	0,31	0,09	-0,15	0,18	0,20
<b>AMAPÁ</b>															
A249	-0,08	-0,63	-1,12	-1,37	-0,06	0,00	0,02	-0,14	-0,01	0,18	0,00	0,05	0,02	0,08	-0,10
<b>AMAZONAS</b>															
A128	-0,08	-1,25	-1,17	-1,35	-1,03	-1,49	0,03	0,08	0,01	0,25	-0,25	0,08	0,15	0,08	-0,05
A109	-0,08	-0,45	-0,23	-0,29	-0,83	-0,46	0,03	0,22	0,24	-0,35	0,00	0,35	0,02	-0,21	0,11
A121	-0,08	0,87	0,87	0,82	1,10	0,68	0,07	0,30	0,08	0,14	-0,24	0,12	-0,22	0,16	0,23
A111	-0,08	-0,52	0,17	-0,54	-1,24	-0,70	0,03	0,42	0,02	-0,39	-0,08	-0,13	0,33	-0,11	-0,08
A101	-0,08	0,48	0,18	0,48	0,90	0,44	-0,02	-0,08	0,08	0,20	-0,25	0,02	-0,12	-0,01	0,06
A123	-0,08	0,30	0,44	-0,34	0,60	0,41	0,10	0,53	-0,24	0,12	-0,07	-0,11	-0,02	0,26	0,13
A134	-0,08	0,22	0,75	-0,31	0,31	0,32	-0,13	0,42	-0,62	-0,05	-0,05	-0,14	-0,31	-0,04	-0,01
<b>MATO GROSSO</b>															
A917	-0,08	-1,37	-0,89	-1,42	-1,64	-1,47	-0,10	0,25	-0,08	-0,29	-0,26	0,09	-0,22	-0,25	-0,01
<b>PARÁ</b>															
A201	-0,08	3,42	3,35	3,84	2,81	3,65	0,08	-0,18	0,03	-0,20	0,66	-0,01	0,02	0,01	0,30
A236	-0,08	-0,50	-0,36	-0,35	-0,56	-0,79	0,03	0,10	0,16	0,05	-0,23	0,02	0,01	0,21	-0,10
A241	-0,08	0,06	0,25	0,53	-0,47	-0,13	0,001	0,19	0,47	-0,54	-0,18	-0,03	0,07	0,04	-0,09
A231	-0,08	-0,86	-0,77	-0,65	-0,90	-1,16	0,03	0,08	0,29	0,00	-0,29	-0,12	0,10	0,19	-0,12
A240	-0,08	-0,24	-0,02	-0,07	-0,61	-0,29	-0,06	-0,10	0,14	-0,20	-0,06	-0,18	-0,09	-0,18	0,23
A239	-0,08	-0,98	-1,36	-0,88	-0,75	-0,90	0,03	-0,28	0,26	0,16	-0,02	-0,05	0,09	-0,24	0,41
A232	-0,08	2,07	1,88	2,26	1,93	2,12	0,11	-0,04	0,07	0,08	2,12	0,04	0,16	0,08	0,17
A227	-0,08	-1,06	-0,79	-0,15	-1,07	-2,33	-0,07	-0,13	0,27	0,18	-0,58	-0,03	0,03	-0,16	-0,07
A229	-0,08	0,98	1,68	1,02	0,54	0,80	-0,03	0,25	-0,07	-0,21	-0,06	-0,15	0,07	-0,05	-0,08
<b>RORAIMA</b>															
A135	-0,08	-0,97	-1,12	-0,99	-0,43	-1,32	-0,04	-0,24	-0,06	0,52	-0,38	-0,01	-0,29	-0,10	0,29

Em que: (t) representa o agrupamento total de dados no bioma; (a) representa o agrupamento anual de dados por estação meteorológica; (s) representa os agrupamentos sazonais de dados por estação meteorológica, sendo S (seca), SC (seca-chuva), C (chuva) e CS (chuva-seca). Nesse caso, as interações representam as aplicações dos coeficientes calibrados em um agrupamento, sendo aplicados nos demais agrupamentos, em ordem decrescente de base de dados.

**Tabela 4:** Raiz quadrada do erro relativo médio (RMSE) na estimativa da radiação global (em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) pelo modelo de Angström-Prescott, calibrado e aplicado em diferentes agrupamentos de dados, na Amazônia brasileira.

Estação	(t - t)	(t - a)	(t - s)				(a - a)	(a - s)				(s - s)			
			S	SC	C	CS		S	S	SC	C	CS	SC	C	S
<b>ACRE</b>															
A104	2,14	1,86	1,43	1,95	2,09	1,84	1,84	1,42	1,86	2,07	1,87	1,41	1,86	2,07	1,85
<b>AMAPÁ</b>															
A249	2,14	1,90	1,66	1,62	1,97	2,30	1,56	1,39	1,00	1,64	2,07	1,27	0,76	1,66	2,07
<b>AMAZONAS</b>															
A128	2,14	2,49	2,30	2,45	2,41	2,76	2,14	1,97	2,04	2,20	2,31	1,97	2,04	2,17	2,24
A109	2,14	1,86	1,70	1,79	2,05	1,88	1,80	1,71	1,78	1,89	1,81	1,72	1,77	1,81	1,81
A121	2,14	2,27	1,83	2,22	2,49	2,46	2,08	1,66	2,10	2,16	2,34	1,61	2,08	2,13	2,35
A111	2,14	2,03	1,72	2,06	2,49	1,87	1,94	1,65	2,06	2,29	1,74	1,54	2,06	2,12	1,72
A101	2,14	1,99	1,63	1,97	2,17	2,19	1,87	1,60	1,91	1,92	2,06	1,60	1,90	1,90	2,03
A123	2,14	1,94	1,65	1,51	2,30	2,16	1,86	1,74	1,55	2,07	2,00	1,63	1,53	2,06	1,99
A134	2,14	1,93	2,08	1,82	1,81	2,07	1,92	1,98	1,90	1,78	2,04	1,95	1,82	1,78	2,04
<b>MATO GROSSO</b>															
A917	2,14	2,36	1,52	2,41	2,87	2,35	1,91	1,26	1,96	2,35	1,84	1,32	1,95	2,27	1,82
<b>PARÁ</b>															
A201	2,14	4,03	3,96	4,39	3,46	4,24	2,06	2,06	2,06	1,95	2,15	2,05	2,06	1,94	2,07
A236	2,14	1,50	1,25	1,43	1,68	1,67	1,42	1,21	1,39	1,60	1,50	1,20	1,38	1,59	1,45
A241	2,14	1,81	1,31	2,02	2,13	1,67	1,81	1,30	2,00	2,15	1,67	1,29	1,95	2,02	1,68
A231	2,14	1,76	1,32	1,52	2,07	2,05	1,53	1,08	1,41	1,85	1,70	1,09	1,36	1,80	1,60
A240	2,14	6,98	1,13	1,74	1,99	1,76	1,68	1,11	1,72	1,90	1,72	1,12	1,71	1,90	1,74
A239	2,14	1,50	1,67	1,25	1,40	1,66	1,13	1,01	0,96	1,20	1,33	0,97	0,89	1,23	1,38
A232	2,14	2,77	2,56	2,90	2,71	2,83	1,81	1,69	1,77	1,89	2,83	1,73	1,75	1,89	1,94
A227	2,14	2,07	1,54	1,16	2,04	3,13	1,49	1,18	1,06	1,55	2,05	1,19	1,05	1,54	1,96
A229	2,14	2,10	2,33	2,21	1,87	2,01	1,78	1,58	1,98	1,79	1,71	1,57	1,95	1,76	1,70
<b>RORAIMA</b>															
A135	2,14	1,91	2,11	1,72	1,59	2,17	1,65	1,82	1,40	1,60	1,77	1,77	1,43	1,47	1,74

Em que: (t) representa o agrupamento total de dados no bioma; (a) representa o agrupamento anual de dados por estação meteorológica; (s) representa os agrupamentos sazonais de dados por estação meteorológica, sendo S (seca), SC (seca-chuva), C (chuva) e CS (chuva-seca). Nesse caso, as interações representam as aplicações dos coeficientes calibrados em um agrupamento, sendo aplicados nos demais agrupamentos, em ordem decrescente de base de dados.

Analisando estações meteorológicas (cidades) específicas que já tiveram calibrações anteriores dos coeficientes de AP, observou-se que os modelos calibrados em agrupamentos anuais e sazonais apresentaram menores erros (sub ou superestimativas) e espalhamentos quando comparado com as observações anteriores, como no caso de Sinop-MT (PAVÃO et al., 2018; MARTIM et al., 2020). Quanto aos índices de concordância de Willmott (d), não foram observadas diferenças expressivas nas diferentes interações dos agrupamentos de dados e coeficientes calibrados, com valores superiores a 0,90 para as interações (a - s) e (s - s). Esses valores são próximos dos encontrados na literatura para estudos no Brasil, como os de Belúcio et al. (2014) no Amapá (d = 0,89), Martim et al. (2020) em Sinop-MT (índice “d” variando de 0,65 a 0,95 dependendo da época do ano) e Medeiros et al. (2017) em Santa Maria-RS (índice “d” variando de 0,91 a 0,97).

Analisando os indicativos estatísticos (Tabelas 3 a 5), os coeficientes calibrados no agrupamento anual apresentaram desempenhos estatísticos que permitem a indicação em função da simplicidade de aplicação ao longo do ano, todavia, dependendo do objetivo e aplicação dos dados estimados de radiação global deve ser avaliada a possibilidade de aplicação dos coeficientes sazonais, que propiciaram menores valores de MBE.

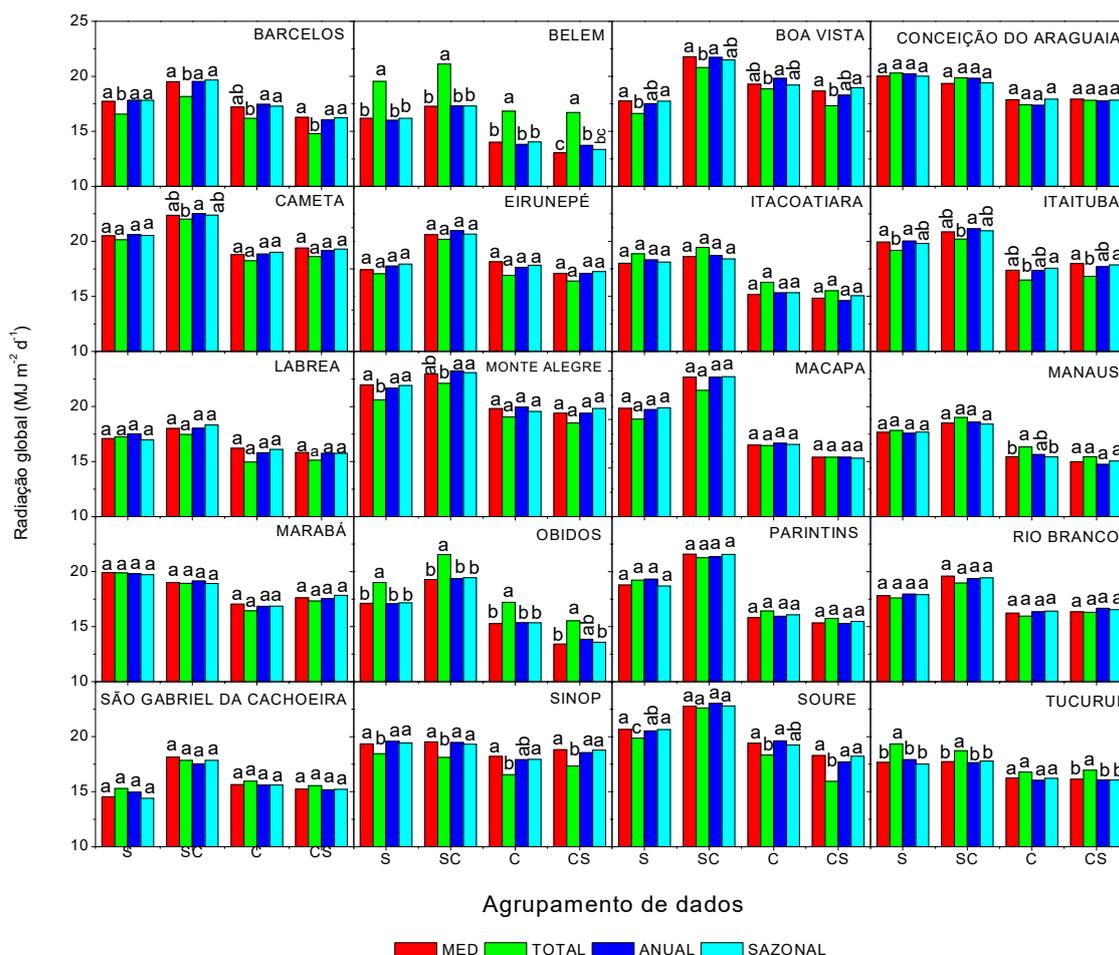
**Tabela 5:** Índice de concordância de Willmott (d) na estimativa da radiação global (em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) pelo modelo de Angström-Prezcott, calibrado e aplicado em diferentes agrupamentos de dados, na Amazônia brasileira.

Estação	(t - t)	(t - a)	(t - s)				(a - a)	(a - s)				(s - s)			
			S	SC	C	CS		S	S	SC	C	CS	SC	C	S
<b>ACRE</b>															
A104	0,93	0,95	0,95	0,94	0,93	0,94	0,95	0,96	0,95	0,93	0,94	0,95	0,95	0,93	0,94
<b>AMAPÁ</b>															
A249	0,93	0,96	0,93	0,71	0,96	0,93	0,98	0,96	0,87	0,98	0,95	0,96	0,88	0,98	0,96
<b>AMAZONAS</b>															
A128	0,93	0,92	0,92	0,93	0,92	0,90	0,94	0,94	0,95	0,93	0,93	0,94	0,95	0,93	0,94
A109	0,93	0,93	0,94	0,94	0,91	0,93	0,94	0,94	0,94	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93
A121	0,93	0,94	0,93	0,93	0,94	0,92	0,95	0,94	0,94	0,95	0,93	0,94	0,94	0,96	0,94
A111	0,93	0,93	0,92	0,94	0,89	0,93	0,93	0,92	0,93	0,90	0,94	0,92	0,93	0,92	0,94
A101	0,93	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,96	0,95	0,96	0,95
A123	0,93	0,96	0,95	0,96	0,94	0,94	0,97	0,95	0,96	0,96	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96
A134	0,93	0,94	0,92	0,95	0,94	0,94	0,95	0,93	0,95	0,95	0,94	0,93	0,95	0,95	0,94
<b>MATO GROSSO</b>															
A917	0,93	0,90	0,88	0,90	0,90	0,90	0,93	0,92	0,93	0,93	0,93	0,90	0,93	0,94	0,93
<b>PARÁ</b>															
A201	0,93	0,73	0,62	0,57	0,78	0,68	0,88	0,79	0,76	0,90	0,86	0,80	0,76	0,90	0,85
A236	0,93	0,95	0,93	0,90	0,96	0,94	0,95	0,93	0,91	0,96	0,95	0,93	0,90	0,96	0,96
A241	0,93	0,94	0,90	0,94	0,94	0,95	0,94	0,90	0,94	0,94	0,95	0,89	0,94	0,96	0,95
A231	0,93	0,96	0,95	0,96	0,95	0,94	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,97	0,97	0,96	0,97
A240	0,93	0,95	0,94	0,95	0,94	0,93	0,94	0,93	0,94	0,94	0,93	0,93	0,94	0,95	0,92
A239	0,93	0,95	0,88	0,95	0,96	0,95	0,98	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96	0,97	0,97	0,97
A232	0,93	0,89	0,85	0,81	0,89	0,88	0,95	0,92	0,91	0,94	0,88	0,92	0,90	0,94	0,93
A227	0,93	0,94	0,95	0,92	0,94	0,87	0,96	0,96	0,92	0,96	0,92	0,96	0,92	0,96	0,93
A229	0,93	0,90	0,82	0,90	0,93	0,90	0,91	0,89	0,90	0,93	0,91	0,89	0,91	0,93	0,90
<b>RORAIMA</b>															
A135	0,93	0,94	0,93	0,92	0,94	0,94	0,96	0,95	0,95	0,94	0,96	0,96	0,95	0,94	0,96

Em que: (t) representa o agrupamento total de dados no bioma; (a) representa o agrupamento anual de dados por estação meteorológica; (s) representa os agrupamentos sazonais de dados por estação meteorológica, sendo S (seca), SC (seca-chuva), C (chuva) e CS (chuva-seca). Nesse caso, as interações representam as aplicações dos coeficientes calibrados em um agrupamento, sendo aplicados nos demais agrupamentos, em ordem decrescente de base de dados.

As variações dos coeficientes do modelo de AP calibrados nos diferentes agrupamentos de dados, não indicam necessariamente, diferenças significativas na Q<sub>g</sub> estimada (Figura 4); e quando ocorrem diferenças nos agrupamentos sazonais, nota-se que são decorrentes dos maiores valores de Q<sub>g</sub> obtida pela aplicação dos coeficientes calibrados no agrupamento total (t) do bioma, e que, os valores de Q<sub>g</sub> medida não

são diferentes estatisticamente dos valores de Qg estimada pelos coeficientes sazonais ou anuais (por estação meteorológica). Essas boas relações entre estimativas e medidas são decorrentes das calibrações regionais, principalmente em agrupamentos de dados anuais, sazonais e mensais, corroborando com as observações de Dornelas et al. (2006), Carvalho et al. (2011), Belúcio et al. (2014), Souza et al. (2016), Medeiros et al. (2017) e Martim et al. (2020) para diferentes regiões do Brasil, e até mesmo, para condições climáticas distintas da Amazônia brasileira, como regiões de clima quente e seco (elevada amplitude térmica e baixa umidade relativa do ar) como Manfredonia na Itália (ANDRISANI et al., 2014), no Irã (SABZIPARVAR et al., 2013) e na China (LIU et al., 2010).



**Figura 4:** Médias sazonais da radiação global medida (MED) e estimada (em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) pelo modelo de Angström-Prescott, calibrado e aplicado em diferentes agrupamentos de dados, na Amazônia brasileira.

## CONCLUSÕES

Os coeficientes de Angstrom-Prescott no bioma amazônico brasileiro apresentam diferenças variabilidade espacial em função das condições climáticas. Essa metodologia apresenta limitações para estimativas de Qg na estação seca em função da elevada transmissividade atmosférica.

São recomendadas as calibrações de coeficientes de AP em agrupamentos de dados anuais ou sazonais por estação meteorológica, quando a região apresentar diferenças significativas na latitude.

**AGRADECIMENTOS:** Ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

– Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilização dos dados meteorológicos utilizados neste estudo.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M.. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G.. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v.22, n.6, p.711-728, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ANDRISANI, A.; MADONIA, M.; TRANCOSSI, M.. Dumas relationships applied to two Italian sites. a comparison among various solar energy estimating formulas. **Energy Procedia**, Amsterdam, v.45, p.342-351, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.037>
- ANGSTROM, A.. Solar and Terrestrial Radiation. **Quarterly of the Royal Meteorological Society**, London, v.50, p.121-126, 1924. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/qj.49705021008>
- BELÚCIO, L. P.; SILVA, A. P. N.; SOUZA, L. R.; MOURA, G. B. 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. DOI: <http://doi.org/10.1590/0102-778620130079>
- BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; HELDWEIN, A. B.; PRESTES, S. D.; HORN, J. F. C.. Estimativa da radiação solar global a partir dos dados de insolação, para Santa Maria – RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.9, p.1563-1567, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000059>
- 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. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1415-43662011000800011>
- CHEN, R.; ERSI, K.; YANG, J.; LU, S.; ZHAO, W.. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v.45, p.1759-1769, 2004. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.09.019>
- 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**, Brasília, v.41, n.8, p.1213-1219, 2006. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000800001>
- ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J.. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. **Applied Energy**, London, v.86, n.3, p.299-309, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.04.013>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Vegetação do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.
- IQBAL, M.. **An introduction to solar radiation**. Toronto: Academic Press, 1983.
- LIU, X.; XU, Y.; ZHONG, X.; ZHANG, W.; PORTER, J. R.; LIU, W.. Assessing models for parameters of the Angström-Prescott formula in China. **Applied Energy**, London, v.96, p.327-338, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.083>
- LIU, X.; MEI, X.; LI, Y.; PORTER, J. R.; WANG, Q.; ZHANG, Y.. Choice of the Angström-Prescott coefficients: are time-dependent ones better than fixed ones in modeling global solar irradiance. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v.51, n.12, p.2565-2574, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.05.020>
- MARTIM, C. C.; ZAMADEI, T.; SOUZA, A. P.; ALMEIDA, F. T.; ZOLIN, C. A.. Coeficientes de Angström-Prescott e a evapotranspiração de referência na transição Cerrado-Amazônia do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.26, p.579-594, 2020.
- MEDEIROS, F. J.; SILVA, C. M. S.; BEZERRA, B. G.. Calibration of Angström-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.409-461, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/0102-77863230008>
- MOTA, F. S.; BEIRSDORF, M. I. C.; ACOSTA, M. J. C.. Estimates of solar radiation in Brazil. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.18, p.241-254, 1977. DOI: [http://doi.org/10.1016/0002-1571\(77\)90016-4](http://doi.org/10.1016/0002-1571(77)90016-4)
- PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X.. Estimativa da radiação solar global diária em Capitão Poço, PA através da equação de Angstrom. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12. **Anais**. São José dos Campos: SBMET, 2002. p.4.
- PAVÃO, V. M.; BIUDES, M. S.; QUERINO, C. A. S.; MACHADO, N. G.; PAVÃO, L. L.; SILVA, P. C. B. S.. Surface solar radiation in a tropical area estimated from different models. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.23, n.14, p.1-17, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v23i0.51149>
- PRESCOTT, J.. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Transactions of the Royal Society of South Australia**, v.64, p.114-118, 1940.
- RIBEIRO, M. N. G.; SALATI, E.; NOVA, N. A. V.; DEMÉTRIO, C. G. B.. Radiação solar disponível em Manaus (AM) e sua relação com a duração do brilho solar. **Acta Amazônica**, Manaus, v.12, n.2, p.339-346, 1982. DOI: <http://doi.org/10.1590/1809-43921982122339>

SABZIPARVAR, A. A.; MOUSAVI, R.; MAROFI, S.; EBRAHIMIPAK, N. A.; HEIDARI, M.. An improved estimation of the Angström-Prescott radiation coefficients for the FAO56 Penman-Monteith evapotranspiration method. **Water Resources Management**, v.27, n.8, p.2839-2854, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11269-013-0318-z>

SILVA, M. B. P.; ESCOBEDO, J. F.; SANTOS, C. M.; ROSSI, T. J.; SILVA, S. H. M. G.. Performance of the Angstrom-Prescott Model (A-P) and SVM and ANN Techniques to estimate the daily global solar irradiation in Botucatu/SP/Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, Amsterdam, v.160, p.11-23, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jastp.2017.04.001>

SRIVASTAVA, B. C.; PANDEY, H.. Estimating Angström-Prescott coefficients for India and developing a correlation between sunshine hours and global solar radiation for India. **Renewable Energy**, Oxford, v.2, n.4, p.1-7, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1155/2013/403742>

SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; TANAKA, A. A.; ULIANA, E. M.; ALMEIDA, F. T.; KLAR, A. E.; GOMES, A. W. A.. Global radiation by simplified models for the state of Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.52, n.4, p.215-227, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000400001>

SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SANTOS, C. M.; JUNIOR, R. A. F.; TIBA, C.; LYRA, G. B.; LEMES, M. A. M.. Empirical models of daily and monthly global solar irradiation using Sunshine duration for Alagoas State, Northeastern Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, Amsterdam, v.14, p.35-45, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2016.01.002> 2213-1388

WMO. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**. Roma: WMO, 2014.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.