

ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR DIRETA SOB TODAS AS CONDIÇÕES DE CÉU PARA O SUDOESTE DA AMAZÔNIA

GUILHERME ALVES BORGES¹; LEONARDO JOSÉ GONÇALVES AGUIAR²;
BRUNA PAIM³; GRACIELA REDIES FISCHER⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – guilhermefborges93@hotmail.com

² Universidade Federal de Pelotas – veraneiro@yahoo.com.br

³ Universidade Federal de Pelotas – bruh_paim@hotmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – graciela_fischer@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O sol emite radiação em praticamente todos os comprimentos de onda, embora 99,9% da energia está situada na faixa compreendida entre 0,15 e 4,0 μm de comprimento de onda, por isso mesmo conhecida como domínio da radiação solar (VAREJÃO, 2000). A radiação solar que, em um dado instante e local, atinge a superfície terrestre é chamada de radiação solar global, ao atravessar a atmosfera, passa pelos processos de absorção e reflexão. A radiação que chega diretamente a superfície do solo é caracterizada como radiação direta. Os valores médios, da radiação que atinge a superfície terrestre é de cerca 51% e esse valor é repartido em 25%, em que chega de forma direta até a superfície e os outros 26% de forma difusa (OMETTO, 1981).

Contudo o estudo da radiação direta é muito escasso comparado à radiação difusa, porem vários modelos de estimativa da radiação direta estão ganhando espaço, pois permite estimar a radiação direta e difusa em superfícies horizontais. Geralmente para essas estimativas existem dois tipos de modelos: os estatísticos e os paramétricos (LIU; JORDAN, 1960; EL-SEBAIL et al., 2010).

Tendo em vista a necessidade de formulação dos modelos empíricos com dados observados na região, o que dificulta a determinação desses modelos devido aos escassos experimentos que realizam essas medidas, principalmente na Região Amazônica, este trabalho teve como objetivo obter modelos de estimativa de radiação solar direta (R_{dir}) para as estações chuvosa e seca, e estações de transição seca-chuvosa e chuvosa-seca para o sudoeste da Amazônia.

2. METODOLOGIA

O presente estudo utilizou dados de um sítio experimental pertencente à rede de torres do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia - LBA, localizado na Fazenda Nossa Senhora (10°45'S; 62°21'W) no município de Ouro Preto d'Oeste-RO. O sítio experimental encontra-se no centro de uma área desmatada com aproximadamente 50 km de raio, tendo como cobertura vegetal predominante a gramínea *Brachiaria brizantha*. Neste trabalho foram utilizados dados para o período de maio de 2004 a junho de 2005, de radiação solar global (R_s , piranômetro da Kipp&Zonen (CM21)), radiação solar direta (R_{dir} , pireliômetro da Kipp&Zonen (CM21)), coletados em uma estação experimental pertencente à rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais). As leituras dos sensores foram realizadas em intervalos de um segundo, com médias a cada minuto, sendo armazenadas em um datalogger CR23X, fabricado pela Campbell

Scientific Instrument, Utah, USA. Após análise de qualidade dos dados, com eliminação de dados espúrios, foram realizadas médias horárias e calculadas as frações direta da radiação solar global para a determinação dos modelos polinomiais de terceira ordem, como a equação 1.

$$\frac{R_{dir}}{R_s} = a + bKt + cKt^2 + dKt^3 \quad (1)$$

Em que o R_{dir} é a radiação solar direta, R_s a radiação solar global, Kt o índice de claridade e a , b , c e d são coeficientes da regressão.

Foram determinados modelos distintos para cada estação, sendo a chuvosa compreendida entre os meses de janeiro a março, a de transição chuvosa-seca de abril a junho, a seca de julho a setembro e a de transição seca-chuvosa de outubro a dezembro. Para a determinação e validação dos modelos, foi utilizada a técnica de validação cruzada k-fold, em que são removidos 70% dos dados para a determinação dos modelos e os 30% restantes são utilizados para a validação. A separação dos dados foi realizada através de modelo randômico. Para avaliar estatisticamente o desempenho dos modelos determinados para cada estação foram utilizados o erro médio absoluto (MAE), o erro de viés médio (MBE), a raiz do erro médio quadrático (RMSE), o coeficiente de determinação (R^2) e o índice de concordância de Willmott (d).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento da fração direta da radiação solar (R_{dir}/R_s) com relação ao índice de claridade (Kt) é apresentado na Figura 1. Conforme o índice de claridade aumenta a fração direta também aumenta, para todos os períodos estudados. Porém, algumas estações apresentam uma boa dispersão dos dados, mas com uma grande variância como é o caso da estação chuvosa (Figura 1a).

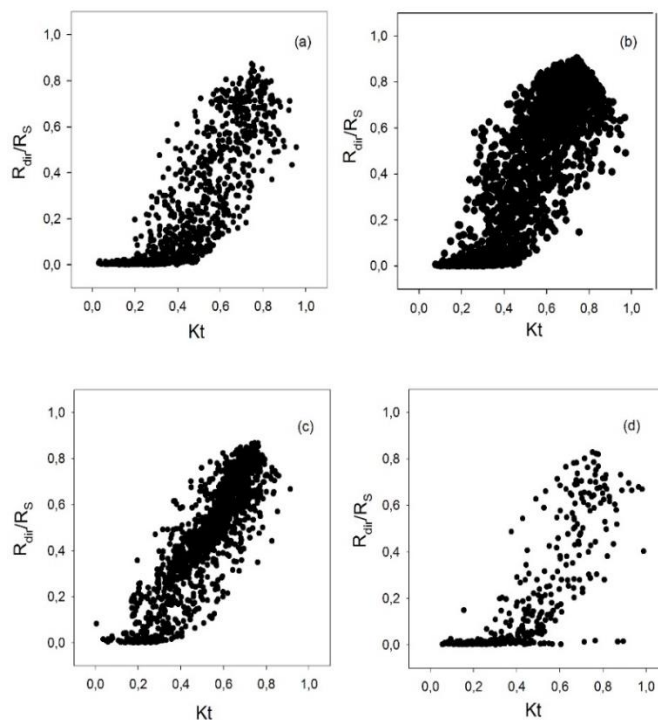


Figura 1 – Relação da fração direta da radiação solar e do índice de claridade (Kt) para as estações chuvosa (a), de transição chuvosa-seca (b), seca (c) e de transição seca-chuvosa (d).

A estação seca (Figura 1c) apresentou o melhor comportamento dentre todos os períodos, sem grande variância dos dados. Dentre as estações de transição a estação chuvosa-seca (Figura 1b) apresentou a melhor configuração, com a maior quantidade de dados disponíveis diante dos outros períodos, foi verificado o melhor comportamento, porém foi observado uma grande variância. No último período a estação seca-chuvosa (Figura 1d) foi observado alguns valores de índice de claridade alto, porém com R_{dir}/R_s baixo, esse tipo de comportamento ocorre devido a maior quantidade de aerossóis presentes na atmosfera na região estudada.

Na Tabela 1 são apresentados os coeficientes determinados para os modelos de estimativa da fração direta da radiação solar global. Os modelos de regressão apresentaram bons ajustes aos dados observados, com coeficientes de determinação superiores a 0,7. O modelo que apresentou melhor ajuste foi o da estação de transição chuvosa-seca, evidenciando a melhor relação entre a fração direta e o índice de claridade nessa estação.

Tabela 1 – Coeficientes dos modelos determinados através de regressão polinomial de terceiro grau em que a, b, c e d são os coeficientes, R^2 é o coeficiente de determinação e N é o número de dados da amostra.

Estação	A	B	C	D	R^2	N
Chuvosa	1,04528	-1,66307	0,83045	0,15639	0,765	2728
CS	1,06363	-2,62847	1,99883	0,38854	0,802	5337
Seca	-0,01491	0,15504	1,52700	-1,17863	0,798	3459
SC	0,13697	-1,34368	3,04816	-1,53531	0,745	875

Observa-se que o índice de concordância (d) apresentou resultados satisfatórios apenas para as estações seca e seca-chuvosa (Tabela 2), porém com melhor desempenho para a estação seca, concordando com o coeficiente de determinação. O MAE também apresentou melhor resultado para a estação seca com valor de aproximadamente $41,89 \text{ W m}^{-2}$, qual corresponde a menos do que 245 da radiação solar direta horária média.

Tabela 2 – Estatísticas relacionadas aos valores observados e estimados da radiação direta. O MAE, MBE e RMSE estão em W m^{-2} , o R^2 e o d são adimensionais.

Estação	Modelo	MAE	MBE	RMSE	D	R^2	N
Chuvosa	1	156,81	43,33	186,82	0,57	0,24	1161
CS	2	194,67	-141,77	237,06	0,56	0,52	2293
Seca	3	41,89	4,36	60,13	0,98	0,91	1524
SC	4	51,03	2,19	88,56	0,95	0,83	400

Através do MBE, em que valores negativos indicam subestimativa e os valores positivos superestimativa. Nota-se que ocorre uma grande subestimativa dos valores radiação direta na estação de transição (chuvosa seca), essa tendência de subestimativa pela equação, está relacionada aos coeficientes utilizados não se ajustarem bem para esse período. Porém, os outros períodos apresentaram uma superestimativa dos valores e dentre eles, o período chuvoso foi onde apresentou a maior superestimativa.

O RMSE foi maior para estação de transição chuvosa-seca ($237,06 \text{ W m}^{-2}$), este índice é mais sensível a erros de estimativa, visto que as distâncias entre os



dados simulados e observados são elevados ao quadrado. A estação seca foi a que obteve o menor valor ($60,13 \text{ W m}^{-2}$), indicando que as estimativas estavam mais próximas dos valores observados.

4. CONCLUSÕES

O modelo testado teve um desempenho satisfatório apenas para a estação seca. O baixo desempenho das equações avaliadas na estação chuvosa deixa claro que as condições de nebulosidade dominantes nessa estação, prejudica a obtenção de melhores resultados das equações. Por sua vez, torna-se evidente também, a necessidade de novas parametrizações para estimar a radiação direta para que possam ser utilizadas para todas as condições de cobertura do céu.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EL-SEBAIL, A. A.; AL-HAZMI, F.S.; AL-GHAMDI, A.A.; YAGHMOUR, S.J. Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah. **Applied Energy**, Saudi Arabia. v.87, n.1, p.568-576, 2010.
- JIANG, Y. Estimation of monthly mean daily diffuse radiation in China. **Applied Energy**, v.86, n.1, p.1458-1464, 2009.
- LIU, B.Y.H.; JORDAN, R.C. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. **Solar Energy**, v.4, n.1, p.1-19, 1960.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.
- VAREJÃO SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. INMET: Brasília, 2000.