



ESTIMAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE UTILIZANDO REGRESSÃO LINEAR SIMPLES E REDES NEURAS ARTIFICIAIS

Josemir A. Neves¹, Gilmar Bristot², Felipe F. de Araújo³, Maria de F. Santos⁴

¹ Matemático, Pesquisador III, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN, Parnamirim – RN, josemiremparn@rn.gov.br

² Meteorologista, Pesquisador II, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN, Parnamirim – RN.

³ Geógrafo, Bolsista FAPERN, Fundação de Apoio à Pesquisa do Rio Grande do Norte – FAPERN, Natal – RN.

⁴ Geógrafa, Pesquisador I, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN, Parnamirim – RN.

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Silva Nunes, UFPA, Belém, PA.

RESUMO - Esse trabalho teve como objetivo a avaliação de métodos de estimação da radiação solar global para o Estado do Rio Grande do Norte a partir de regressão linear simples e rede neurais artificiais. Foram utilizados como parâmetros de entrada a insolação, temperatura máxima diária e umidade relativa média diária de três estações meteorológicas do Estado, localizadas nos municípios de Apodi, Caicó e Natal. Os resultados demonstraram que os modelos de redes neurais são superiores ao de regressão linear em quase todas as simulações realizadas.

PALAVRAS-CHAVES: Radiação Solar, Regressão Linear, Redes Neurais Artificiais.

ESTIMATION OF GLOBAL SOLAR RADIATION FOR RIO GRANDE DO NORTE USING LINEAR REGRESSION AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACTS - This study aimed to evaluate methods for estimating global solar radiation for the State of Rio Grande do Norte from simple linear regression and artificial neural network. Were used as input parameters the insolation, daily maximum temperature and daily mean relative humidity of three meteorological stations in the state, located in the cities of Apodi, Caicó and Natal. The results showed that neural networks are superior to linear regression in almost all simulations.

KEYWORDS: Solar Radiation, Linear Regression, Artificial Neural Networks.

INTRODUÇÃO

A radiação solar é a mais ancestral fonte de energia para o homem e um parâmetro de fundamental importância para os processos físicos e dinâmicos da atmosfera. A medição direta ou estimação precisa da radiação solar incidente é fator essencial para o planejamento





de diversos setores da economia, tais como, a implantação de sistemas de geração de energia solar, o planejamento das atividades agrícolas, o gerenciamento dos recursos hídricos e também para subsidiar uma gama de estudos, como por exemplo, estudos dos impactos das mudanças climáticas globais (ADDULAZEEZ, 2011; SILVA, 2011; WEBER, 2011). O Estado do Rio Grande do Norte não dispõe de uma série de dados de radiação solar incidente muito longa, pois os instrumentos de medição instalados em Plataforma de Coleta de Dados (PCDs) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) ou em estações solarimétricas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) só começaram a serem instalados a partir de 2003. Essa condição, portanto, é um limitador para estudos sobre mudanças climáticas envolvendo este parâmetro uma vez que há a necessidade de séries mais longas. Uma alternativa para transpor essa limitação é utilizar a estimativa da radiação solar a partir de outros parâmetros meteorológicos. Logo em função do exposto acima foi proposto este trabalho com o intuito principal de avaliar qual o método mais indicado para estimar a radiação solar incidente no Rio Grande do Norte tendo como parâmetros de entrada a insolação, temperatura máxima diária e umidade relativa média diária e como parâmetro de saída dados de radiação solar diária.

MATERIAL E MÉTODOS

A estimativa da radiação solar poder ser realizada de diversas formas, por exemplo, utilizando a equação de Angstrom (WEBER, 2011) ou de uma forma mais elaborada utilizando Redes Neurais Artificiais (ABDULAZEEZ, 2011). Redes Neurais Artificiais (RNA) são modelos computacionais abstratos baseados na estrutura organizacional do cérebro humano. Essencialmente ela é utilizada para aprender o comportamento de um sistema e posteriormente simular e prever este comportamento (HAYKIN, 2001). A estrutura de uma RNA é baseada em unidades de processamento simples, neurônios, e conexões diretas ou ponderadas entre esses neurônios. Os neurônios recebem as informações de entrada, que são ponderadas e processadas através de funções de transferência e ativação devolvendo as informações para a rede (HAYKIN, 2001; FIORIN et al, 2011). As RNAs do tipo Perceptrons de Múltiplas Camadas (Multilayer Perceptron - MLP) são redes que apresentam uma ou mais camadas com nós intermediários ou escondidos (Figura 1). Estes tipos de redes são muito utilizadas por apresentarem maior simplicidade e facilidade de implementação (FIORIN et al, 2011).



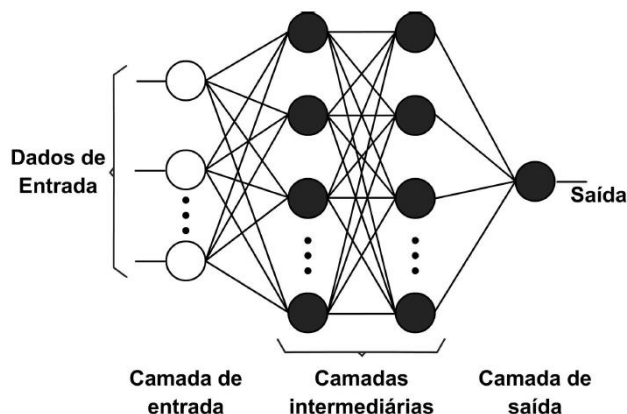


Figura 1 – Representação de um neurônio artificial (FIORIN et al, 2011).

Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizados dados diários de estações convencionais e automáticas do INMET localizadas nos municípios de Apodi, Caicó e Natal, referentes ao período de 2009 a 2012. Não foram utilizados os dados das estações solarimétricas do INPE por não apresentarem séries históricas homogêneas para esse período.

Foram ajustados dois modelos: uma regressão linear simples (RegLin) no software R e um MLP no software Neurosolutions sob três condições distintas. A primeira com as variáveis de entrada insolação, temperatura máxima diária e umidade relativa média diária; a segunda com as variáveis de entrada insolação e temperatura máxima diária e a terceira com a insolação como variável de entrada.

Para o modelo RegLin foi ajustada a equação de Angstron-Prescott:

$$\frac{R_g}{R_o} = a + b \times \frac{n}{N} \quad (1)$$

onde,

R_g = radiação solar incidente ($MJ \times m^{-2} \times dia^{-1}$)

R_o = radiação no topo da atmosfera ($MJ \times m^{-2} \times dia^{-1}$)

n = número de horas de insolação

N = insolação máxima ou fotoperíodo

a e b = coeficientes linear e angular.

Para o MLP foram rodadas todas as combinações das variáveis já citadas no software Neurosolutions na sua forma mais simples, com toda a série de entrada utilizada para treinamento, sem validação cruzada e critério de parada baseado em 80.000 épocas.

Para a análise dos resultados foram calculados o coeficiente de determinação (r^2), a raiz quadrada do erro médio quadrado (RMSE), a raiz quadrada do erro médio quadrado normalizado (NRMSE) e o coeficiente de concordância de Willmott (d) dados pelas equações abaixo:

$$r^2 = 1 - \frac{(H - \hat{H})^2}{(H - \bar{H})^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \left\{ \frac{(H - \hat{H})^2}{n} \right\}^{1/2} \quad (3)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{H}} \quad (4)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{H} - H)^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{H} - \bar{H}| + |H - \bar{H}|)^2} \right] \quad (5)$$

onde, H , \hat{H} e \bar{H} são os valores observados, ajustados e a média dos valores medidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2 a 4 abaixo apresentam o ajuste obtido no modelo RegLin.

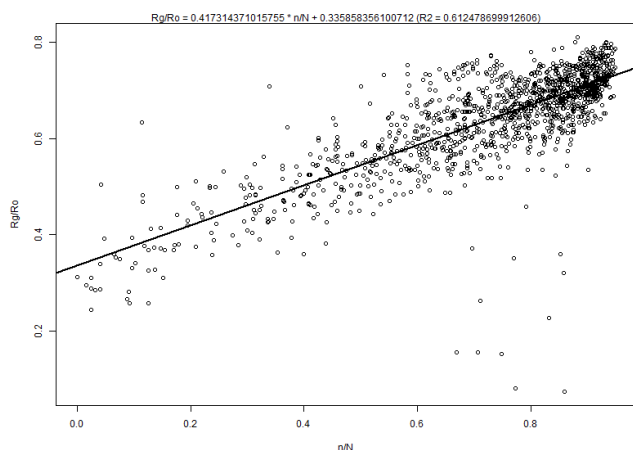


Figura 2 – Equação de ajuste do RegLin - Apodi

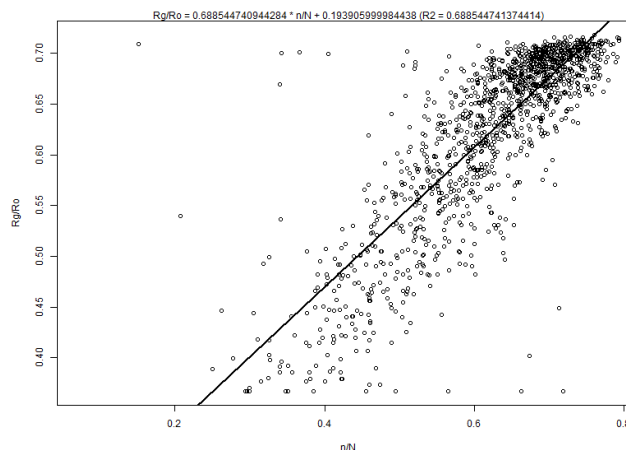


Figura 3 – Equação de ajuste do RegLin – Caicó

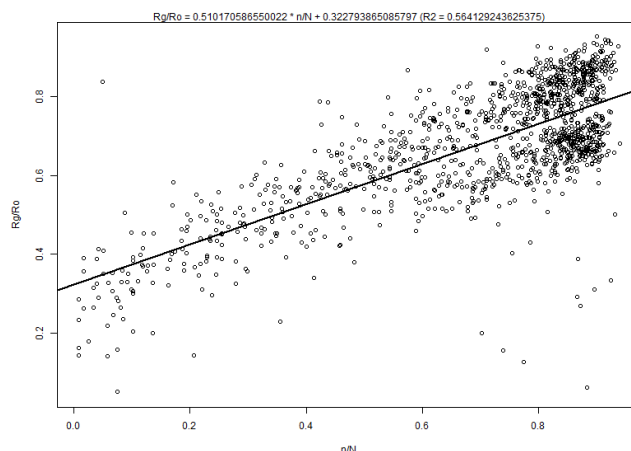


Figura 4 – Equação de ajuste do RegLin - Natal

Conforme pode ser observado ocorreu um bom ajustamento principalmente para os municípios de Apodi e Caicó com coeficientes de determinação 0,61 e 0,68, respectivamente. Para Natal o ajustamento foi um pouco inferior com coeficiente de determinação de 0,56.

A Tabela 1 abaixo apresenta as estatísticas obtidas pelos modelos RegLin e MLP em todas as simulações realizadas.

Tabela 1 – Comparativo dos modelos simulados

Estação	Modelo	r^2	RMSE	NRMSE	d
Apodi	RegLin	0,61247	2,35772	0,08927	0,86342
	MLP-1	0,60584	3,17199	0,10631	0,86079
	MLP-2	0,53387	3,44942	0,14291	0,82206
	MLP-3	0,42670	3,82541	0,17129	0,75054
Caicó	RegLin	0,68854	2,08152	0,09057	0,89840
	MLP-1	0,77193	2,12387	0,10920	0,93124
	MLP-2	0,76006	2,17841	0,11205	0,92685
	MLP-3	0,69724	2,44704	0,13454	0,90207
Natal	RegLin	0,56412	3,63432	0,11264	0,83810
	MLP-1	0,78256	2,98323	0,10435	0,93504
	MLP-2	0,77452	3,03786	0,10488	0,93215
	MLP-3	0,72049	3,38232	0,11822	0,91158

Obs: Os valores em negrito representam os melhores resultados obtidos.

Os resultados apresentados no quadro comparativo indicam como melhor ajuste o MLP-1 para as localidades de Caicó e Natal com índice de concordância de 4 e 10 % a mais que no modelo RegLin, respectivamente. Essas localidades também apresentaram todos modelos MLP superiores ao RegLin. A única discordância ocorreu em Apodi onde o RegLin apresentou-se superior embora os resultados ficaram muito próximos do MLP-1.

Resultados mais promissores utilizando redes neurais foram obtidos por AbdulAzeez (2011) com coeficiente de determinação maior ($r^2 = 0,99$), para Gusau, Nigéria, considerando essas mesmas variáveis, porém utilizando dados mensais e uma série mais extensa (10 anos).



CONCLUSÕES

Os resultados apresentados pelo MLP-1 apresentaram-se superiores aos obtidos com o RegLin e validam a utilização das variáveis insolação, temperatura máxima diária e umidade relativa média diária na estimação da radiação solar incidente viabilizando a utilização das redes neurais para o preenchimento das séries temporais de radiação no Rio Grande do Norte com o intuito de se obter séries de dados mais longas.

Apesar dos resultados promissores estes ainda podem ser melhores com a utilização de modelos de redes neurais mais sofisticados sendo este um objetivo futuro de continuação desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULAZEEZ, M.A. Artificial neural network estimation of global solar radiation using meteorological parameters in Gusau, Nigeria. **Arch. Appl. Sci. Res.**, v.3, n.2, p. 586-595, 2011.

FIORIN, D. V.; MARTINS, F. R.; SCHUCH, N. J.; PEREIRA, E. B. Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, 1309, 2011.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. Paulo Martins Engel. Porto Alegre: Bookman, 2001, 900p.

SILVA, V. A. M. **Influência da cobertura do céu na estimativa da radiação solar utilizando modelo digital de elevação**. 2011. 56 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

WEBER, E. J. **Estimativa e mapeamento da radiação solar incidente em superfícies com topografia heterogênea na zona de produção vitivinícola Serra Gaúcha**. 2011. 145 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

