

08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

PREDIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL USANDO MODELOS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Jessica Mendes de Oliveira¹ – jessy.vollen@gmail.com

Daiana da Silva Santos¹ – daiafis@gmail.com

Robson Mariano da Silva¹ – robsonms@ufrj.br

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Ciências Exatas – Seropédica, RJ, Brazil

Resumo. O presente artigo utiliza redes neurais artificiais (RNAs) de Perceptron de Múltiplas camadas (MLP) na predição da radiação global média diária, no município de Seropédica-RJ. O conjunto de dados meteorológicos foi obtido junto ao INMET/ Estação Ecológica Agrícola (A601). O modelo computacional proposto foi avaliado com a incorporação das variáveis: temperatura, umidade, ponto de orvalho, pressão e velocidade do vento na predição da radiação solar global. A configuração da rede MLP com duas camadas ocultas e número de neurônios (5,1), respectivamente nas referidas camadas, apresentou desempenho de 87,92% no conjunto de validação em termos do índice de confiança (IC). Os resultados obtidos evidenciam desempenho promissor do modelo proposto na predição da radiação solar global.

Keywords: Redes Neurais, radiação Solar, Predição, Modelo computacional.

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global e as mudanças climáticas decorrentes do aumento da temperatura do nosso planeta são questões ambientais amplamente discutidas nos dias atuais. O uso de fonte de energia renovável tem sido proposto como solução para mitigar tais preocupações, associado a necessidade de diversificação da matriz energética com o intuito de aumentar a confiabilidade e a segurança no setor energético de uma nação. Países do mundo inteiro investem em sua utilização visando transformar suas matrizes energéticas de fontes poluente para fontes de energia limpa.

No Brasil, a energia solar é uma das mais promissoras opções energéticas, pois possui a maior parte do seu território localizado na região intertropical e recebendo assim elevada irradiação solar durante todo o ano. Segundo Pereira *et.al.*(2017), no período de 2010 a 2016, houve um aumento em média de 40% da capacidade global instalada de sistemas fotovoltaicos, mostrando um aumento significativo se comparado às outras fontes de energia, como a eólica e hídrica, que apresentaram aumento de 16% e 3% respectivamente.

Segundo Kalogirou (2013), a radiação solar é a fundamental fonte da energia da Terra, fornecendo quase 99,97% da energia térmica necessária para vários processos químicos e físicos na atmosfera. Desempenhando papel vital como fonte de energia renovável. Em Benghanem (2012), encontramos a importância do modelo de previsão para calcular a média de radiação solar global a longo prazo. No entanto, o autor ressalta que medir este parâmetro só é possível em um número limitado de lugares, devido ao custo e manutenção dos instrumentos de medição. Muitos pesquisadores vêm desenvolvendo modelos empíricos que visam obter o valor da radiação global utilizando parâmetros meteorológicos. Dentre desses modelos, temos a utilização de técnicas de Redes Neurais Artificiais - RNAs (Saberian *et al.*, 2014; Solamaz e Ozgoren, 2012; Neelamegam e Amirtham, 2016, Pinheiro *et al.*, 2017).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo, a previsão da radiação solar média diária no Município de Seropédica-RJ, utilizando diferentes configurações de RNA de Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP).

2. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As redes neurais artificiais (RNAs) são modelos computacionais, inspirados no neurônio biológico, capazes de reconhecer e classificar padrões a partir de um modelo de aprendizagem baseado no aprendizado humano (Meireles *et al.*, 2003). O processo de aprendizagem da RNA se dá através de um algoritmo de treinamento que deve ser capaz de ajustar iterativamente os parâmetros que descrevem o comportamento do modelo (Gouvêa, 2012). Na literatura, vários modelos têm sido propostos ao longo das últimas décadas para solução de diferentes problemas, dentre os quais destacam-se a rede de perceptron de múltiplas camadas.

As RNAs de Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP), são sistemas de neurônios ligados por conexões sinápticas, uma ou mais camadas ocultas e uma camada de saída (Figura 1). É do tipo *feedforward*, ou seja, nenhuma saída de um neurônio de uma camada k será sinal de entrada para um neurônio de uma camada menor ou igual a k , e é completamente conectada, tal que cada neurônio fornece sua saída para cada unidade da camada seguinte (Haykin, 2001). Onde o mapeamento entre a entrada e saída é realizado por meio de uma função de ativação.

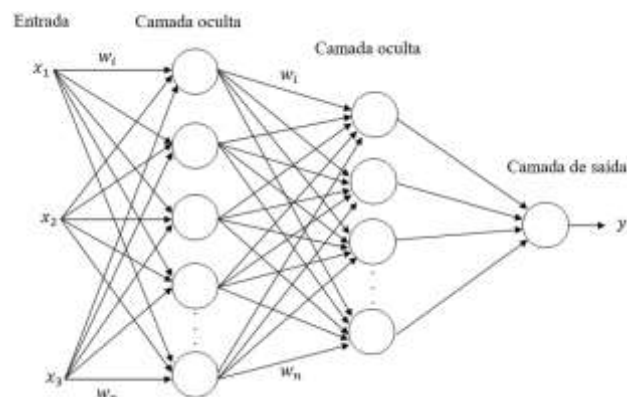


Figura 1: Arquitetura de uma rede do tipo MLP.

As funções de ativação dos neurônios devem ser não-lineares e diferenciáveis, ou seja, o gráfico da função não pode ser uma reta e deve ser possível calcular a derivada da função. A não linearidade serve para separar padrões que não são linearmente separáveis, a diferenciação permite o cálculo do gradiente da função, direcionando assim o ajuste dos pesos do neurônio durante o treinamento, uma função não-linear muito utilizada para este tipo de RNA é a função logística representada na Equação (1) (Haykin, 2001).

$$f(u_i) = \frac{1}{(1 + \exp(-ku_i))} \quad (1)$$

sendo k uma constante. A saída y_i (Eq. 2) obtida pela RNA, é igual ao valor da função de ativação em um determinado instante.

$$y_i = f(u_i) \quad (2)$$

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O conjunto de dados meteorológicos utilizado, foi obtido junto à Estação Ecologia Agrícola (A601), de responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situada no município de Seropédica-RJ (Latitude: -22.75°, Longitude: -43.68°). Referente a média diária das variáveis de temperatura, umidade, ponto de orvalho, pressão, velocidade do vento e radiação solar global, no período de maio de 2017 à maio de 2018. No período horário compreendido entre 10h às 20h de referência zulu (acrécimo de 3 horas), devido a corresponder a um intervalo significativo de incidência de radiação solar. Cabe ressaltar, que o período compreendido não levou em conta o horário de verão.

A metodologia proposta é representada na Figura 2, onde o modelo computacional desenvolvido é baseado em rede RN-MLP, de sorte a determinar a melhor configuração no que tange ao número de neurônios e camadas ocultas do modelo proposto na predição da radiação solar.

O pré processamento dos dados consistiu na detecção de dados faltosos na base de dados, normalização dos atributos e análise exploratória. Sendo a amostra dividida ao mero acaso em dois grupos independentes, o conjunto de treino composto por 90% dos dados e o conjunto de teste com os 10% restantes. Os parâmetros utilizados no modelo neural proposto estão representados na Tabela 2. O modelo computacional (RN-MLP) foi implementado utilizando o software R e os pacotes neuralnet e Metrics (Karatzoglou *et al*, 2014).

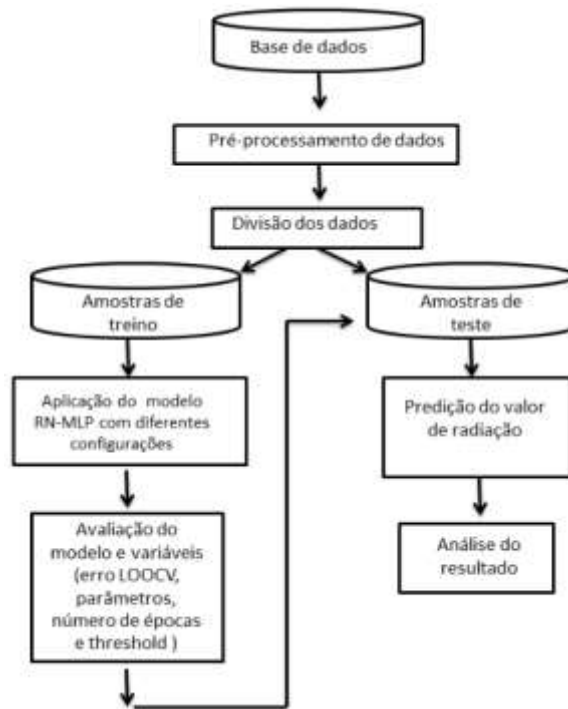


Figura 2: Fluxograma da metodologia proposta.

O desempenho dos modelos de RNA propostos foi avaliado usando o erro médio absoluto (MAE) Eq.(3), erro médio quadrático (MSE) Eq.(4), raiz do erro médio quadrático (RMSE) Eq.(5) e índice de confiança (IC) Eq.(6). (Fonseca *et al.*, 2012).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |X_i - Y_i| \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2 \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2} \quad (5)$$

$$IC = (r * D) \quad (6)$$

Onde,

N : Número de amostras;

X_i : Média diária da radiação solar;

Y_i : Média diária da radiação solar predita.

O índice de confiança (IC), Equação (6), permite analisar conjuntamente a precisão e a exatidão dos resultados obtidos, através do produto do coeficiente de correlação de Pearson (r), pelo índice de concordância (D), Eq.(7). Seus valores variam de zero (0) para nenhuma concordância, a um (1) para a concordância perfeita (Pezzopane *et al.*, 2012). A Tabela 1 demonstra os critérios para avaliação de desempenho.

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^N \left(\left| Y_i - \bar{X} \right| + \left| X_i - \bar{X} \right| \right)^2} \quad (7)$$

Tabela 1: Critérios para avaliação e análise do desempenho de modelos com base no índice de confiança.

Valor de IC	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	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Os parâmetros utilizados no modelo RN-MLP, na predição da radiação solar, estão sumarizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros utilizados pelos modelos de RN-MLP.

Parâmetros	Valor
Nº de simulações	25
Nº máximo de épocas	100.000 iterações
Função de ativação	logistic
Likelihood	falsa
Nº de repetições da rede no treinamento	1
Algoritmo de treinamento	backpropagation
Inicialização dos pesos	Aleatoriamente com valores [0,1]
Threshold (critério de parada)	0,01
Métrica usada erro de treinamento	SSE

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo computacional RN-MLP, proposto nesse trabalho, foi avaliado com a incorporação de todas as variáveis (temperatura, umidade, ponto de orvalho, velocidade do vento, pressão e radiação solar global), com diferentes configurações. A análise exploratória do conjunto de dados está representada na tabela 3.

Tabela 3: Análise exploratória do conjunto de dados utilizado no estudo.

	Radiação (KJ/m ²)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Ponto de Orvalho (°C)	Pressão (hPa)	Veloc. Vento (m/s)
Mínimo	146,90	17,36	26,27	8,47	1001	0,6545
1º Quadrante	1069,90	23,63	53,23	15,42	1009	1,9432
Mediana	1444,90	26,22	63,00	17,99	1012	2,5727
Média	1473,90	26,18	62,17	17,64	1012	2,7092
3º Quadrante	1903,10	28,52	70,64	20,16	1016	3,2773
Máximo	2686,10	34,50	93,18	23,58	1027	5,8273

Observa-se que a temperatura média verificada no período de observação foi superior a 26°C e a amplitude entre a temperatura no período de verão e a média foi inferior a 8,5°C. Quando comparado com o valor mínimo verificado no período, a diferença obtida é em torno de 17°C. Indicando uma pequena amplitude térmica no período em tela, no município de Seropédica. No que tange ao valor do ponto de orvalho, pode-se verificar na tabela que a diferença entre os valores de máximo e de mínimo está em torno de 15°C. Com relação à radiação global medida, constatamos que a média no período foi superior a 1473 (KJ/m²), indicando um grande potencial da região em questão.

As tabelas (4 e 5), apresentam respectivamente os resultados médio obtidos nas 25 simulações do modelo computacional proposto, com as diferentes configurações de rede neural (número de camadas ocultas e neurônios) e o melhor desempenho obtido pelo modelo proposto.

Tabela 4: Resultados do desempenho do modelo RN-MLP para diferentes configurações de rede.

Configuração da rede	Erro conjunto teste						Índice de Confiança	
	Médio (%)			Mínimo (%)			Médio (%)	Máximo (%)
	MAE	MSE	RMSE	MAE	MSE	RMSE		
(5,3)	9,29	1,61	12,50	6,17	0,87	9,32	70,05	84,82
(5,1)	9,50	1,67	12,77	5,98	0,63	7,92	71,68	87,92
(7,4)	10,03	1,91	13,51	7,43	0,91	9,56	63,25	82,82
(5,3,1)	9,66	1,74	13,08	7,91	0,97	9,85	68,81	85,25
(5,4,2)	9,48	1,68	12,85	7,71	0,99	9,95	68,77	82,31
(5,4,3)	9,76	1,75	13,06	7,07	0,85	9,22	67,14	81,61
(5,3,2)	9,93	1,77	13,18	6,74	1,02	10,11	66,45	81,75

A estrutura assinalada em negrito na tabela (4) foi a que apresentou a melhor performance, no que tange as métricas utilizadas para avaliar os modelos de redes neurais MLP propostos. Pode-se observar também, na tabela (4), que os modelos com duas (2) camadas ocultas, com cinco (5) neurônios na primeira camada, no conjunto das 25 simulações, apresentou desempenho médio superior a 70%. Fato que indica um bom desempenho do modelo computacional proposto na reprodução dos valores preditos, conforme valores da tabela 1.

Tabela 5: Melhor desempenho obtido pelo modelo RN-MLP para as diversas configurações de redes.

erro_treino (LOOCV)	n°. de épocas	threshold	Erro conjunto teste			IC (%)
			MAE(%)	MSE(%)	RMSE (%)	
2,09	14606	0,009464	5,98	0,63	7,92	87,92

A figura (3) representa a configuração da rede MLP, que apresentou melhor desempenho na predição da radiação solar global. Comparando com o valores da tabela 1, podemos verificar que o modelo apresentou um ótimo desempenho na reprodução dos valores preditos.

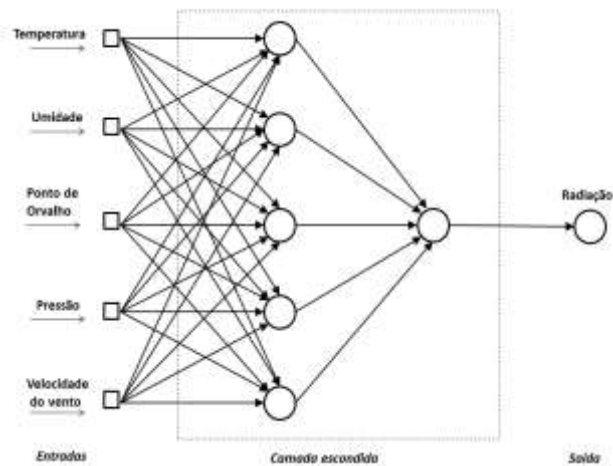


Figura 3: Configuração do modelo de rede neural que obteve melhor resultado no presente estudo.

5. CONCLUSÕES

No presente trabalho, o modelo de RNA-MLP foi desenvolvido com diferentes configurações de sorte a prever a radiação solar global média diária no Município de Seropédica. Os resultados obtidos possibilitam verificar que o número elevado de neurônios e camadas ocultas não é sinônimo de melhor desempenho no modelo proposto.

A análise do erro estatístico para o índice de confiança, indicou claramente que os valores da radiação solar preditos estavam próximos dos valores medidos com a utilização do modelo RN-MLP.

No entanto, mesmo com os resultados promissores obtidos com a utilização do modelo computacional proposto na previsão da radiação solar, se faz necessário aumentar o número de dados, bem como a utilização de técnicas de otimização dos parâmetros do modelo, de sorte a confirmar sua acurácia.

Agradecimentos

A FAPERJ pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Benghanem, M. (2012). Artificial intelligence techniques for prediction of solar radiation data: A review. *International Journal of Renewable Energy Technology*, 3(2), 189-220.
- Kalogirou, S.A. (2013). Artificial neural networks and genetic algorithms for the modeling, simulation and performance prediction of solar energy systems *Assessment and Simulation Tools for Sustainable Energy Systems*, 225-245.
- Pereira, E.B., Martins, F.R., Gonçalves, A.R., Costa, R.S., Lima, F.J.L, Ruther, R., Abreu, S.L., Tiepolo, G.M., Pereira, S.V., Souza, J.G. (2017), Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª. ed. INPE.
- Saberian, A., Hizan, H., Radzi, M.A.M., Kadir, M.Z.A.A., Mirzaei, M. (2014). Modelling and Prediction of Photovoltaic Power Output Using Artificial Neural Networks. *International Journal of Photoenergy*, v. 2014.
- Solmaz, O., Ozgoren, M. (2012), Prediction of Hourly solar Radiation in Six Provinces in Turkey by Artificial Neural Networks. *Journal of energy engineering*. v.138(4), 194-204.

- Pinheiro, E., Lovato, A. Ruther, R. (2017), Aplicabilidade de redes neurais artificiais para análise de geração de energia de um sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*. v.6(5), 875-892.
- Neelamegam, P., Amirham, V.A. (2016), Prediction of solar radiation for solar systems by using ANN models with different back propagation algorithms. *Journal of Applied Research and Technology*. v.14, 206-214.
- Meireles, M.R.G, Almeida, P.E.M., Simões, M.G. (2003). A comprehensive review for industrial applicability of artificial neural networks. *IEEE Transaction on Industrial Electronics*. v.50(3), 585-601.
- Gouvêa, M.M. (2012). A neural-based gradient optimization in large power systems. *WSEAS Transaction on Systems*, v11(8), 430-439.
- Haykin, S. (2001). *Redes Neurais – Princípios e Práticas*. Bookman, Porto Alegre, 2ª. edição.

PREDICTION OF SOLAR RADIATION BY USING NEURAL NETWORK MODEL

Abstract. *The presented article uses artificial neural network (RNA's) of Multilayer Perceptron (MLP) on the prediction of daily mean solar radiation at the city of Seropédica-RJ. The weather dataset was obtained from INMET/ Estação Ecológica Agrícola (A601). The proposed computational model was evaluated with the use of variables like: temperature, humidity, dew point, pressure and wind speed on the prediction of solar radiation. The configuration of the MLP network with two hidden layers and neurons number (5,1) respectively on the said layers presented the performance of 87,92%, on the validation set in terms of trust index. The obtained results show promising performance of the proposed model on the prediction of solar radiation.*

Keywords: *neural network, solar radiation, prediction, computational model.*