

## APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS NA PREVISÃO DA RADIAÇÃO SOLAR

FRANCISCO, SILVA D. L., PROF. PAULO, CARVALHO C. M.

*Departamento De Engenharia Elétrica, Universidade Federal Do Ceará, Caixa Postal 6001 - Campus do Pici  
60.455-760 Fortaleza - CE*

fdanielce@yahoo.com.br, carvalho@dee.ufc.br

**Abstract**—*Faced with an overview of the growing use of renewable energy, knowledge of the behavior of solar radiation in a region is key tool for installation of applications such as photovoltaic or solar thermal. It is perceived that the improvement of techniques for predicting solar radiation allows the estimation of solar radiation even in regions where there is a direct measurement of this parameter. Data to predict a reliable plan of action involving the application of clean technology and renewable. The application of neural networks for the development or refinement of data for predicting the solar radiation has been showing quite appropriate in view of the positive results shown by many studies.*

**Keywords**— Solar radiation, forecast, Neural nets

**Resumo**— Diante de um panorama crescente da utilização das fontes de energias renováveis, o conhecimento do comportamento da radiação solar de uma determinada região é ferramenta fundamental para a instalação de aplicações solares sejam elas fotovoltaicas ou térmicas. Percebe-se que, o aprimoramento das técnicas de previsão da radiação solar possibilitam a estimação da radiação solar até mesmo em regiões em que não há medição direta deste parâmetro. Dados de previsão confiáveis implicam num planejamento de ação da aplicação da tecnologia limpa e renovável. A aplicação de redes neurais para o refinamento ou elaboração de dados de previsão da radiação solar vem se mostrando bastante conveniente, tendo em vista os resultados positivos apresentados por diversos trabalhos.

**Palavras-chave**— Radiação solar, previsão, redes neurais.

### 1 Introdução

Este trabalho se propõe a relembrar técnicas utilizadas na previsão da radiação solar e destacar a boa adequação da aplicação das redes neurais para este fim.

Sistemas Fotovoltaicos (PV) de produção de eletricidade a partir da radiação solar estão previstos como uma opção tecnológica, contribuindo significativamente para o suprimento energético sustentável, devido ao contínuo avanço tecnológico e a dramática redução de custos (Huld, et al, 2003).

Os dados de radiação solar são utilizados por engenheiros, agricultores, hidrologistas em diversas aplicações (Krishnaiah, et,al, 2007).

O recurso solar é gratuito abundante e inesgotável. É efetivamente aproveitável e seu uso é importante no mundo atual especialmente no tempo de aumento do custo dos combustíveis fósseis e efeitos ambientais que causam redução da camada de ozônio e do efeito de construções verdes.

Os dados de radiação solar informam o quanto de radiação solar atinge a superfície da terra num determinado local num determinado período.

Previsões de curto prazo voltadas ao setor de energia solar podem ser empregadas no planejamento de operação de sistemas fotovoltaicos, solar-térmicos e sistemas híbridos, visando uma otimização no aproveitamento deste recurso energético. Ainda, estas informações podem contribuir para melhor gerenciar o

despacho de carga em linhas de transmissão pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), uma vez que a energia radiante contribui para o aquecimento dos cabos, por sua vez ligado às perdas de energia elétrica durante a transmissão (Guarnieri, et, al, 2007).

Usualmente as medidas de radiação solar global são feitas em poucos locais de um país, especialmente em países em desenvolvimento, onde estas medições podem ou não ser do mesmo local de desenvolvimento de uma aplicação da energia solar (Rehmana, et al, 2007). Neste contexto destaca-se a importância de ferramentas confiáveis para a estimação da radiação solar partindo de dados disponível.

### 2 Métodos de previsão da radiação solar

#### 2.1 Métodos empíricos

Sobre os métodos empíricos aplicados para a previsão da radiação solar Blanco et al. (2002), destaca Angstron (1924) que apresentou uma equação em que o quociente entre  $Q_g$  e a radiação extraterrestre ( $Q_0$ ),  $Q_g/Q_0$ , foi linearmente correlacionado com o quociente do número de horas de brilho solar ( $n$ ) pela insolação máxima possível ( $N$ ), sendo os coeficientes angular e linear dependentes da fração de  $Q_g$  em um dia inteiramente encoberto por nuvens.

Os estudos de Angstron foram sucessivamente aprimorados como mostra Krishnaiah et al. (2007)

que enumerou os seguintes estudiosos da área de 1 a 8 a seguir:

(1) Prescott (1940) simplificou essa equação de modo que os coeficientes linear (a) e angular (b) pudessem ser obtidos a partir de ajustes estatísticos, sendo este método denominado de Angström-PreScott e descrito pela equação:

$$\frac{H}{H_0} = a + b \frac{S}{S_0} \quad (1)$$

(2) Reitheld – Examinou publicações e percebeu que a é linear e b é hiperbólico. (3) Neuwirth – Desenvolveu uma relação quadrática entre a elevação do local e a regressão dos coeficientes. (4) Glover and McCulloch – Incluiu o efeito da latitude. (5) Gopinathan - Considerou latitude e elevação, e estabeleceu equações para calcular a regressão de a e b. Muitos outros alteraram a equação de Angström incluindo variáveis como, umidade, temperatura e número de dias chuvosos no mês. (6) Hay - usou o albedo da superfície da terra como variável extra. (7) Dorvlo and Ampratwum - Incorporaram funções trigonométricas aos modelos de regressão. (8) Supit and Van Kappel – Propuseram um modelo empírico que considerava a cobertura de nuvens da observação do dia.

Segundo Jiang (2008), uma das limitações impostas por modelos de regressão é que eles tem baixa performance quando aplicados para modelar sistemas não lineares. Uma maneira alternativa de evitar o problema acima é empregar redes neurais artificiais (RNA). As RNA, que estão recebendo cada vez mais a atenção em resolver os problemas práticos e complexos, são conhecidas como função de aproximação universal.

## 2.2 Trabalhos com redes neurais artificiais RNA

Segundo Guarnieri et al. (2007), redes neurais artificiais são ferramentas que computam dados de maneira semelhante àquela realizada pelas redes de neurônios biológicos. As redes são compostas por elementos de processamento interconectados (neurônios).

A análise da definição de Haykin (2002), ajuda à compreensão do conceito.

Uma rede neural é um processador maciçamente paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples, que tem a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para uso. Ela se assemelha ao cérebro em dois aspectos:

1. O de que o conhecimento é adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizagem.

2. Forças de conexão entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, são utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido (Haykin, 2002).

Sobre a aplicação de redes neurais na previsão da radiação solar Rehmana et al. (2007), destacam os seguintes trabalhos de a) a f).

a) Elizondo et al. (1996) Usou parâmetros meteorológicos como a temperatura do ar, precipitação, radiação com céu claro, duração do dia e dias do ano como entradas na técnica de rede neural de reação para estimar a RSG.

b) Al-Alawi e Al-Hinai (1998) previram a radiação total com uma exatidão de 93% usando parâmetros meteorológicos como a entrada em modelos artificiais da rede neural (ANN).

c) Togrul and Onat (1999) usaram parâmetros geográficos e meteorológicos junto com métodos de redes neurais para prever a RSG para uma cidade na Turquia.

d) Kalogirou et al. (2002) usaram um método periódico da rede neural para estimar a radiação solar máxima usando valores medidos da temperatura de ar e da umidade relativa como a entrada. Os autores encontraram que um coeficiente de correlação variando entre 98.6% e 98.8%.

e) Sozen et al. (2004) Usaram parâmetros meteorológicos e geográficos como a entrada no modelo de redes neural para o potencial solar da previsão para Turquia. Em um outro estudo,

f) Yang and Koike (2002) utilizou valores da umidade do ar superior para a avaliação da radiação solar na superfície da terra com o método de redes neurais artificiais. O presente trabalho utiliza a temperatura de ar, o dia do ano e valores de umidade relativa como a entrada em redes neural para a previsão de RSG em superfícies horizontais para Abha, uma cidade da região oeste da Arábia Saudita.

Sobre a aplicação das redes neurais na previsão solar também Krishnaiah et al. (2007) observou que a técnica da RNA é amplamente aceitável como aproximação computacional oferecendo um meio alternativo para modelagem complexa e problemas mal definidos em muitas áreas científicas.

Os modelos baseados em redes Neurais têm sido desenvolvidos campo meteorológico para modelar diferentes variáveis da radiação solar melhorando as aproximações estatísticas existentes.

(1) Alawi and Ilinai – Usaram para prever radiação onde não haviam instrumentos de medição.

(2) Mohandes et al. – verificou que métodos de função radial base são melhores que os de regressão.

(3) Kemmoku et al – Usou RNA para prever a radiação do dia seguinte.

(4) Hamdy et al – Usou RNA para prever radiação solar em diferentes bandas do espectro dos dados meteorológicos.

Guarnieri et al.(2007) propõe em seu trabalho um refinamento estatístico que consiste em alimentar as saídas de previsão de tempo de um modelo meteorológico de mesoescala (modelo Eta/CPTEC), para locais específicos, em redes neurais artificiais (RNAs). A radiação solar incidente no topo da atmosfera, calculada teoricamente para cada instante e cada local de interesse, também foi fornecida às RNAs, uma vez que trata-se da quantidade que é modulada pela atmosfera. O objetivo é obter previsões pontuais de radiação solar com erros menores do que as previsões diretamente fornecidas pelo modelo de mesoescala através de seu código radiativo. Medidas de radiação solar provenientes de duas estações do projeto SONDA situadas no sul do Brasil foram empregadas como sítios de referência no treinamento das RNAs e para a avaliação das previsões. As previsões refinadas, calculadas pelas RNAs, apresentaram viés inferior a 2%, valores de raiz do erro quadrático médio (RMSE) inferiores a 28% (ganho de 30% sobre o modelo Eta).

No trabalho de Rehmana et al (2007), dados de temperatura e umidade relativa do ar medidos entre 1998 e 2003 para a cidade de Abha na Arábia Saudita foram usados para estimar a radiação solar global (RSG) no domínio do tempo futuro usando o método de redes neurais artificiais.

Os dados medidos entre 1998 e 2001 foram usados para treinar a rede neural enquanto dados dos 240 dias remanescentes vindos de 2002 foram dados de teste. Um dos resultados deste trabalho foi uma rede neural com três entradas, 24 neurônios escondidos e uma saída foi treinada em um dia do ano, utilizando umidade relativa média diária e temperatura média diária para prever a radiação solar global. Com a mesma faixa de treinamento de dados (1462) dias foram usadas para treinar e os dados de 240 dias para testar. O erro quadrático médio para este caso foi  $3.148 \times 10^{-5}$ , enquanto a porcentagem do erro absoluto foi 4,49%, mostrado na (fig 1).

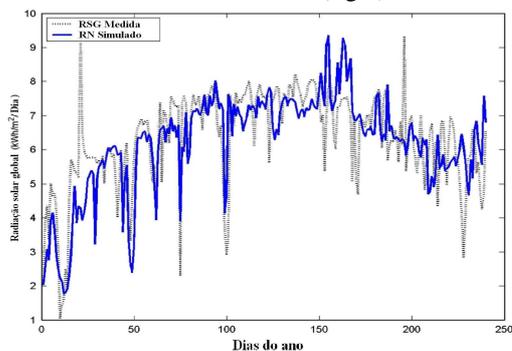


Figura 1. Radiação solar global (RSG) estimada e medida.

O trabalho de Krishnaiah et al. (2007), apresenta uma rede neural artificial (RNA) para o estimar a radiação solar global horária (RSGH) na Índia. A Índia situa-se num ensolarado cinto entre  $6^\circ \text{ N}$  e  $32^\circ \text{ N}$  latitudes, sua posição geográfica favorece o desenvolvimento e utilização da energia solar. Os modelos de RNA são apresentados e aplicados em dados meteorológicos reais. Os dados de radiação solar de sete estações são utilizadas para treinar as RNA e os dados de duas estações são utilizados para testar os valores previstos.

A arquitetura, da função ativação e algoritmo de aprendizagem são importantes características do modelo da RNA. Para estimar a radiação solar global horária diversas arquiteturas feed forward de redes neurais multicamadas foram investigadas com o objetivo de encontrar o que poderia resultar no melhor desempenho global. A arquitetura da RNA é mostrada na (Fig.2).

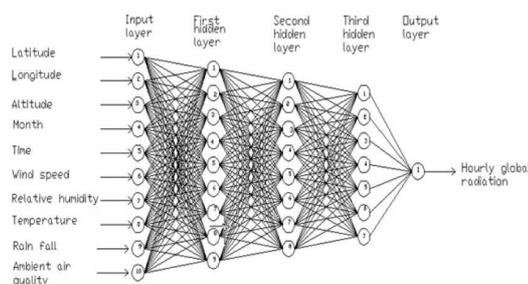


Figura 2. Arquitetura de RNA.

Valores do Máximo percentual médio de erro do presente estudo foram comparados com a literatura sobre estudos semelhantes que utilizaram RNA e os outros métodos e estão mostrados na (tabela 1).

Tabela 1. comparação de métodos de previsão

Estudo	Estação	MPE max (%)	Método /algoritmo-neurônios
Krishnaiah et al.	Ahmedabad	4,09	RNA / MLFF-10
Sozen	Mugla	6,73	RNA / LM-6
Reddy e Ranjan	Mangalore	10,20	RNA / MLFF-8
Mohandes	Kwash	19,1	RNA / MLFF
Angstron	Mangalore	14,67	Modelo empírico
Torgul	Elazig	9,8	Análise de regressão

### 3 Conclusão

Os resultados indicaram que os métodos de redes neurais são adequados para prever a radiação solar quando comparados aos tradicionais modelos de regressão.

Os métodos podem ser aplicáveis a qualquer região, desde que amostras da radiação solar de todas

as localidades e tipos de condições meteorológicas sejam incluídos no processo de treinamento.

Os modelos de RNA mostram-se promissores para avaliar a radiação solar global, em regiões em que uma rede de estações de monitoramento, não foi configurada.

As previsões dos modelos de RNA possibilitam os engenheiros solares a desenvolver e localizar os sistemas de energia solar aproveitando o melhor do recurso solar.

### Referências Bibliográficas

- Blanco, F. F. e Sentelhas, P. C. (2002). Coeficientes da equação de Angström-Prescott para estimativa da insolação para Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria*, v. 10, n. 2, p. 295-300, 2002 Recebido para publicação em 25/10/2001. Aprovado em 25/10/2002. ISSN 0104-1347
- Guarnieri, R. A. e Pereira, E. B. e Martins, F. R. e Chan, C. S. (2007). Previsões de radiação solar utilizando modelo de Mesoescala: refinamento com redes neurais. *I CBENS - I Congresso Brasileiro de Energia Solar A-BENS - Associação Brasileira de Energia Solar Fortaleza, 8 a 11 de abril.*
- Haykin, S. *Redes Neurais: Princípios e Prática*. 2ª Edição, Porto Alegre: Bookman, 2002.
- Huld, T. A. e Šúri, M. e Dunlop, E. D. (2003). Gis-based estimation of solar radiation and pv generation In central and eastern Europe on the web. *9th EC-GI & GIS Workshop ESDI: Serving the User A Coruña, Spain June 25-27.*
- Jiang, Y (2008). Prediction of monthly mean daily diffuse solar radiation using artificial neural networks and comparison with other empirical models. *Energy Policy*.
- Rehmana, S. e Mohandes. M. (2007). Artificial neural network estimation of global solar radiation using air temperature and relative humidity. *Energy Policy* 36 (2008) 571–576.
- Krishnaiah, T. e Rao, S. S. e Madhumurth, K. y. e Reddy, K.S. (2007). Neural Network Approach for Modelling Global Solar Radiation. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(10): 1105-1111.