

Estimação da irradiação solar média diária no Município de Fortaleza através de Redes Neurais Artificiais.

Samuel Vieira Dias – samueldias@cefetce.br

Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará – CEFETCE, UNED Maracanaú, Área da Indústria

Paulo Cesar Marques de Carvalho – carvalho@dee.ufc.br

Universidade Federal do Ceará - UFC, Departamento de Engenharia Elétrica

Geraldo Luis Bezerra Ramalho – gramalho@cefetce.br

Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará – CEFETCE, UNED Maracanaú, Área da Indústria

Manuel Rangel Borges Neto – rangel@cefetpet.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Petrolina – CEFETPET, Coord. Eletrotécnica

André Pimentel Moreira – apmoreira@cefetce.br

Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará – CEFETCE, Área da Indústria

1.2 Potencial Solar

Resumo. *O presente artigo objetiva fazer um estudo sobre redes neurais artificiais e aplicações destas redes na área de energia solar; adicionalmente o artigo visa implementar um modelo de rede neural que viabilize, entre outras possibilidades, estimar a intensidade de radiação solar que atinge uma superfície horizontal. Com base em dados dos meses de junho de 2003 a maio de 2004 em Fortaleza, foi possível fazer o treinamento da rede neural e estimar o valor de irradiação no período de outubro de 2004 a abril de 2005. Os valores estimados pela rede, no referido período, apresentaram um erro quadrático de 0,0669 kWh/m².*

Palavras-chave: *Irradiação solar, Estimação, Redes neurais.*

1. INTRODUÇÃO

A demanda por energia é maior à medida que os países crescem ou desenvolvem. Os combustíveis fósseis tradicionalmente têm atendido a este propósito. Porém questões como limitação de reservas, volatilidade de preços e, sobretudo, questões ambientais, tem estimulado o estudo e uso de alternativas energéticas renováveis que apresentem um menor impacto ambiental.

A energia Solar Fotovoltaica (FV) é uma alternativa considerada limpa, não produz resíduo, baseia-se na conversão da irradiação solar em energia elétrica, tem custo operacional muito baixo. No entanto o investimento inicial e condições climáticas ainda são fatores limitadores.

Conhecer o comportamento da irradiação solar, em uma determinada região, é importante passo para o planejamento e dimensionamento dos sistemas FV com a melhor eficiência de conversão assim como o menor custo possível. Tal comportamento é obtido através de séries históricas de medições diárias, porém nem sempre há continuidade nestas medições, ou mesmo dados suficientes para estudar um comportamento futuro. A tarefa de predição é freqüentemente um desafio no qual o uso de ferramentas computacionais é indispensável. Uma das possibilidades é fazer uso das redes neurais artificiais.

O termo rede neural significa uma associação de neurônios que juntos possuem a capacidade de aprender e tomar decisões, e assim, contribuir para o correto funcionamento de todos os órgãos e aparelhos que compõem o corpo humano. Na computação, acrescentamos a expressão artificial para evidenciar a distinção com as redes neurais biológicas. Tal associação é considerada inteligente por apresentar a capacidade de aprender e tomar decisões. Logo, definimos as redes neurais artificiais como sendo sistemas computacionais adaptativos inspirados nas características de processamento de informação encontradas nos neurônios reais (biológicos) e nas características de suas interconexões. (Hernandez, 2005).

Barreto (2007) afirma que existe uma lei matemática $y=f(x)$ que relaciona os valores do vetor de entrada x com os valores do vetor de saída y . Porém, f é até então desconhecida. Como não sabemos a natureza da função f , se linear ou não linear, as redes neurais são utilizadas para imitar a relação matemática f .

Uma rede neural artificial (ANN) imita o processo de aprendizagem do cérebro, aprende as relações entre os parâmetros de entrada e as variáveis de saída, estudando previamente os dados registrados (Kalogirou, 2000).

Mubiru (2007) afirma que uma rede neural típica consiste de uma entrada, uma camada escondida (ou intermediária) e uma camada de saída. Outros componentes incluem um neurônio, um peso w e uma função de transferência f , conforme podemos observar na Fig. 1.

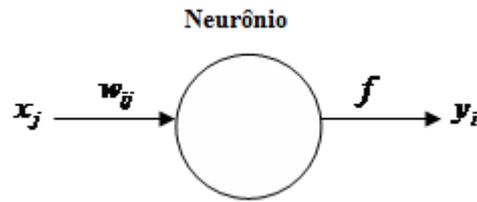


Figura 1: Estrutura de um neurônio. (Mubiru, 2007).

Analisando a figura acima, temos que uma entrada x_j é multiplicada por um peso w_{ij} . Este produto é um argumento para a função de transferência f que gera uma saída y_i . A função de transferência confere à rede neural a capacidade de realizar regressão não linear conforme a Eq. (1):

$$y_i = f\left(\sum_{j=1}^n x_j w_{ij}\right) \quad (1)$$

Uma rede neural pode ser implementada através de duas etapas. A primeira consiste em efetuarmos o treinamento de seu algoritmo *backpropagation* e a última em validar o algoritmo treinado, por exemplo, através do comparativo entre os valores reais coletados por um sistema e os valores estimados pela rede neural.

O processo de treinamento consiste em ajustar os valores dos pesos w (Fig. 1) por tentativas, de tal forma que a rede neural produza uma saída desejada, ou seja, obtenha-se um valor de erro de propagação aceitável; este erro pode ser definido como a diferença entre o valor real e o valor estimado. (Mubiru, 2007).

Se uma rede neural gera valores que acompanham os valores reais de uma variável que não foram utilizados para treinar o algoritmo, podemos afirmar que o algoritmo treinado, para determinados valores de entrada e saída, foi validado. Nesta etapa os valores dos pesos não são mais ajustados. (Barreto, 2007).

2. APLICAÇÕES DE REDES NEURAI ARTIFICIAIS EM ENERGIA SOLAR.

Uma primeira aplicação consiste na estimação da irradiação solar de uma região baseando-se em dados de várias estações meteorológicas (horas de sol, temperatura máxima, cobertura de nuvem) e parâmetros locais (latitude, longitude e altitude). Neste caso, os experimentos de Mubiru (2007) mostraram a eficiência da ANN sobre modelos empíricos na estimação de irradiação solar obtendo um erro residual de 0,059 MJ/m² e um erro quadrático de 0,385 MJ/m². Foram usados dados de três estações meteorológicas no período de abril de 2003 a dezembro de 2005 no processo de treinamento da rede e os resultados foram validados através da comparação com os dados coletados por uma quarta estação meteorológica.

Mubiru (2008), através de novo estudo, acrescentou a umidade relativa como mais uma variável no treinamento da rede e obteve melhores resultados como pode ser visualizado nos novos valores de erro residual 0,018 MJ/m² e erro quadrático de 0,131 MJ/m².

Zervas, *et al* (2007) mencionam que as redes neurais podem ser aplicadas, além da estimação da irradiação solar global, na modelagem de sistemas fotovoltaicos. O artigo apresenta valores de irradiação em função das variáveis: céu limpo, poucas nuvens, parcialmente nublado, nublado, muito nublado e chovendo que serviram como variáveis de entrada para o modelo de rede neural.

Elminir, *et al* (2004) usaram a rede neural para estimar a irradiação solar em diferentes comprimentos de onda (infravermelho e ultravioleta) e obtiveram uma precisão de 95% e 93%, respectivamente. Ainda utilizaram o modelo de rede neural para prever os valores de irradiação, para as faixas mencionadas, em outra localidade e obtiveram precisões nos resultados de 95% para o infravermelho e 91% para o ultravioleta.

Bosch, *et al* (2007) fizeram um estudo sobre como se comporta a irradiação solar em regiões montanhosas e utilizaram o recurso da rede neural para estimar a irradiação solar global nessas regiões, pois efetuar medições nessas localidades é um processo dispendioso e complicado devido às condições climáticas e de relevo.

Logo, podemos concluir que a rede neural é um recurso bastante poderoso aplicado em sistemas de energia solar, principalmente na estimação da irradiação solar global.

3. DADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA PARA FORTALEZA.

Com o intuito de aplicar as redes neurais artificiais na estimação de irradiação solar global no município de Fortaleza foram usados dados de irradiação solar coletados no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará – UFC. Foram utilizados dados diários de irradiação solar de junho de 2003 a maio de 2004 para servir como dados de

entrada para o treinamento da rede neural. Com base nos dados coletados foi elaborada a Fig. 2, que apresenta a média diária de irradiação solar ao longo do referido período em Fortaleza.

Pode ser observado que em torno do dia 220, que equivale ao final do mês de dezembro e início de janeiro, ocorreu um decréscimo dos valores de irradiação solar medidos, pois equivale ao início da estação chuvosa em Fortaleza.

No mesmo período, foram coletados dados de temperatura ambiente que também servirão para o treinamento da rede neural; neste caso, os valores de temperatura serão tratados como variáveis de entrada para a estimação da irradiação solar. A Fig. 3 corresponde aos valores de temperatura ambiente coletados no período de junho de 2003 a maio de 2004 em Fortaleza.

Pode-se concluir que a temperatura ambiente ao longo do período em Fortaleza apresenta pouca variação; alguns picos de temperatura foram ocasionados por perturbações externas e a ruídos inerentes ao sistema de aquisição de dados; porém tais perturbações não foram freqüentes, portanto não influenciaram na veracidade e precisão dos dados de temperatura coletados.

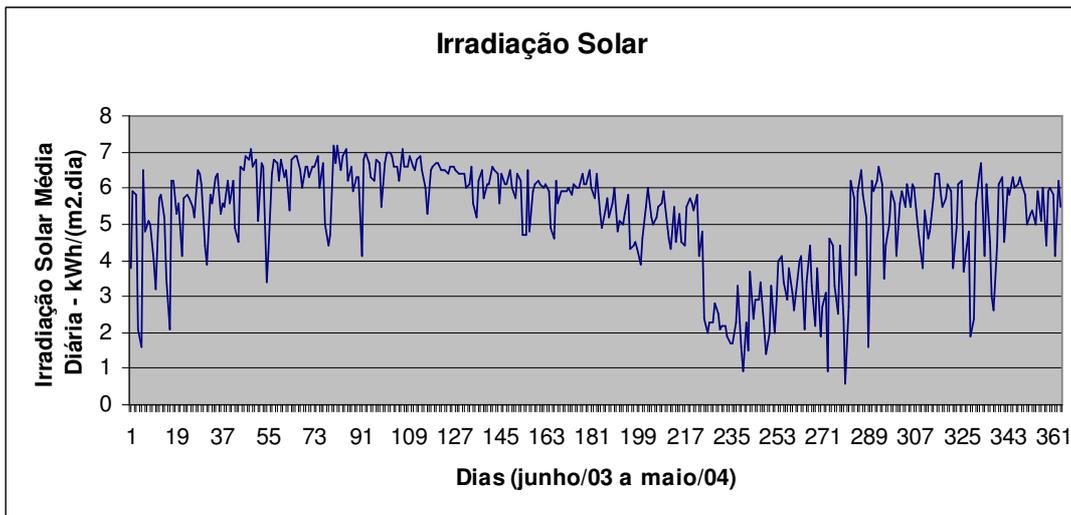


Figura 2: Irradiação solar no período de junho de 2003 a maio de 2004 em Fortaleza.

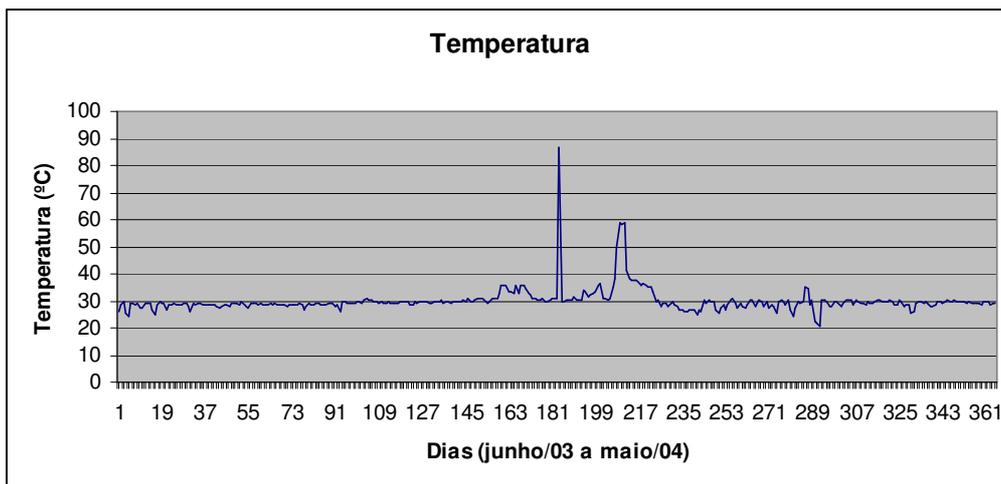


Figura 3: Temperatura ambiente no período de junho de 2003 a maio de 2004 em Fortaleza.

4. RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES.

Primeiramente foi efetuado o treinamento da rede neural no período de junho de 2003 a maio de 2004, tendo o dia do ano e a temperatura ambiente como variáveis de entrada e irradiação solar como variável de saída. Após o treinamento foi obtida a Fig. 4, que apresenta os valores previstos e valores reais medidos.

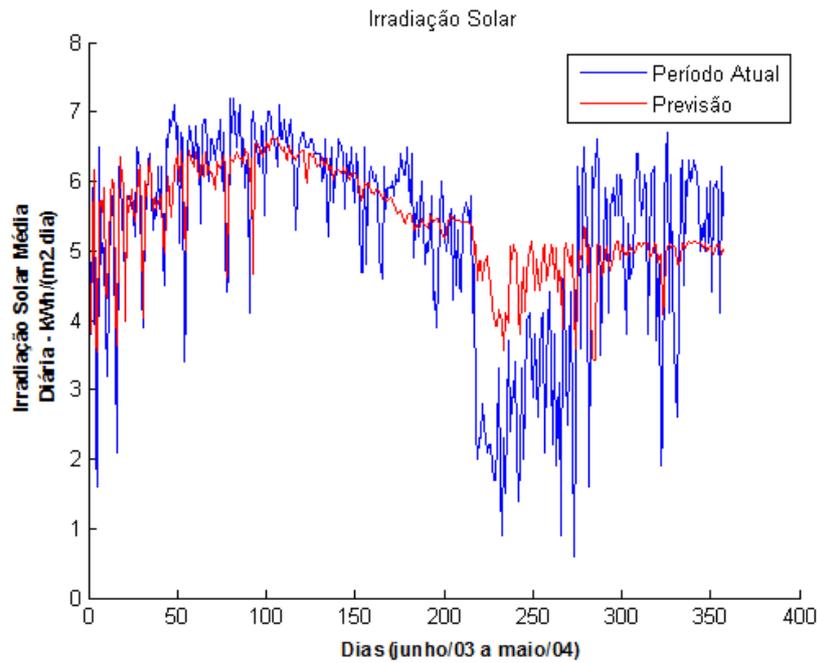


Figura 4: Irradiação solar em Fortaleza: valores medidos (Azul) e previstos (Vermelho).

Pela observação da Fig. 4, nota-se que a curva gerada pela rede neural acompanha a curva real, apresentando picos e vales da mesma forma que ocorre na curva com dados reais.

O passo seguinte foi validar a rede treinada para a irradiação solar no período de outubro de 2004 a abril de 2005 em Fortaleza. O processo de validação gerou a Fig. 5.

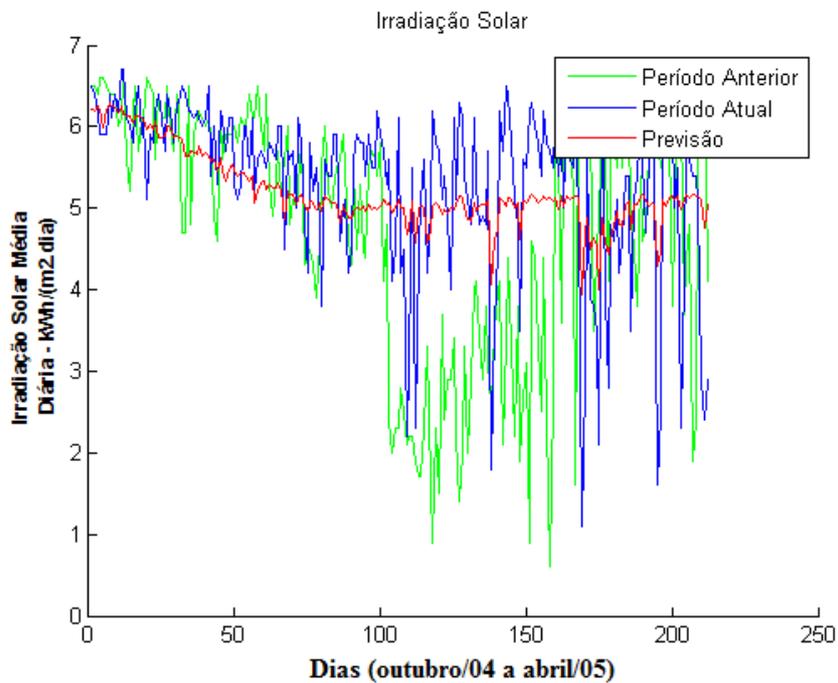


Figura 5: Irradiação solar em Fortaleza: valores medidos (azul), previstos (vermelho) e curva correspondente ao período anterior (verde).

Comparando a curva de irradiação solar no período de outubro de 2004 a abril de 2005 (em azul) com a curva relativa ao período anterior, de outubro de 2003 a abril de 2004 (em verde), nota-se que a irradiação solar comporta-se de modo bastante variável de ano a ano. Por volta do centésimo dia, a irradiação solar na curva verde tem um decréscimo significativo, devido a prováveis chuvas, o que não aconteceu no ano seguinte (curva em azul). Neste último, os valores de irradiação não tiveram oscilações bastante consideráveis.

5. CONCLUSÕES.

A rede neural conseguiu fazer uma previsão aceitável dos valores de irradiação solar para o período 2004/2005, conforme pode ser observado nas curvas da Fig. 5. Apesar da rede neural ter sido treinada com os dados de irradiação solar, do período de 2003/2004, que se comportaram de forma diferente ao período de validação, a mesma conseguiu estimar uma curva de irradiação satisfatória e obteve um erro quadrático de 0.0669 kWh/m².

REFERÊNCIAS:

- Barreto, G. A. 2007. Perceptron Simples. PPGETI, UFC, Fortaleza. <www.deti.ufc.br/~guilherme/courses.htm>. Acessado em 21/04/2008.
- Barreto, G. A. 2007. Perceptron Multicamadas e o Algoritmo de Retropropagação do Erro. PPGETI, UFC, Fortaleza. <www.deti.ufc.br/~guilherme/courses.htm>. Acessado em 21/04/2008.
- Bosch, J.L., López, G., Batlles, F.J. 2007. Daily solar irradiation estimation over a mountainous area using artificial neural networks. *Renewable Energy* 33. pp. 1622–1628.
- Elminir, H. K., Areed, F. F., Elsayed, T. S. 2004. Estimation of solar radiation components incident on Helwan site using neural networks. *Solar Energy* 79. pp. 270–279.
- Hernandez, E. M. 2005. Inteligência computacional e redes neurais em engenharia elétrica, Notas de aula, EPUSP, São Paulo. <www.lsi.usp.br/~emilio/>. Acessado em 21/04/2008.
- J. Mubiru, E.J.K.B. Banda. 2007. Estimation of monthly average daily global solar irradiation using artificial neural networks. *Solar Energy* 82. pp. 181–187.
- Kalogirou, S.A., 2000. Applications of artificial neural-networks for energy systems. *Applied Energy* 67, pp. 17–35.
- Mubiru, J. 2008. Predicting total solar irradiation values using artificial neural networks. *Renewable Energy* 33. pp. 2329–2332.
- Zervas, P.L., Sarimveis, H., Palyvos, J.A., Markatos, N.C.G. 2007. Prediction of daily global solar irradiance on horizontal surfaces based on neural-network techniques. *Renewable Energy* 33. pp. 1796–1803.

Daily average solar irradiation forecast in Fortaleza using Artificial Neural Networks.

Abstract. *The present paper aims to make a study about artificial neural networks and the applications in the solar energy sector; additional to that, the paper aims to generate a neural network model that can make a prognosis of the solar irradiation on a horizontal surface. Based on data collected in the period of June 2003 – May 2004 in Fortaleza, it was possible to train the neural network and estimate the irradiation in the period October 2004 – April 2005. The values estimated by the neural network in the mentioned period showed an square error of the 0,0669 kWh/m².*

Key words: *Solar irradiation, Forecast, Neural networks.*