

# AVALIAÇÃO DE POTENCIAL SOLAR DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL: ESTUDO DE CASO PARA PARNAÍBA (PI) E MARACANAÚ (CE)

**Francisco Evandro de Melo** – evandromelo@ifce.edu.br  
**Paulo Cesar Marques de Carvalho** – carvalho@dee.ufc.br  
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

**Resumo.** O Brasil possui um vasto potencial em energias renováveis descentralizadas, boa parte pouco utilizado. Dentre estes potenciais destaca-se a radiação solar. Adicionalmente, a radiação solar apresenta uma complementariedade em relação à geração via hidroelétricas. É, portanto, vital que levantamentos estatísticos sejam feitos tornando possível caracterizar o comportamento do potencial solar, permitindo desenvolver estratégias para o uso efetivo desta fonte de energia. O presente artigo tem como objetivo realizar um estudo estatístico sobre dados oriundos de duas torres de coleta de dados de radiação solar situadas em Parnaíba, Piauí, e em Maracanaú, região metropolitana de Fortaleza – Ce. O estudo foi realizado no período de agosto de 2012 a julho de 2013 em Parnaíba e maio de 2012 a abril de 2013 em Maracanaú.

**Palavras-chave:** Radiação Solar, Estatísticas.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o governo brasileiro está desenvolvendo políticas para diversificar a matriz de geração de eletricidade do país. Uma das estratégias foi o chamado “Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA); um programa governamental visando promover o uso da energia eólica, da biomassa e de pequenas centrais hidroelétricas”. O sucesso foi obtido principalmente no setor eólico: final de 2002 os parques eólicos brasileiros apresentavam uma potência nominal de 22 MW, com uma fração insignificante de 0,03% da potência total do país. Final de 2011, o setor eólico apresenta uma potência nominal de 1.543 MW e uma participação de 1,3%, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Plantas fotovoltaicas (FV) não foram incluídas no PROINFA.

Assim, as políticas e incentivos governamentais podem ser considerados não satisfatórios em relação à energia solar, principalmente no caso de plantas FV. O país tem uma irradiação solar anual elevada com uma variação sazonal e interanual baixa devido à localização em uma região tropical. Estas características são confirmadas pelas avaliações da energia solar para o território brasileiro: Atlas brasileiro para energia solar (2006), Atlas solarimétrico brasileiro (2000) e Atlas de radiação solar do Brasil (1998) (Martins & Pereira, 2011), (Jannuzzi & Melo, 2013), (Bathke, 2011).

Adicionalmente a esta motivação, hidroelétricas brasileiras têm regimes sazonais quase que similares: elevadas vazões em dezembro – abril (estação chuvosa) e baixos níveis de reservatório em julho – outubro (estação seca). O recurso solar se comporta de forma complementar aos regimes hídricos sazonais: os mais baixos níveis de irradiação são encontrados durante os meses de chuva devido à maior cobertura de nuvens; assim, plantas solares (FV e térmicas) conectadas à rede podem poupar água dos reservatórios durante os críticos meses secos.

O primeiro registro do uso de sistemas FV no modo autônomo no Brasil data dos anos 1980. Desde então, o programa mais importante de eletrificação rural no país usando sistemas de energia renováveis foi o chamado “Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios” (PRODEEM), que iniciou operação em 1994. O objetivo deste projeto foi abastecer de eletricidade uma população de cerca de 3,72 milhões de pessoas, vivendo em comunidades rurais e remotas, não conectadas à rede. A atividade foi conduzida por um período de quatro anos (Borges Neto et al, 2010).

Desde 2004 o PRODEEM foi integrado em outro programa de eletrificação governamental, “Luz para Todos” (LPT). Este é um programa maior que tem dado prioridade para a extensão da rede elétrica para o abastecimento de eletricidade de comunidades rurais, mas em alguns casos específicos a energia elétrica pode ser fornecida por fontes renováveis de energia no modo autônomo.

Recentemente, algumas iniciativas indicam que o sol começa a brilhar para plantas FV conectadas à rede no Brasil. 2011 iniciou a operação a maior unidade FV conectada à rede no país, instalada em uma área rural do estado do Ceará, com uma potência nominal de 1 MWp, obtida por 4.680 módulos FV em um área de cerca 12.000 m<sup>2</sup>. A unidade está projetada para uma potência final de 50 MWp.

2012 foi um ano importante na área da regulamentação. A resolução 482 da ANEEL, publicada em abril de 2012, fornece as condições gerais para o acesso da micro-geração (até 100 kW) e da mini-geração (de 100 kW a 1 MW) à rede de distribuição. “A 482 considera as fontes hidro, solar, eólica, biomassa ou cogeração como fontes de eletricidade” para alimentar a rede. Com tais iniciativas, um cenário otimista para unidades FV conectadas à rede no Brasil parece finalmente

se tornar realidade. O objetivo do presente artigo é utilizar ferramentas da estatística para caracterizar o potencial solar de duas áreas situadas na parte norte da região Nordeste do Brasil (Parnaíba e Maracanaú).

## 2. ESTUDOS DAS SÉRIES DE RADIAÇÃO GLOBAL

O presente artigo utiliza de técnicas estatísticas para caracterizar o potencial solar em Parnaíba (PI) e Maracanaú (CE). Para a realização deste estudo, foram utilizados dados de radiação global medidos a cada 10 minutos com uso do sensor de radiação solar NRG #LI-200SZ. Maracanaú está localizado no Ceará (latitude  $-03^{\circ} 52' 36''$ ; longitude de  $-38^{\circ} 37' 32''$  e altitude de 40 metros), a 18 km de Fortaleza, considerado o maior centro industrial do estado. Parnaíba está localizada no Delta do rio Parnaíba (latitude  $-02^{\circ} 54' 17''$ ; longitude  $-41^{\circ} 46' 36''$  e altitude de 5 metros), localizado na planície litorânea do Piauí, com topografia regular, favorecendo o regime de ventos na região. As estações de coleta de dados foram financiadas pelo CNPq. Os dados compreendem os períodos de maio de 2012 até abril de 2013 (Maracanaú) e agosto de 2012 até julho de 2013 (Parnaíba). Uma vez obtidos os dados no formato NRG, os mesmos foram convertidos e analisados com o objetivo de descrever o comportamento estocástico das séries e identificar padrões e sazonalidades.

## 3. RESULTADOS

A Fig. 1 mostra a radiação global mensal de agosto de 2012 a julho de 2013 para Parnaíba; o valor médio da radiação para o período é de 6 kWh/m<sup>2</sup>.dia. A Fig. 2 mostra a radiação global mensal de maio de 2012 a abril de 2013 para Maracanaú, que teve como valor médio 5,3 kWh/m<sup>2</sup>.dia. Devido à ocorrência de poucas chuvas no segundo semestre em ambas as localidades, os maiores valores de radiação global são encontrados neste semestre.

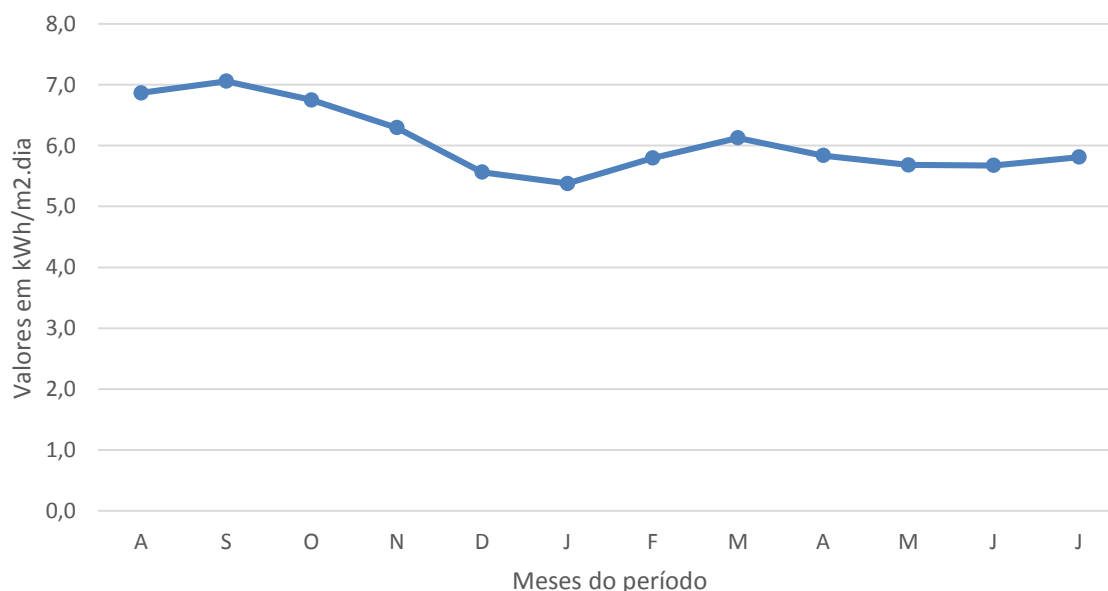


Figura 1 – Radiação global em Parnaíba

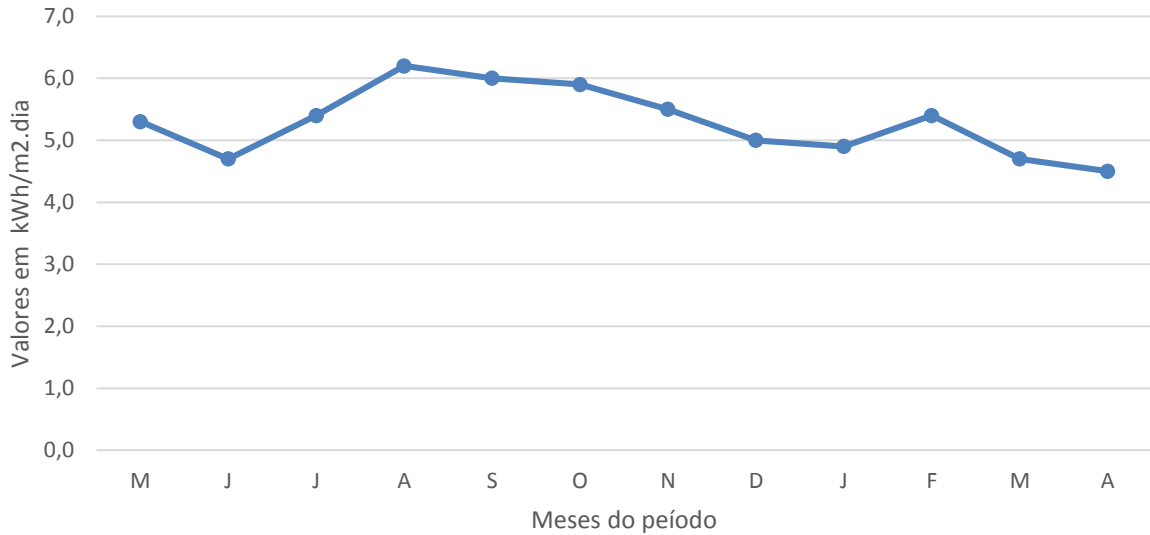


Figura 2 - Radiação global em Maracanaú

### 3.1 Maiores valores médios de radiação global em Parnaíba e Maracanaú

O mês com maiores valores médios de radiação global no período estudado para Parnaíba foi setembro de 2012 (Fig. 3), com uma média diária de 7,1 kWh/m<sup>2</sup>.dia; o pico de radiação foi de 1033 W/m<sup>2</sup> alcançado no dia 3 de setembro, na faixa horária de 11 às 12hs.

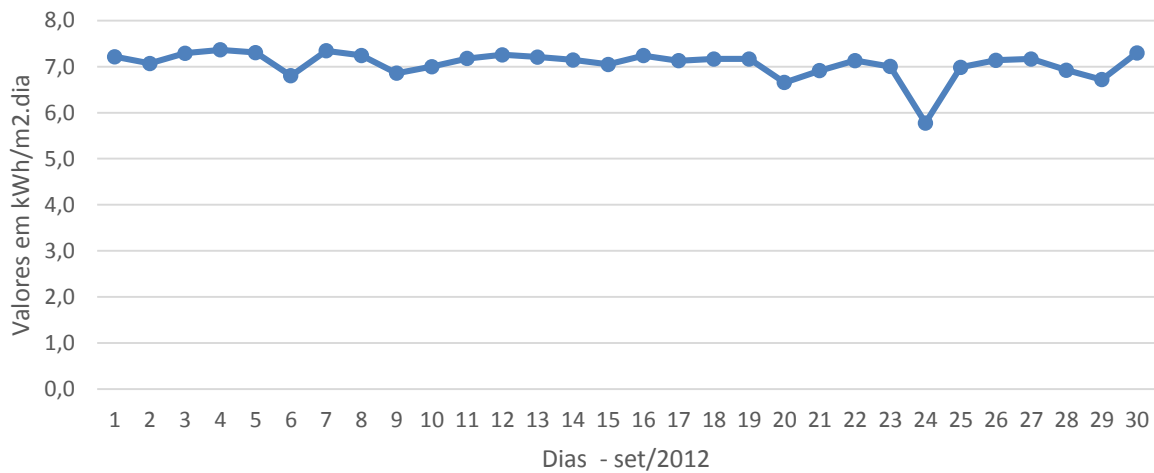


Figura 3 – Radiação solar global – setembro 2012/Parnaíba.

A Fig. 4 apresenta a duração (em minutos) do período contínuo máximo de radiação global > 300 W/m<sup>2</sup> para o mês de setembro de 2012 em Parnaíba; o valor mínimo foi de 500 min (8hs e 20 min).

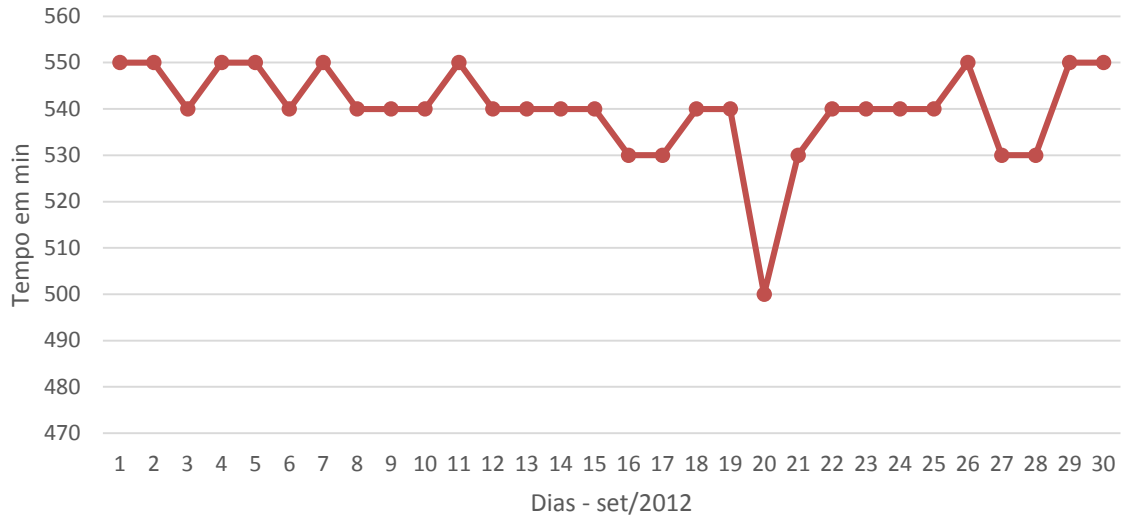


Figura 4 - Período contínuo máximo de radiação global > 300W/m<sup>2</sup> (set-2012 - Parnaíba)

O histograma de setembro para Parnaíba (Fig. 5) mostra que a faixa de radiação com maior tempo acumulado é a de 900 W/m<sup>2</sup>, alcançando o valor de 4300 min (71hs e 40 min) durante todo o mês.

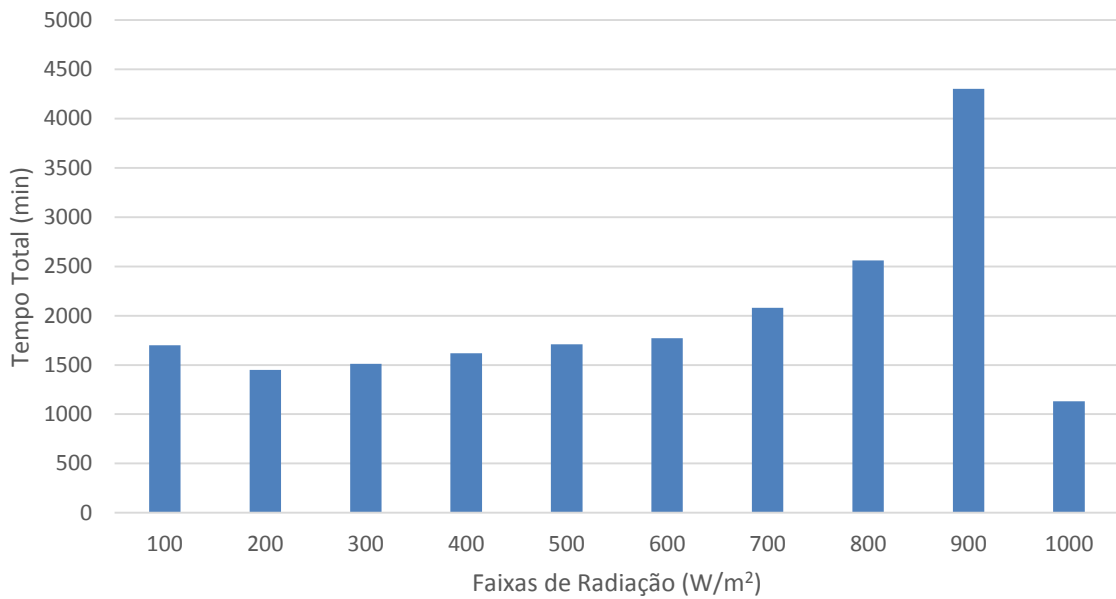


Figura 5 - Histograma de Radiação Solar (set-2012 - Parnaíba)

Em Maracanaú, o mês com maiores valores médios de radiação global foi agosto de 2012 (Fig. 6), com uma média diária de 6,2 kWh/m<sup>2</sup>.dia; o pico de radiação foi de 943,5 W/m<sup>2</sup> ocorrido no dia 22 de agosto, na faixa horária de 11 às 12hs.

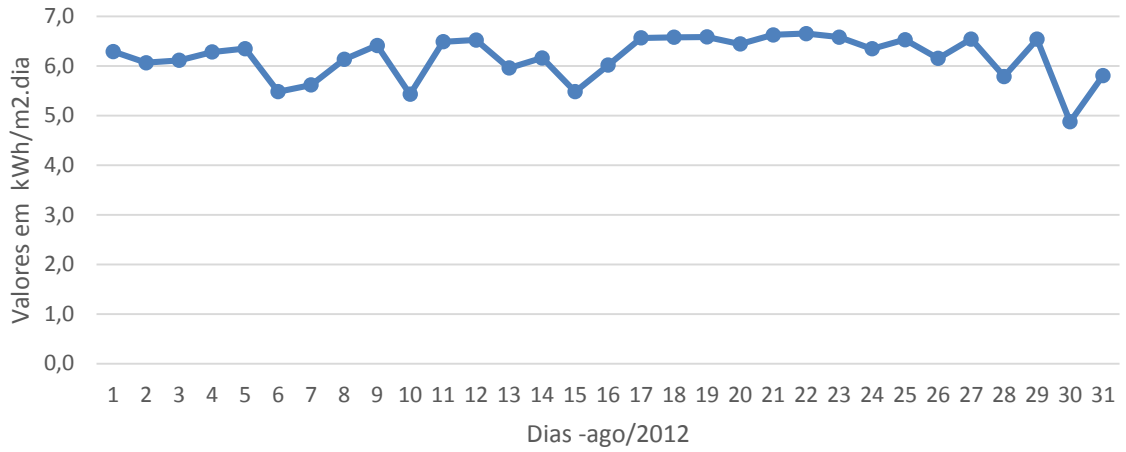


Figura 6 – Radiação solar global – agosto 2012/Maracanaú.

A Fig. 7 apresenta a duração (em minutos) do período contínuo máximo de radiação global  $> 300 \text{ W/m}^2$  para o mês de agosto de 2012 em Maracanaú; o valor mínimo foi de 460 min (7hs e 40min).

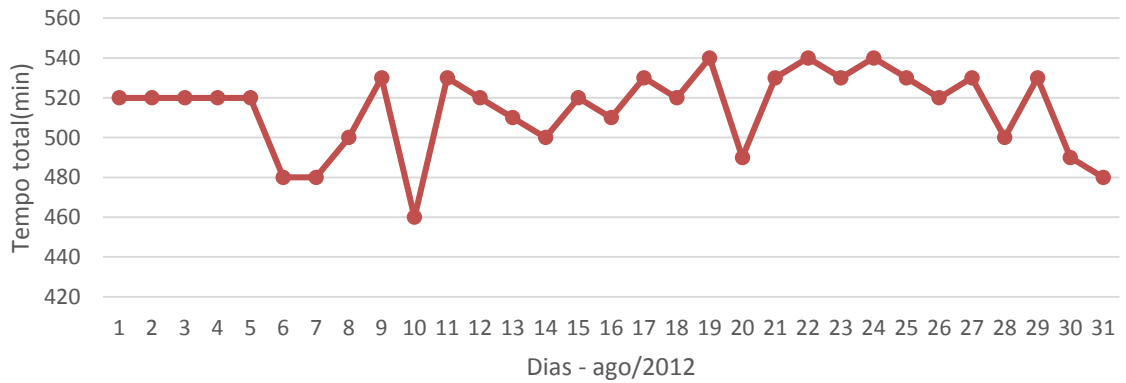


Figura 7 - Período contínuo máximo de radiação global  $> 300 \text{ W/m}^2$  (ago-2012 - Maracanaú)

O histograma de agosto (Maracanaú), apresentado na Fig. 8, mostra que a faixa de radiação com maior tempo acumulado é a de  $800 \text{ W/m}^2$ , alcançando o valor de 3470 min (57hs e 50 min) durante todo o mês.

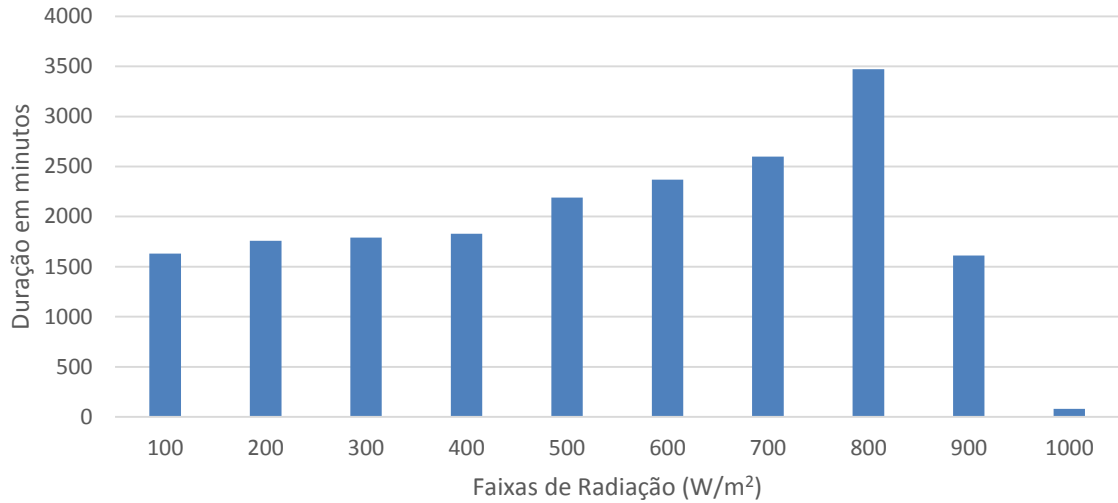


Figura 8 - Histograma de Radiação Solar (ago-2012 - Maracanaú)

### 3.2 Menores valores médios de radiação global em Parnaíba e Maracanaú

O mês com menores valores médios de radiação global no período estudado para Parnaíba foi janeiro de 2013 (Fig. 9), com uma média diária de 5,4 kWh/m².dia.

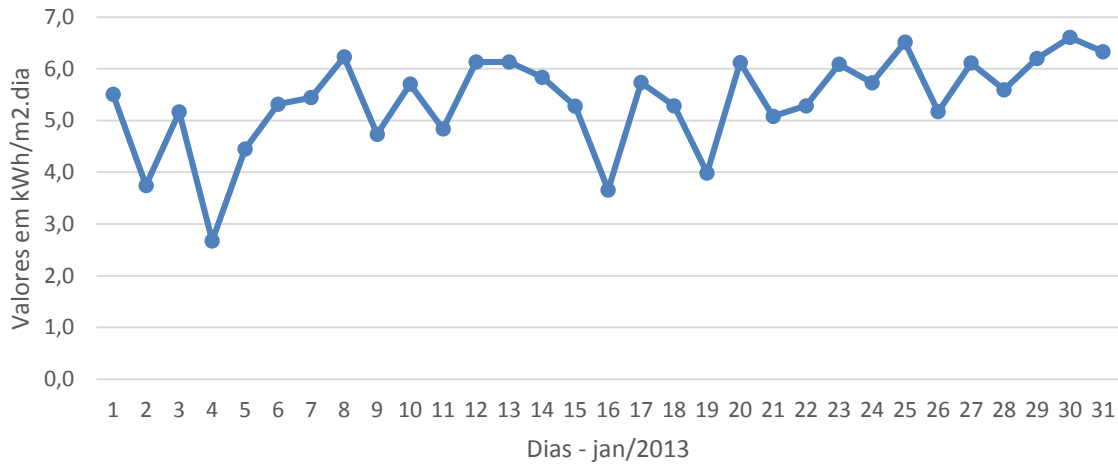


Figura 9 – Radiação solar global – janeiro 2013/Parnaíba.

A Fig. 10 apresenta a duração (em minutos) do período contínuo máximo de radiação global > 300 W/m² para o mês de janeiro de 2013 em Parnaíba; o valor mínimo foi de 200 min (3hs e 20min).

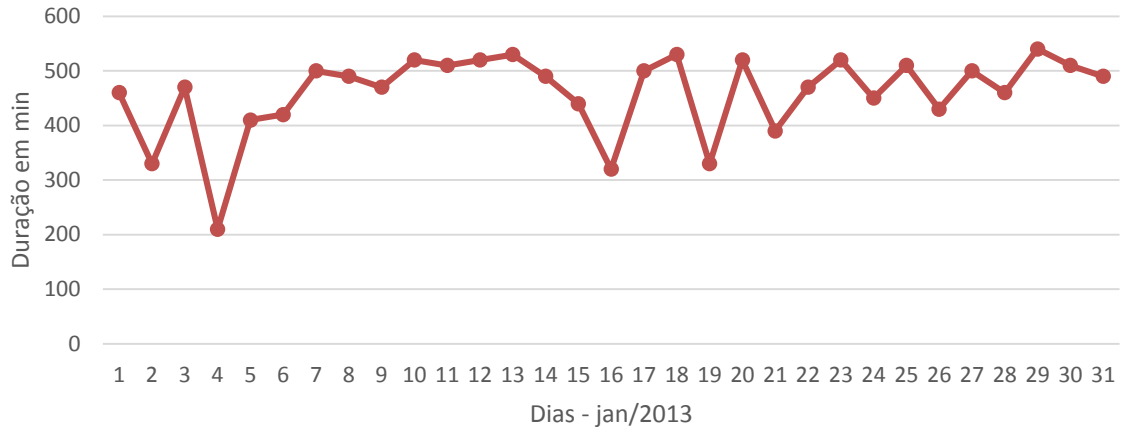


Figura 10 - Período contínuo máximo de radiação global > 300W/m<sup>2</sup> (jan-2013 - Parnaíba)

O histograma de janeiro (Parnaíba), apresentado na Fig. 11, mostra que as faixas de radiação com maior tempo acumulado são a de 100 e de 300 W/m<sup>2</sup>, alcançando o valor de 2400 min (40hs) nas duas faixas durante todo o mês.

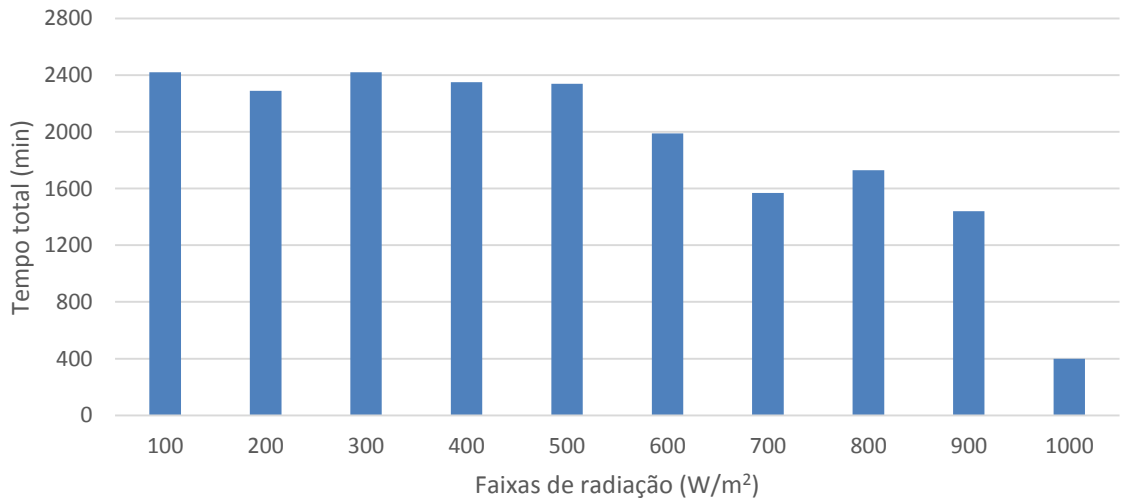


Figura 11 - Histograma de Radiação Solar (jan-2013 - Parnaíba)

O mês com menores valores médios de radiação global no período estudado para Maracanaú foi abril de 2013 (Fig. 12), com uma média diária de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>.dia.

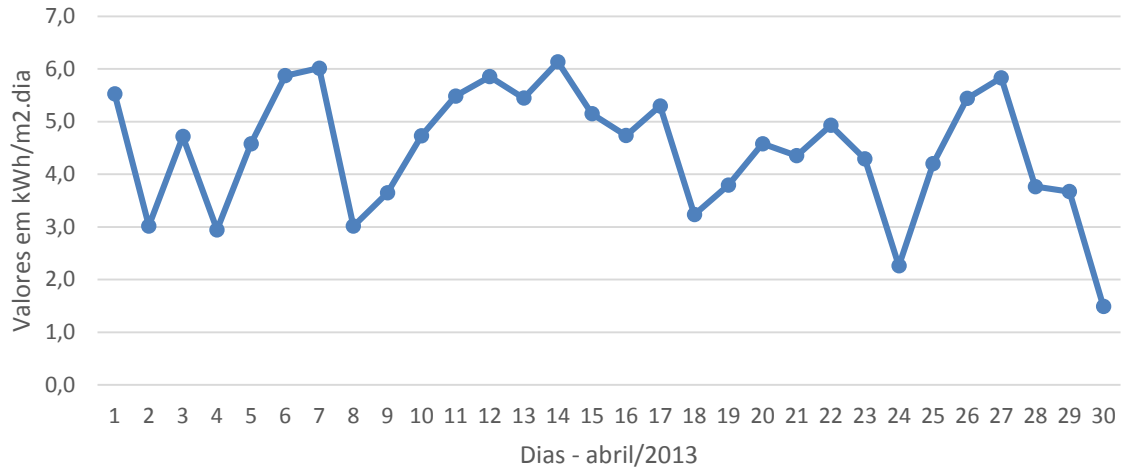


Figura 12 – Radiação solar global – abril 2013/Maracanaú.

A Fig. 13 apresenta a duração (em minutos) do período contínuo máximo de radiação global  $> 300 \text{ W/m}^2$  para o mês de abril de 2013 em Maracanaú; o valor mínimo foi de 60 min (1h), ocorrido no dia 30.

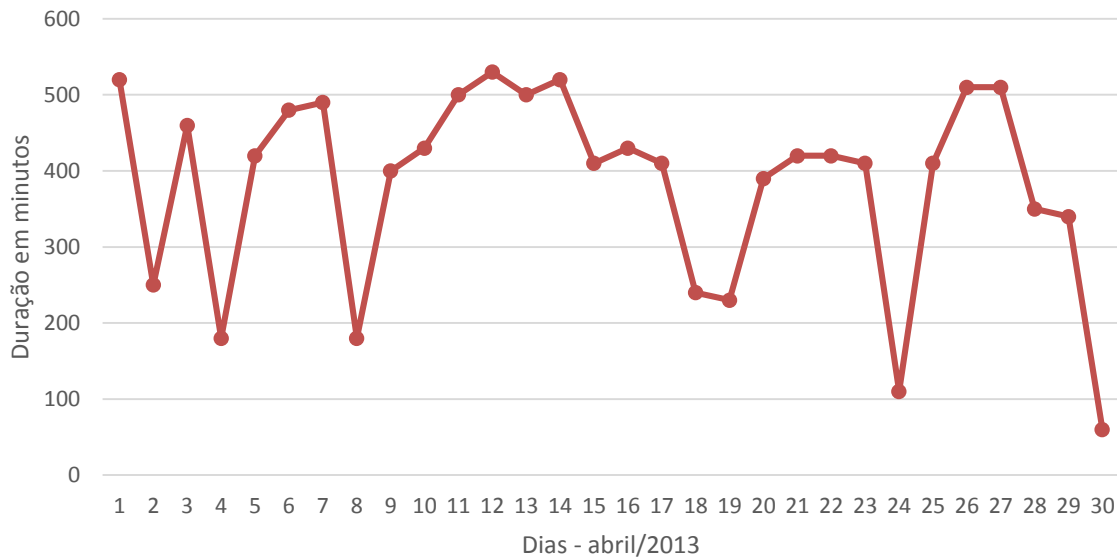


Figura 13 - Período contínuo máximo de radiação global  $> 300 \text{ W/m}^2$  (abril-2013 - Maracanaú)

O histograma de abril (Maracanaú), na Fig. 14, mostra que as faixas de radiação com maior tempo acumulado são a de 100 e de 200  $\text{W/m}^2$ , alcançando o valor de 2870 min (47hs e 50min) nas duas faixas durante todo o mês.



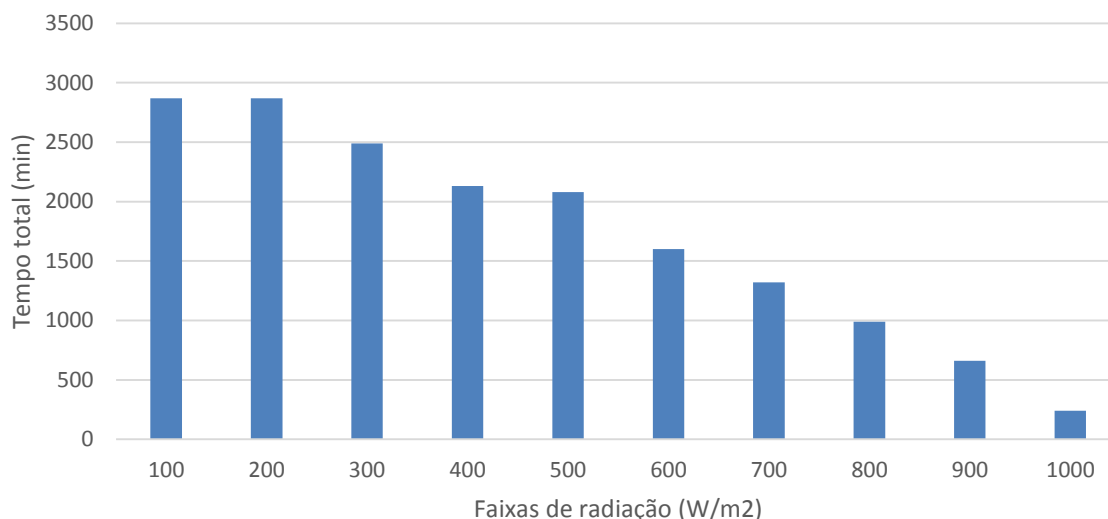


Figura 14 - Histograma de Radiação Solar (abril-2013 - Maracanaú)

A Tab. 1 apresenta os dados referentes às medições mínima, máxima, média, mediana (medidos em kWh/m<sup>2</sup>.dia), desvio padrão e variância, assim como a quantidade de medições feitas nos períodos estudados em Parnaíba e Maracanaú.

Tabela 1 – Dados estatísticos referentes à radiação global em Maracanaú e Parnaíba.

<i>Dados de irradiação global</i>	<i>Maracanaú</i>	<i>Parnaíba</i>
<i>Mínima</i>	1,4 kWh/m <sup>2</sup> .dia	1,2 kWh/m <sup>2</sup> .dia
<i>Máxima</i>	7,3 kWh/m <sup>2</sup> .dia	7,4 kWh/m <sup>2</sup> .dia
<i>Média</i>	5,3 kWh/m <sup>2</sup> .dia	6,1 kWh/m <sup>2</sup> .dia
<i>Mediana</i>	5,5 kWh/m <sup>2</sup> .dia	6,2 kWh/m <sup>2</sup> .dia
<i>Desvio Padrão</i>	1,0 kWh/m <sup>2</sup> .dia	1,0 kWh/m <sup>2</sup> .dia
<i>Variância</i>	1,1 kWh/m <sup>2</sup> .dia	1,0 kWh/m <sup>2</sup> .dia
<i>Número de Medições</i>	345	362

#### 4. CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou séries históricas de medições de radiação global para Parnaíba, PI, e Maracanaú, CE. Os valores encontrados, tais com valor médio da radiação para Parnaíba de 6 kWh/m<sup>2</sup>.dia e valor médio da radiação para Maracanaú de 5,3 kWh/m<sup>2</sup>.dia, estimulam tanto aplicações na área fotovoltaica como na área de sistemas solar térmicos de concentração. Tais sistemas devem ter um crescimento significativo nos próximos anos, a partir da efetivação da resolução 482 da ANEEL.

Os dados de Parnaíba e Maracanaú revelam uma característica complementar em relação ao regime de chuvas da região. Os maiores valores de radiação global são verificados no segundo semestre do ano, período em que praticamente não ocorrem chuvas nas localidades. Tal fato motiva a instalação de plantas fotovoltaicas ou de sistemas solares de concentração para geração de eletricidade, que podem assim gerar de forma complementar à geração a partir de hidroelétricas.

#### *Agradecimentos*

Ao CNPq pelo financiamento do Projeto “Previsão de potencial eólico visando operação integrada ótima de unidades geradoras de eletricidade: estudo de caso para o Nordeste do Brasil”.

## REFERÊNCIAS

- Martins, F. R., Pereira, E. B. Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil; Energy Policy, 39, 2011, 4378 – 4390.
- Borges Neto, M.R., Carvalho, P.C.M., Carioca, J.O.B., Canafístula, F.G.F. Biogas/photovoltaic hybrid power system for decentralized energy supply of rural areas; Energy Policy, 38, 2010, 4497-4506.
- ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Estabelecimento das cotas de custeio e de energia elétrica referente ao Programa de Incentivos às Fontes de Energia Elétrica (PROINFA) para o ano de 2012. Brasília: Nota Técnica 0321/2011 – SER/ANEEL, 9 de dezembro de 2011. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/nerh20111244.pdf>>. Acesso em: julho de 2012.
- Jannuzzi & Melo, 2013. Grid-connected photovoltaic in Brazil: Policies and potential impacts for 2030; Energy for Sustainable Development, 17, 2013, 40–46.
- Bathke, Bathke, R. 2011. Brazil: Dawn of a new era; Sun & Wind Energy, 3/2011, 48 – 52.

### **SOLAR POTENTIAL ASSESSMENT OF THE BRAZILIAN NORTHEAST REGION: CASE STUDY FOR PARNAÍBA (PI) AND MARACANAÚ (CE)**

**Abstract.** Brazil has a large potential in decentralized renewable energies, much of this with no significant use. Among these include the solar radiation. Additionally, solar radiation features a complementarity with respect to hydropower plants. It is therefore vital that statistical surveys are done making it possible to characterize the behavior of solar potential, allowing the development of strategies for the effective use of this energy source. The present article aims to develop a statistical study of data coming from two towers for collecting solar radiation data located one in Parnaíba, Piauí, and in Maracanaú, metropolitan region of Fortaleza - Ce. The study was conducted from August 2012 to July 2013 in Parnaíba and May 2012 to April 2013 in Maracanaú.

**Key words:** Solar Radiation, Statistics