

# ANÁLISE DA IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL SOBRE A CIDADE DE NATAL DURANTE UM PERÍODO CHUVOSO EXTREMO

**Samira de Azevedo Santos** – samira@ctgas.com.br

Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis, Laboratório de Mapas e Dados de Recursos Energéticos

**Magaly de Fátima Correia** – magaly@dca.ufcg.edu.br

Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Ciências Atmosféricas

**Bruno de Lima Soares** – brunosoares@ctgas.com.br

**André Luiz de Oliveira Lira** – brunosoares@ctgas.com.br

Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis, Laboratório de Mapas e Dados de Recursos Energéticos

**Pollyanna Kelly de Oliveira Silva** – polly.kelly@yahoo.com.br

Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Ciências Atmosféricas

**Resumo.** *Este trabalho analisou dados de irradiação global horizontal, insolação, precipitação e imagens de satélite com o objetivo de avaliar a relação entre a variação no padrão de chuva em Natal/RN e a disponibilidade da radiação solar como fonte alternativa na geração de energia. Os resultados evidenciam que o padrão de nebulosidade e chuvas representam um fator determinante na modulação da radiação solar que atravessa a atmosfera e desempenha um papel importante na disponibilidade de energia solar. No entanto, verificou-se que independentemente do período analisado (anômalo chuvoso) a natureza convectiva da precipitação na região, nessa época do ano, com chuvas geralmente concentradas em poucos dias do mês garante condições ambientais privilegiadas de aproveitamento da energia solar.*

**Palavras-chave:** *Energia Solar, Precipitação, Energia Solar Fotovoltaica.*

## 1. INTRODUÇÃO

Praticamente todas as fontes de energia são formas indiretas da energia solar. A radiação solar promove a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a consequente geração de eletricidade. A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar. As reações químicas às quais as matérias orgânicas, a altas temperaturas e pressões, por longos períodos de tempo, também utilizaram o Sol como fonte de energia. É também por causa da energia do Sol que a matéria orgânica, como a cana-de-açúcar, é capaz de se desenvolver, fazer fotossíntese para, posteriormente, ser transformada em combustível nas usinas (Ferreira, 1993).

A energia solar vem se apresentando com uma fonte alternativa de energia viável tanto tecnicamente quanto economicamente (Pereira et al., 2008). A principal desvantagem ainda é o custo elevado, contudo esse custo vem sendo reduzido rapidamente (Martins et al., 2011).

Uma das características da radiação solar é uma elevada variabilidade temporal, essa variabilidade está associada aos padrões meteorológicos atuantes sobre cada localidade. Portanto, conhecer o comportamento climatológico de uma região é de suma importância para o desenvolvimento de projetos que visam a exploração dessa fonte de energia (Santos, et al. 2014). No entanto, um fator essencial para o desenvolvimento de projetos para utilização deste potencial é o conhecimento preciso da disponibilidade desse recurso energético.

A cidade de Natal é caracterizada por apresentar altos índices de insolação e segundo Medeiros (2001), um elevado nível de heterogeneidade temporal e espacial de seu regime pluviométrico, em virtude da ocorrência de anos com excesso de chuvas contrastando com períodos anuais que apresentam grande escassez de precipitações.

Assim, este trabalho visa avaliar a relação entre a variação no padrão de chuva em Natal/RN e a disponibilidade da radiação solar como fonte alternativa na geração de energia, durante o mês de junho de 2011, considerado extremamente chuvoso.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados dois conjuntos de dados, um formado por dados horários de irradiação global horizontal – GHI referente ao mês de junho de 2011. Os dados foram observados na estação solarimétrica com coordenadas (5,84°S, 35,2°W, 58m) pertencente à Rede SONDA situada na Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN. Outro conjunto de dados de superfície utilizado é formado por observações feitas na estação climatológica do INMET com coordenadas (5,91°S, 35,2°W, 48,6m), também situada na UFRN. Foram utilizados os dados diários de insolação e precipitação.

Os sistemas meteorológicos na área em estudo foram acompanhados através das imagens dos satélites meteorológicos METEOSAT e GOES-E disponíveis em intervalos de três horas no canal do infravermelho térmico, na

página eletrônica <http://www.sat.dundee.ac.uk/>, e de imagens realçadas que possibilitam a fácil visualização de áreas de convecção profunda, organizada ou não, disponibilizadas na página eletrônica <http://www.cptec.inpe.br/> pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC.

Para o processamento dos dados de GHI foram realizadas médias horárias e calculados os totais diários e para os dados de precipitação foram elaborados gráficos dos totais diários. Foi utilizado o Excel 2010 para cálculo das médias e elaboração dos gráficos e o Golden Software Surfer 11 para elaboração dos gráficos de GHI.

## 2.1 Área de estudo

A cidade de Natal, região foco deste estudo, está situada no Estado do Rio Grande do Norte localizado no extremo nordeste do Brasil, tendo ao norte e leste o Oceano Atlântico, a oeste o Estado do Ceará e ao sul o Estado da Paraíba. A localização geográfica do estado do Rio Grande do Norte com destaque para a cidade do Natal é apresentada na Fig. 1.

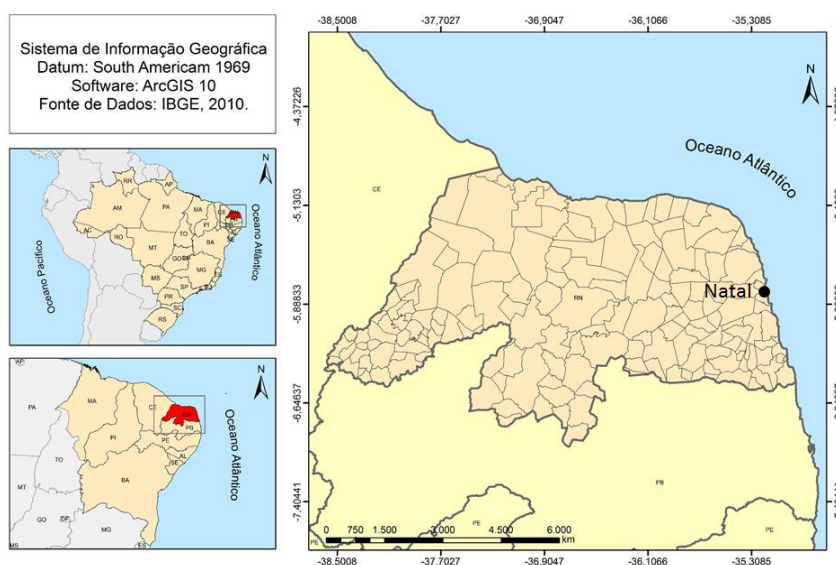


Figura 1- Localização geográfica do Estado do Rio Grande do Norte com destaque para a cidade de Natal.

O clima dominante na cidade de Natal é quente e árido, exceto durante a estação chuvosa, que é considerado quente e úmido. Sua estação chuvosa é o resultado das chamadas ondas de Leste ou Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) e atuam com maior frequência sobre a cidade entre os meses de abril a junho com predominância em junho (Motta, 2004). Os Distúrbios Ondulatórios de Leste são ondas que se deslocam nos ventos alísios para oeste no Atlântico Tropical, sua nebulosidade é caracterizada por nuvens geralmente convectivas. Esses distúrbios são caracterizados como sendo o principal sistema que provoca precipitação no leste do Nordeste do Brasil (Mota, 1997; Coutinho e Fish, 2007). Os DOLs são responsáveis tanto por precipitação extremas como pelo aumento da nebulosidade sobre o leste do Nordeste, e vem sendo alvo de muitos estudos (Yamazaki e Rao, 1977; Chou, 1990; Mota, 1997; Espinoza, 1996; Varejão-Silva, 2005).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mês de junho de 2011 foi marcado pela atuação conjunta de aglomerados convectivos associados aos DOLs. Na maioria dos episódios registrados, a organização convectiva em aglomerados também tem influência de cavados na média e alta troposfera. A atuação conjunta desses fenômenos favoreceu a formação de nuvens estratiformes e ocorrência de chuvas mais persistentes na faixa leste do Nordeste ao longo de todo o mês principalmente entre o Rio Grande do Norte e Sergipe. Na cidade de Natal, o último episódio de DOL no dia 29, favoreceu a ocorrência de chuvas no leste do Rio Grande do Norte, onde os acumulados excederam 70 mm (Boletim Climanalise, 2011).

O acumulado de precipitação registrado durante o mês de junho de 2011, na cidade de Natal, foi de 445,4 mm, quando o esperado para o período é de 313,8 mm. Verifica-se, portanto, que o mês de junho de 2011 é considerado anômalo positivo (chuvoso), ou seja, com chuvas acima da média climatológica. Os valores máximo e mínimo registrados na estação, assim como o valor médio climatológico e o valor registrado no mês de junho de 2011 podem ser observados através do gráfico *boxplot* apresentado na Fig. 2a. Comportamento inverso é verificado para a insolação que durante o mês de junho de 2010 registrou 148,8 horas de brilho do Sol quando o esperado para o período é de 192,7 horas (Fig. 2b), demonstrando com isso uma redução na quantidade de radiação solar que chegou a superfície.

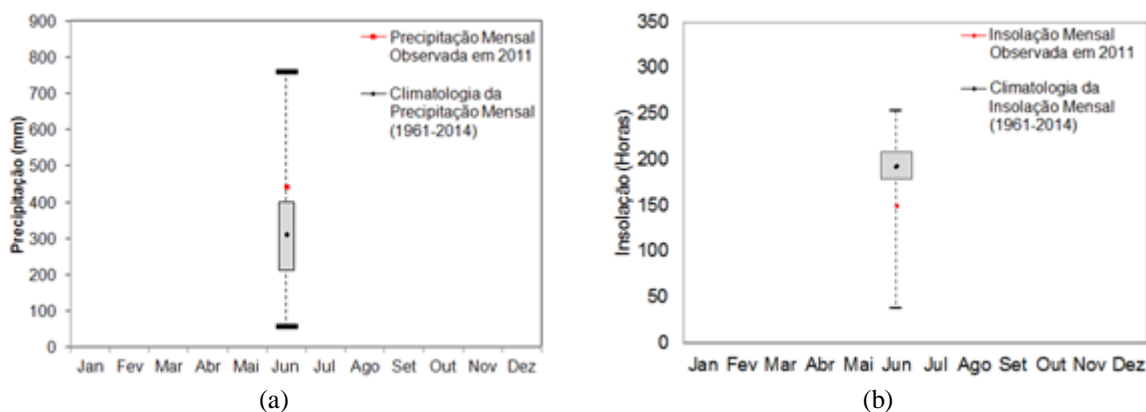


Figura 2 - Boxplot (a) da climatologia de precipitação mensal e (b) da climatologia de insolação mensal para a cidade de Natal-RN referente ao período de 1961 a 2014. O ponto em vermelho representa os valores mensais de precipitação e insolação observados em junho de 2011 (Fonte dos dados: INMET).

Os totais de Irradiação Global Horizontal (GHI) associados aos totais de precipitação ao longo dos dias do mês de junho de 2011, podem ser observados na Fig. 3. Observa-se que a média de GHI foi de 4,305 kWh/m<sup>2</sup>dia e em pelo menos 10 dias foram registrados valores inferiores à média do mês (Fig. 3a). Ao observar os acumulados de precipitação para cada dia do mês de junho de 2011 verifica-se que a precipitação não está diretamente correlacionada aos menores valores de GHI (Fig. 3b), e sim, ao padrão de nebulosidade atuante sobre a cidade de Natal.

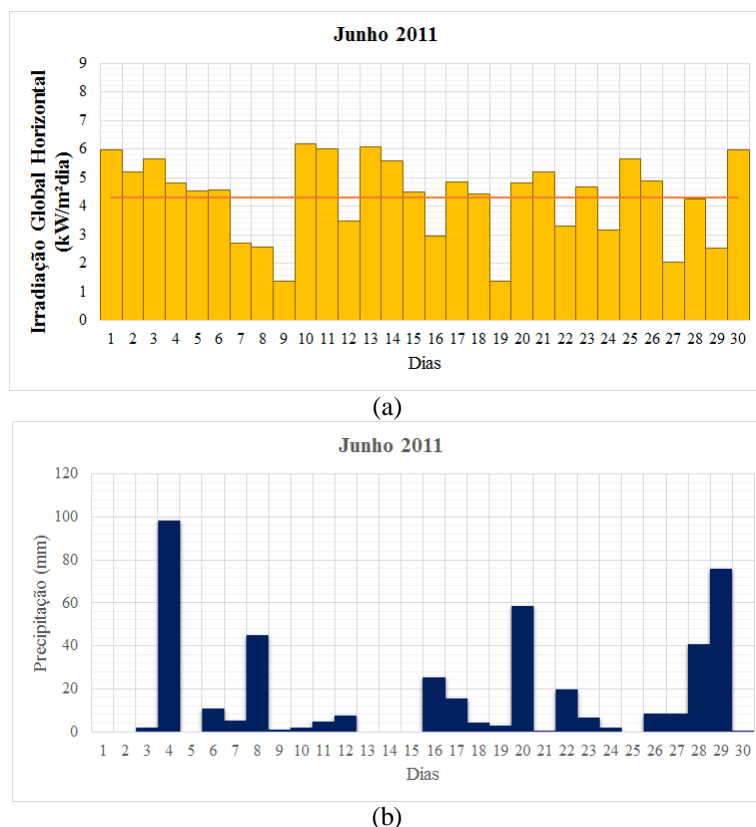


Figura 3 – Irradiação Global Horizontal (a) e totais diários de precipitação (b) observados na cidade de Natal em junho de 2011. A linha laranja indica o valor médio de Irradiação Global Horizontal observado durante o mês de junho de 2011 em Natal. (Fonte dos dados: Rede SONDA e INMET).

A evolução diária e horária da GHI pode ser observada na Fig. 4a e está associada à atividade convectiva intensa. Através das imagens do satélite GOES East 075.0W no canal do infravermelho térmico apresentadas na Fig. 5 identifica-se a presença de convecção profunda na região de Natal nos dias 9 e 29 de junho, ao longo de todo o dia, confirmando com isso a forte redução nos níveis de GHI no período. O mês de junho de 2011 foi marcado pela atuação conjunta de aglomerados convectivos associados aos DOLs. Na maioria dos episódios registrados, a organização convectiva em aglomerados também tem associação com influência de cavados na média e alta troposfera. A atuação conjunta desses fenômenos favoreceu a formação de nuvens estratiformes, e ocorrência de chuvas mais persistentes na faixa leste do Nordeste ao longo de todo o mês principalmente entre o Rio Grande do Norte e Sergipe. Na cidade de

Natal, o último episódio de DOL no dia 29, favoreceu a ocorrência de chuvas no leste do Rio Grande do Norte, onde os acumulados excederam 70 mm (Boletim Climanálise, 2011).

A média horária mensal de GHI ilustrada na Fig. 4b indica que entre os horários das 08:00 às 14:00 existe em média, maior disponibilidade de GHI, suficiente para o aproveitamento de energia solar fotovoltaica.

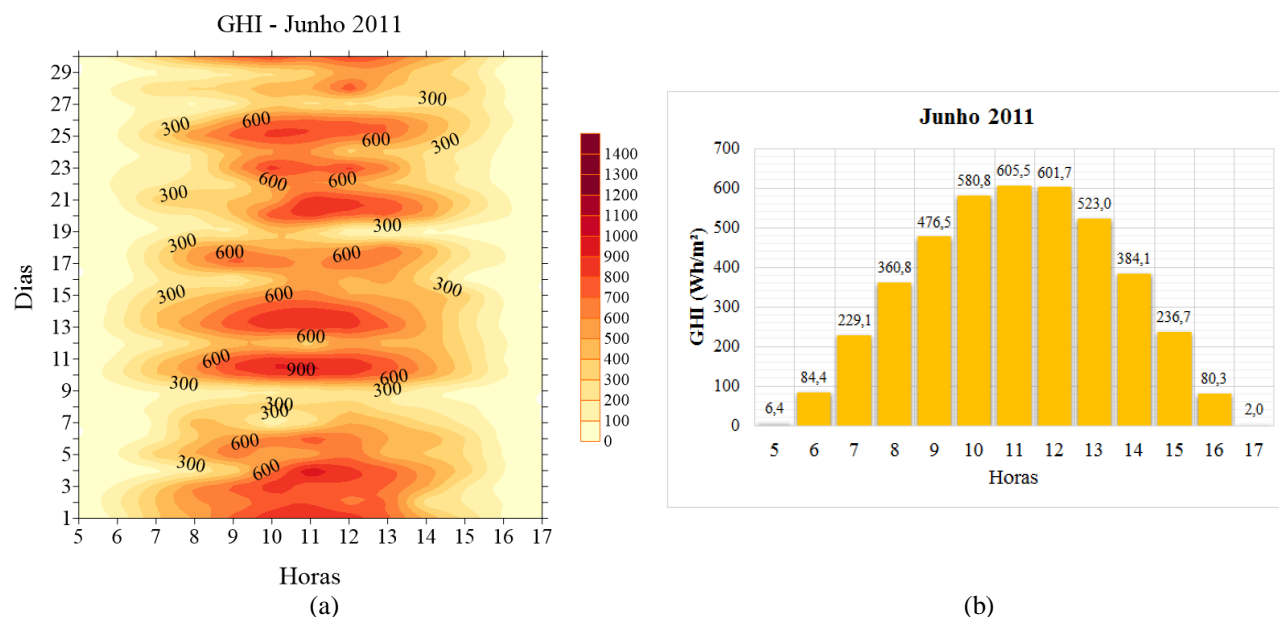


Figura 4 – Irradiação Global Horizontal horária (a) e média horária da Irradiação Global Horizontal (b) em junho de 2011 para a cidade de Natal-RN (Fonte dos dados: Rede SONDA e INMET).

Apesar do mês de junho de 2011, ser considerado bastante chuvoso e mesmo com a redução nos totais de radiação chegando à superfície, a chuva ocorreu em poucos dias. Esse é um comportamento típico de regiões com precipitação de natureza convectiva. Apenas em um dia (04 de junho) registrou-se o maior acumulado de precipitação (98,4mm). Nas imagens de satélite observam-se grandes aglomerados convectivos concentrados no período da manhã. Comportamento inverso é observado no período da tarde (Fig. 6).

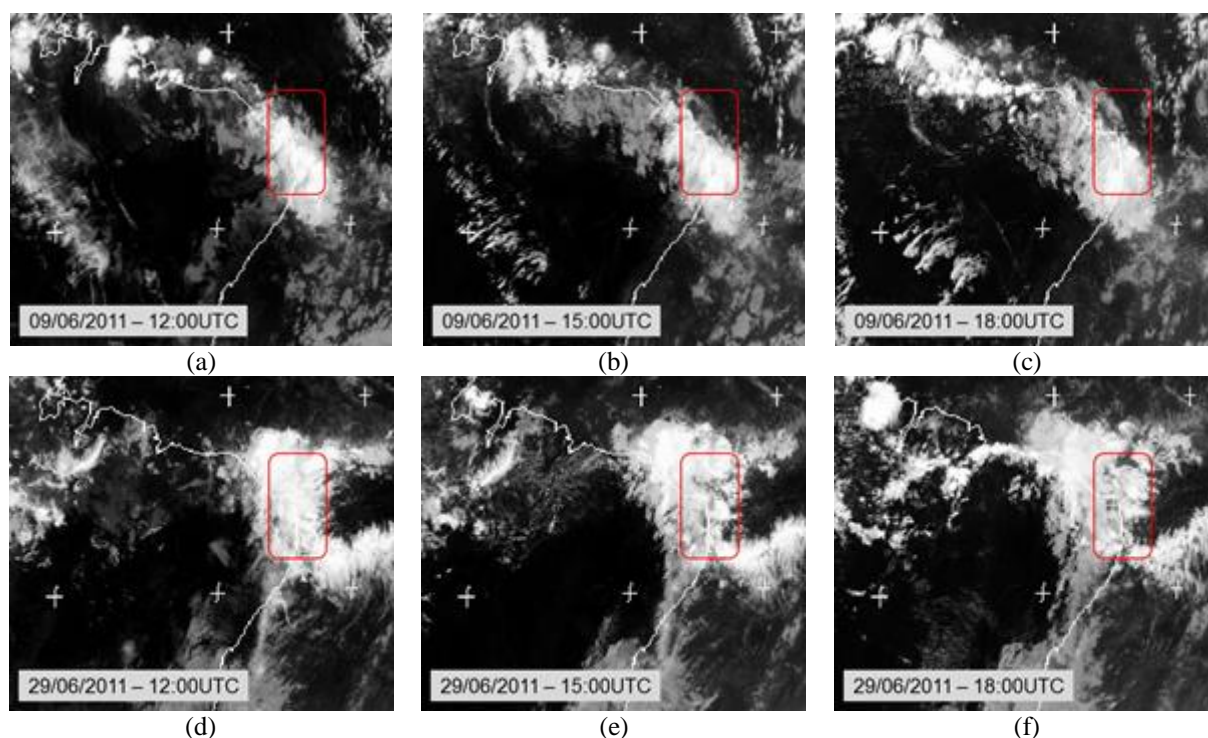


Figura 5- Imagens do satélite meteorológico GOES-E na banda do infravermelho térmico para os dias: 09 de junho de 2011 às (a) 12:00 UTC, (b) 15:00 UTC e (c) 18:00 UTC; dia 29 às (d) 12:00 UTC; (e) 15:00 UTC e (f) 18:00 UTC. O retângulo vermelho está aproximadamente centrado sobre a cidade de Natal-RN. Observe que a hora local (HL) é HL=UTC-3 horas. (Fonte das imagens: Adaptado de <http://www.sat.dundee.ac.uk>).

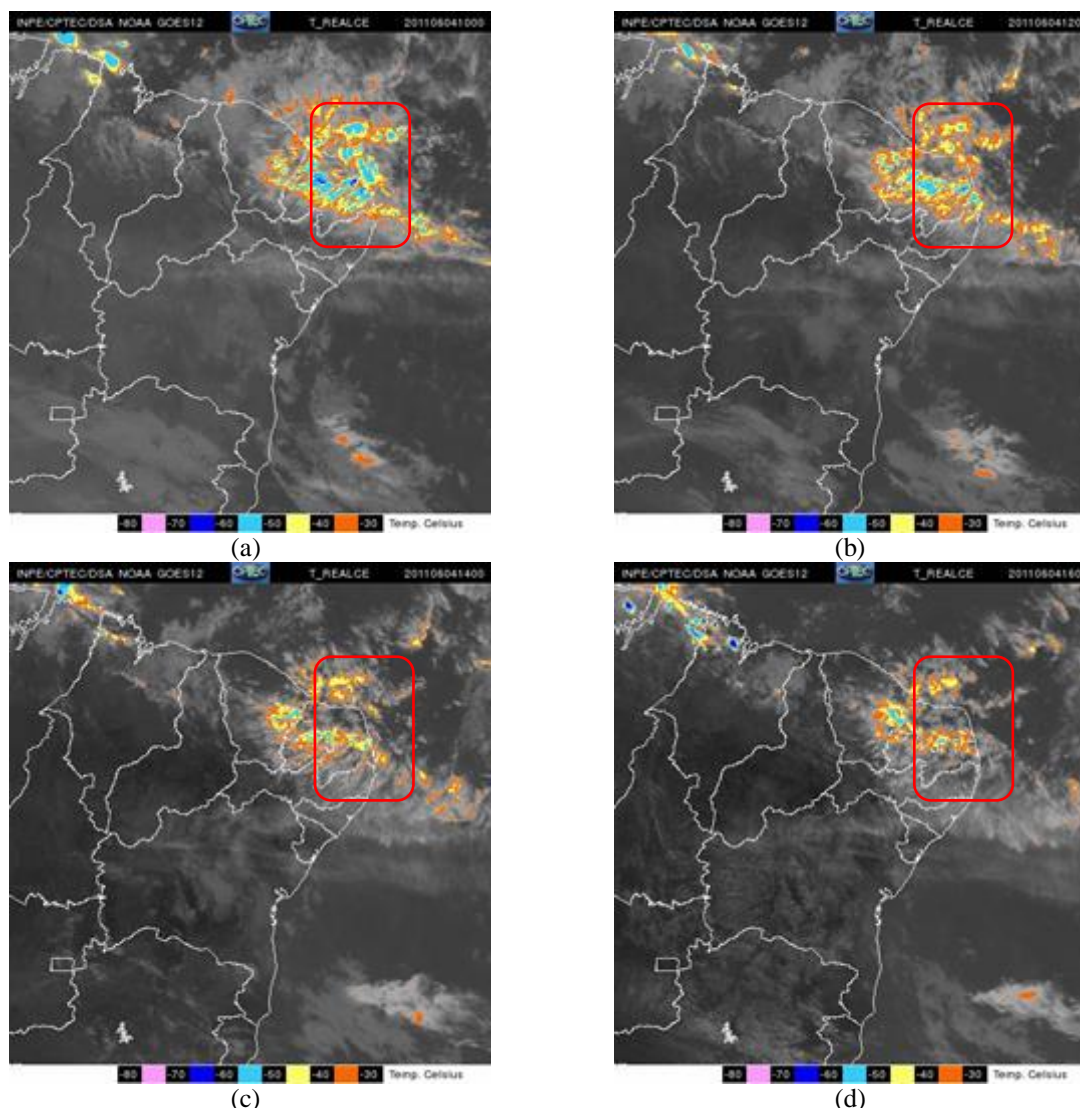


Figura 6 - Imagens do satélite meteorológico GOES-12 na banda do infravermelho térmico realçado para o dia 04 de junho de 2011 às (a) 10:00 UTC, (b) 12:00 UTC, (c) 14:00 UTC e (d) 16:00 UTC. O retângulo vermelho está aproximadamente centrado sobre a cidade de Natal-RN. Observe que a hora local (HL) é HL=UTC-3 horas. (Fonte das imagens: Adaptado de <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>).

#### 4. CONCLUSÃO

Com a execução deste trabalho verificou-se que a precipitação durante o mês em estudo, não está diretamente correlacionada aos menores valores de GHI, e sim, ao padrão de nebulosidade atuante sobre a cidade de Natal. Apesar do mês de junho de 2011, ser considerado bastante chuvoso e mesmo com a redução nos totais de radiação chegando à superfície, a chuva ocorreu em poucos dias e esteve associada à atuação de DOLs. Esse é um comportamento típico de regiões com precipitação de natureza convectiva. Conclui-se também que mesmo em períodos meteorológicos extremos chuvosos a cidade de Natal mostra índices de GHI suficientes (acima de 300Wh/m<sup>2</sup>) para a geração de energia solar através de painéis fotovoltaicos.

#### Agradecimentos

Agradecimento à CAPES, à UFCEG e ao CTGAS-ER pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

ESPINOZA, E. S. Distúrbios Ondulatórios de Leste no Atlântico Tropical. 1996, 149f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

- FERREIRA, M. J. G., Inserção da Energia Fotovoltaica no Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 1993.
- CHOU, S. C. Análise de Distúrbios Ondulatórios de Leste sobre o oceano Atlântico Equatorial Sul. (INPE – 5222 – TDL / 437). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 153p., 1990.
- CLIMANÁLISE, Boletim de Monitoramento e Análise Climática, Volume 26, Número 05. Cachoeira Paulista/SP. INPE/CPTEC, 1986. Publicação Mensal. Junho 2011. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0611.shtml.pdf>>. Acesso em: 22 de agosto de 2015, 14:05:00.
- COUTINHO, E. C.; FISCH, G. Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) na região do Centro de Lançamento de Alcântara – MA. Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n.2, p. 193-203, 2007.
- MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; Estudo comparativo da confiabilidade de estimativas de irradiação solar para o sudeste brasileiro obtidas a partir de dados de satélite e por interpolação/extrapolação de dados de superfície. Rev. Bras. Geof. [online]. 2011, vol. 29, no. 2. ISSN 0102-261X.
- MOTA, G. V. Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no Nordeste brasileiro. Tese (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Instituto Astronômico, Geofísico e de Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, São Paulo, p. 92, 1997.
- MOTTA, A. G.; O Clima de Natal. São José dos Campos, SP: INPE. 2004.
- PEREIRA, E.B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R.; AMARANTE, O.; CHAN, C.S.; LIMA, E. Solar and Wind Energy Brazilian Report. INPE, São José dos Campos, 104 p., 2008.
- SANTOS, S. A.; AMANAJÁS, J. C.; CORREIA, M. F.; ARAGÃO, M. R. S.; SOARES, B. L. Padrões Homogêneos de Insoleção no Rio Grande do Norte: Uma Aplicação da Análise de Agrupamentos. V Congresso Brasileiro de Energia Solar – Recife-PE, 2014.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e climatologia. Versão digital, 2006.
- YAMAZAKI, Y.; RAO, V.B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. Journal of the Meteorological Society of Japan, Tokyo, v.55, p.205-207, 1977.

#### **ANALYSIS OF GLOBAL IRRADIANCE HORIZONTAL OVER NATAL CITY DURING A RAINY PERIOD**

**Abstract.** *This study analyzed data from global horizontal irradiance, solar radiation, precipitation and satellite images in order to evaluate the relationship between the change in rain pattern in Natal / RN and the availability of solar radiation as an alternative source for energy generation. The results show that the pattern of cloudiness and rain is a determining factor in the modulation of solar radiation that passes through the atmosphere and plays an important role availability of solar energy. However, it was found that regardless of the reporting period (rainy anomalous) convective nature of the precipitation in the region, this time of year, with rains generally concentrated in a few days of the month ensures privileged environmental conditions of use of solar energy.*

**Key words:** *Solar Energy, Precipitation, Photovoltaic Solar Energy.*