

# PROSPECÇÃO DO POTENCIAL SOLAR PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELETRICA NA CIDADE DE CARAGUATATUBA LITORAL NORTE PAULISTA

**Dante Bachi Junior**<sup>1</sup> – dantejunior@ninhodofalcao.com.br

**Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho** – Tiago@unifei.edu.br

**Profª. Drª. Maria Rachel Seydell Russo** – rechelrusso99@hotmail.com

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá-MG, Brasil.

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia de Energia.

**RESUMO:** *O estudo das características da radiação solar é o primeiro procedimento para futuros dimensionamentos de sistemas de geração elétrica por meio de, Centrais Solares, especialmente nas zonas costeiras que em determinados períodos do ano, tem a população aumentada demandando maior necessidade de energia elétrica. Neste estudo, a série histórica dos dados analisadas de (2003-2012) disponibilizados pelo sistema SINDA/INPE, tem por objetivo apresentar valores atualizados de radiação solar para a cidade de Caraguatatuba – Litoral Norte Paulista, por meio de equipamento instalado na cidade, Plataforma Automática de Coleta de Dados (PCDs).*

*Como resultado da pesquisa, verifica-se que são praticamente iguais os valores da radiação solar a partir dos dados disponibilizados pelo sistema SINDA/INPE, proprietária da estação meteorológica da cidade de Caraguatatuba, e o informado pelo sistema CRESESB para a cidade. E ainda, quando comparados os valores da radiação solar, pesquisadas a partir dos dados do sistema SINDA/INPE e sistema INMET verifica-se uma pequena diferença facilmente compreendida em razão das diferenças geografias, devido às distancias entres as estações meteorológicas dos dois sistemas. Neste sentido, o trabalho constata que, o valor da radiação solar para a cidade de Caraguatatuba – Litoral Norte Paulista, a partir dos dados disponibilizados pelo sistema SINDA/INPE, é aceitável.*

**PALAVRAS-CHAVE:** *Energia, radiação solar, estações meteorológica.*

## 1. INTRODUÇÃO

Dezenas de métodos de obtenção de eletricidade a partir da energia que vem do sol foram concebidos nos últimos anos e projetos pilotos foram executados em diversas partes do planeta. Dois grandes grupos de tecnologias se destacam no mercado de geração de energia elétrica solar: os painéis fotovoltaicos, que convertem a radiação solar diretamente em energia elétrica através do efeito fotoelétrico; e, a tecnologia concentradora de calor, que substitui a queima de combustível fóssil em uma usina termelétrica pelo calor do sol concentrado através de espelhos. Diversas variantes dessas tecnologias coexistem e estão em fase de pesquisa, e outras estão em fase de produção industrial.

Energia solar é definida como a energia proveniente do sol chegando à superfície da Terra, como ondas eletromagnéticas (fótons), ocorrendo de maneiras: direta, quando atinge diretamente uma região da superfície; refletida, quando refletida pelo solo e ou objetos circundantes à região da superfície atingida; difusa, quando mesmo desviada pelos componentes da atmosfera, atinge uma região da superfície, conforme (Fig. 1).

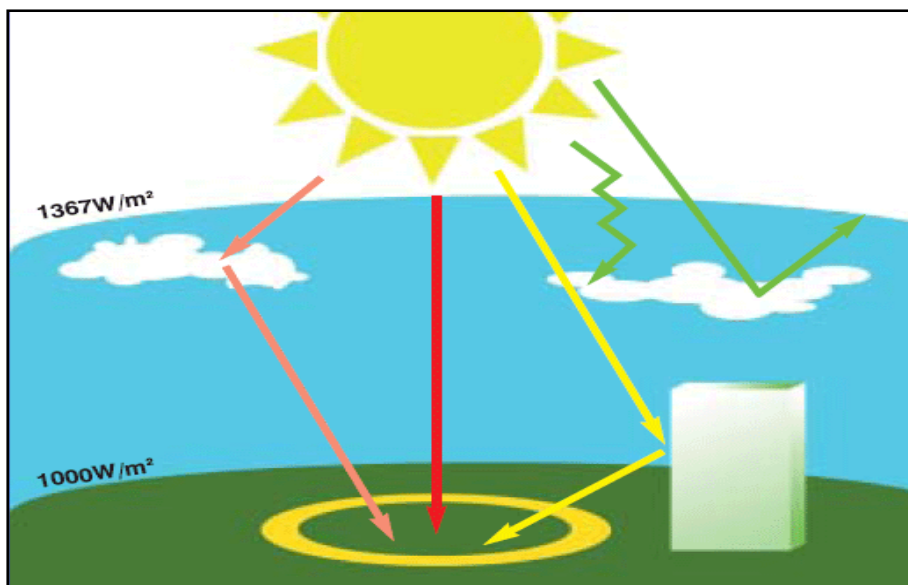


Figura 1: Radiação Solar Global: Direta, Refletida e Difusa.  
Fonte: Portal de Energia Renovável (2013).

A Radiação Solar Difusa divide-se em reflexão, absorção e transmissão, dependendo do estado da atmosfera, seja, umidade do ar, nebulosidade e a distância que os raios solares percorrem atravessando a atmosfera. E, ainda, a energia solar que chega à superfície varia com fatores geográficos da região atingida. No sol, a fusão atômica é responsável pela liberação dessa energia, um gigantesco processo termonuclear que converte cerca de 650 milhões de toneladas de hidrogênio em hélio a cada segundo. Na Terra, a energia solar é a origem do ciclo d'água, do vento e da fotossíntese do reino vegetal, do qual depende o reino animal através das cadeias alimentares.

No que tange a geração de energia elétrica, ao construirmos usinas hidroelétricas e eólicas, estamos utilizando o sol indiretamente como fonte renovável. Ao se utilizar o petróleo e o carvão, também se utiliza o sol, mas de maneira não renovável, já que esses materiais são “fósseis” da vida vegetal e animal do passado. Ao se utilizar a energia nuclear (não renovável), geotérmica ou de marés, utilizam-se outras fontes de energia que não o sol.

A energia solar atinge todos os recantos da Terra e não produz poluição de espécie alguma, uma vez que ela está enquadrada na própria natureza. A intensidade luminosa média dos raios solares incidentes no topo da atmosfera terrestre denomina-se “constante solar”, que no Sistema Internacional possui o valor aproximado de  $1.360 \text{ W/m}^2$  e potência total aproximada de:  $1,73 \times 10^{17} \text{ W}$ , das quais somente 65% não são refletidas (LUIZ, 2013).

Segundo Luiz (2013), apenas 1% da energia solar disponível na Terra, caso fosse a principal fonte energética renovável usada pelo homem, seria mais do que suficiente para manter confortavelmente a vida de uma população até 100 vezes maior do que a população total atualmente existente. O Brasil é o maior e o mais populoso entre os países tropicais, e tem uma disponibilidade média anual de energia solar aproximadamente  $1,04 \times 10^{23} \text{ W}$ .

A Fig. 2 ilustra a energia que chega a um plano horizontal na superfície do planeta, se concentrando mais nas áreas equatoriais, mas sem deixar de irradiar no globo inteiro.

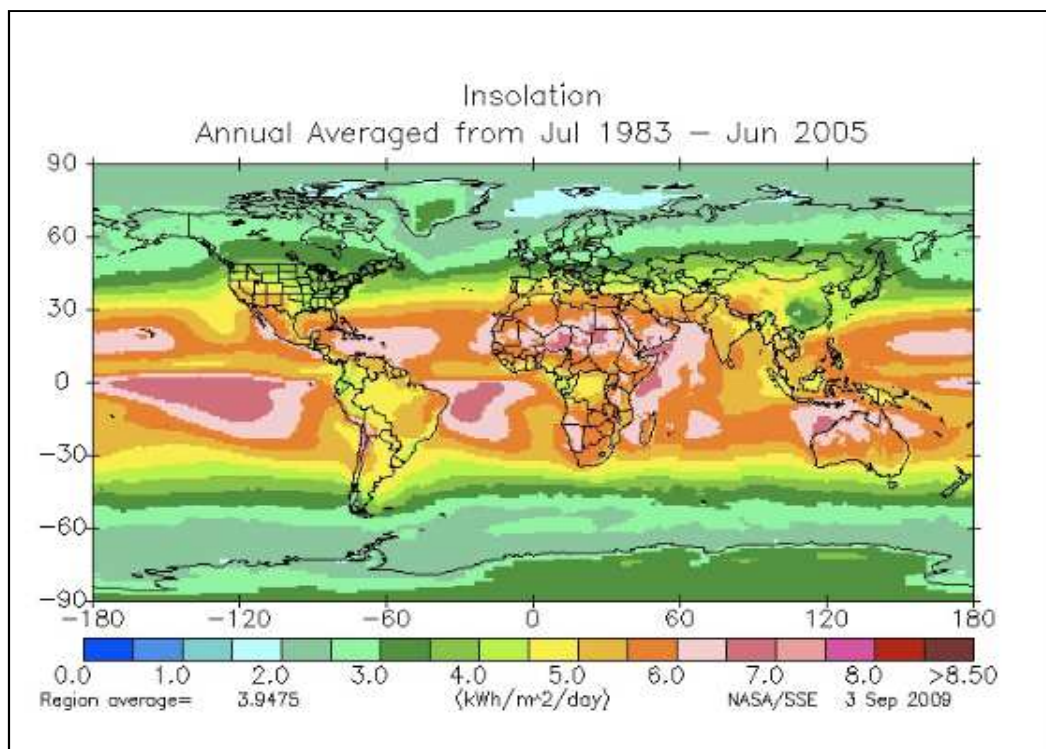


Figura 2: Insolação média anual. Fonte: (NASA, 2009 apud et. al. Dienstmann.G, 2009).

Segundo Cargnelutti Filho(2004), existem diversas funções de distribuições de probabilidade para variáveis aleatórias discretas e contínuas. Entre as que se ajustam a dados amostrais de variáveis aleatórias contínuas pode-se citar: distribuição Weibull e distribuição Normal. Estas tem sido desenvolvidas para benefícios no planejamento de atividades que minimizem riscos.

Testes de aderência, como Kolmogorov – Smirnov (Campos, 1983; Assis et al., 1996; Morettin & Bussab, 2004 apud Cargnelutti, 2004), servem para comparar as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas estimadas pela função de distribuição em teste, verificando se os valores da amostra podem razoavelmente se considerados como provenientes de uma população com aquela distribuição teórica.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo são oriundos de coletas diárias, realizadas de 01 de Janeiro de 2003 a 31 de dezembro de 2012, registrados diariamente de três em três horas pelas Plataformas Automáticas de Coletas de Dados (PCDs) do tipo Meteorológica e disponibilizadas no site do Sistema Integrado de Dados Ambientais e Instituto Nacional Pesquisas Espaciais - SINDA/INPE. Os dados das plataformas retransmitidos pelos satélites e recebidos nas estações de Cuiabá ou de Alcântara são enviados para o Sistema Integrado de Dados Ambientais em Natal/RN para processamento, armazenamento e disseminação para os usuários. O envio desses dados ao usuário é feito através da Internet, em no máximo 30 minutos após a recepção.

A estação situada no município de Caraguatatuba, Litoral Norte Paulista código 32521(Fig. 3), longitude: 45° 42' latitude: 23° 69' e altitude: 3 metros. Foram consideradas todas as medições relativas à radiação solar acumulada diária, abrangendo um período total de dez anos. A proporção de falhas nas séries de dados da radiação solar acumulada, respectivamente, no período de dez anos foi de 3%.

Para manter a confiabilidade dos dados é necessária uma manutenção preventiva e ou corretiva que consistem, respectivamente na limpeza, verificação e retificação dos sensores, das conexões dos cabos e local onde está instalada a PCD. Para tanto, visitas locais são recomendadas para manter o bom

funcionamento das mesmas. E antes da utilização dos dados é realizada uma verificação qualitativa dos mesmos com o objetivo de verificar possíveis falhas nos sensores das PCD. (CUNHA, 2005).

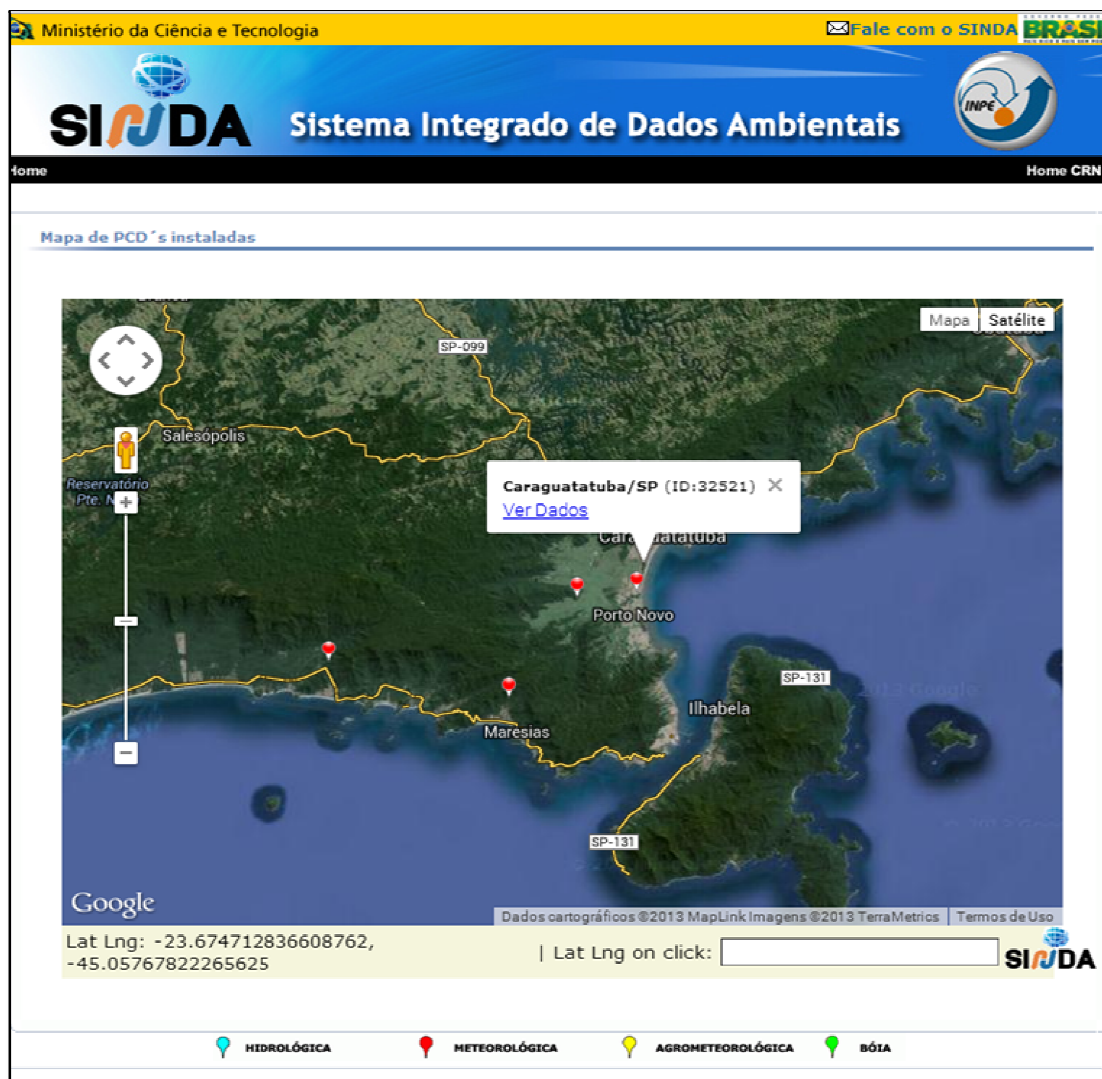


Figura 3. Sistema SINDA/INPE. Fonte: SINDA/INPE, 2013.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Primeira etapa

Uma vez apurado o valor da radiação solar para Caraguatatuba-SP através dos dados disponibilizados pelo sistema SINDA/INPE, este será comparado a outras duas fontes que também disponibilizam valores para a radiação solar no litoral norte paulista, que são: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESESB e Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Sendo que ao fim dos estudos teremos o valor confiável da radiação solar para Caraguatatuba-SP.

Segundo dados do site CRESESB, as médias mensais da radiação solar para o município de Ubatuba-SP, conforme, Fig. 4, variam de 5,00 kWh/m<sup>2</sup>.dia no verão a 2,94 kWh/m<sup>2</sup>.dia no inverno, totalizando uma média de 4,16 kWh/m<sup>2</sup>.dia. Lembrando que este município é utilizado pelo CRESESB como referencia no momento da consulta para disponibilização de dados referentes à radiação solar no Litoral Norte Paulista. Com isso, verifica-se que a radiação solar no plano horizontal atribuída pelo

CRESESB para o município de Caraguatatuba é a mesma do município de Ubatuba-SP. Ou seja, a resposta do CRESESB para a radiação solar média para as coordenadas, Long: 45°42' - Lat: 23°40', cidade de Caraguatatuba, é a mesma da cidade vizinha Ubatuba.

### Radiação Solar Acumulado Ubatuba - SP (Long: 45 07° - Lat: 23 40°)

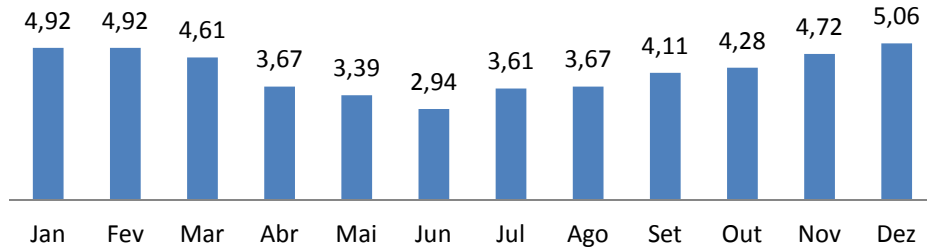


Figura 4: Radiação solar média no plano horizontal [kWh/m².dia]. Fonte: CRESESB (2013).

Segundo dados do INMET (2013), as médias mensais da radiação solar (Fig. 5) e média de hora em hora da radiação solar (Fig. 6) verificadas nas estações meteorológicas: Moela-Guaruja-SP, São Luiz do Paraitinga-SP e Parati-RJ, situadas no máximo a 90 km da cidade de Caraguatatuba, estão entre: 5,602 kWh/m².dia e 5,031 kWh/m².dia, valores coletados nos meses de outubro e novembro de 2013. Novamente é possível verificar a correlação entre os valores CRESESB e INMET, portanto valores possíveis para a cidade de Caraguatatuba.

### Radiação Solar Média Mensal



Figura 5: Radiação solar mensal por estação automática meteorológica (Out. e Nov. 2013 – Litoral Norte Paulista). Fonte: INMET (2013).

### Radiação Solar Acumulada Média/Hora (03/10/2013 a 02/11/2013)

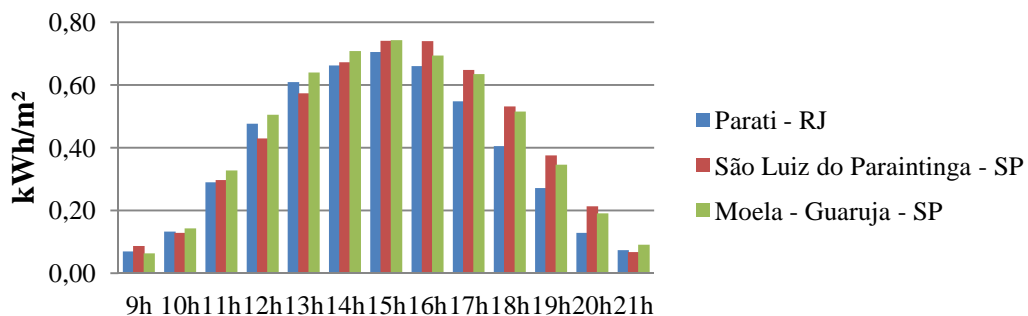


Figura 6: Radiação solar acumulada média por estação automática meteorológica. Fonte: INMET (2013).

Por sua vez, os próximos dados utilizados são do sistema SINDA/INPE, que tem uma estação meteorológica situada no município de Caraguatatuba-SP, Litoral Norte Paulista, código 32521, longitude: 45° 42', latitude: 23° 69' e altitude: 3 metros. Foram consideradas todas as medições relativas à radiação solar acumulada diária, abrangendo um período total de dez anos, de 2003 a 2012, sendo os resultados apresentados na (Tab.1).

Radiação Solar Media Acumulada Mensal entre 2003 e 2012												
Caraguatatuba – Litoral Norte Paulista												
Mês	Media Ano/Mês	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total
Jan	4,66	4,27	4,99	4,30	4,32	5,03	5,00	4,12	4,61	5,30	4,63	46,6
Fev	5,22	3,92	5,23	5,53	3,28	6,35	5,14	5,23	5,93	5,83	5,75	52,2
Mar	4,93	4,37	4,62	4,50	5,29	6,01	4,68	5,22	4,99	4,30	5,32	49,3
Abr	4,26	4,36	4,04	4,20	4,70	4,83	3,72	4,45	3,91	4,34	4,04	42,6
Mai	3,57	3,55	2,95	3,70	3,28	3,55	3,79	3,82	3,88	3,48	3,66	35,7
Jun	3,28	3,19	3,11	3,52	2,98	3,53	3,29	3,37	3,72	3,12	2,96	32,8
Jul	3,18	3,32	3,20	2,91	3,10	3,00	4,16	2,56	3,27	2,99	3,28	31,8
Ago	3,53	3,38	3,72	4,42	2,22	4,01	3,89	3,31	2,94	2,94	4,46	35,3
Set	3,32	3,55	4,37	2,98	1,95	4,27	3,94	0,96	3,02	4,18	3,92	33,2
Out	4,18	4,63	4,01	3,67	3,53	5,03	3,92	4,09	3,26	4,90	4,79	41,8
Nov	4,69	4,74	4,40	4,57	4,85	4,88	4,34	5,27	4,58	4,85	4,41	46,9
Dez	4,91	4,86	5,10	4,88	4,57	5,46	5,26	4,29	4,80	4,78	5,09	49,1
<b>Total</b>	<b>4,14</b>	4,01	4,14	4,10	3,67	4,66	4,26	3,89	4,08	4,25	4,36	<b>497,16</b>

Tabela 1: Radiação Solar Media Acumulada [kWh/m<sup>2</sup>.dia]. Fonte: Própria a partir de (SINDA/INPE,2013).

As (Fig. 7 e 8), demonstram as radiações solares acumuladas mensais (2003-2012) do município de Caraguatatuba, litoral norte paulista. Tendo como acumulação mínima de 31,8 kWh/m<sup>2</sup> nos meses de Julho, e máximo 52,2 kWh/m<sup>2</sup> nos meses de fevereiro. Verificou-se também que a mensal variou de 3,18 – 5,22 kWh/m<sup>2</sup>.dia.

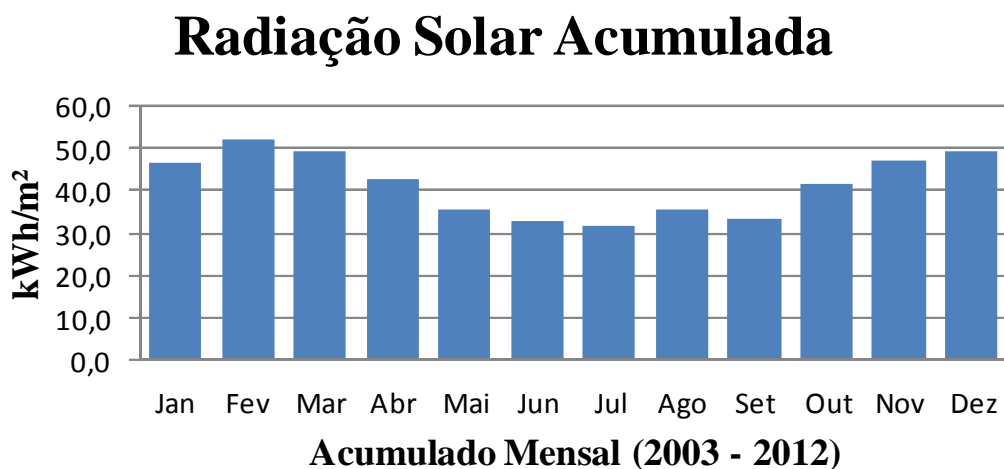


Figura 7: Radiação solar acumulada – Caraguatatuba. Fonte: Própria a partir (SINDA/INPE, 2013).

## Radiação Solar Média Mensal kWh/m<sup>2</sup>

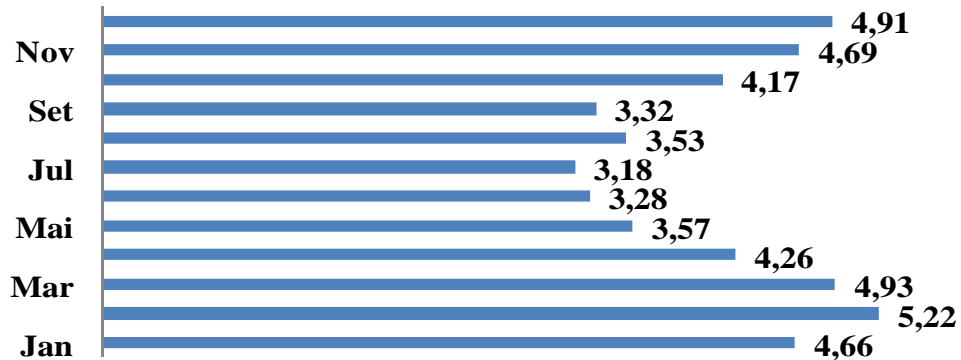


Figura 8: Radiação solar média mensal – Caraguatatuba - SP.  
Fonte: Própria a partir (SINDA/INPE, 2013).

Ao final desta primeira etapa pode-se verificar que os valores disponibilizados pelos três sistemas são compatíveis, o que garante segurança aos dados disponibilizados por estes.

### 3.2 Segunda Etapa

Como segunda etapa será realizado teste de aderência pelo método de Kolmogorov – Smimov (k- s), revelando qual dentre as duas distribuições (Weibull e Normal) é a mais adequada para estimativa da radiação solar no município de Caraguatatuba-SP.

A seguir a (Fig. 9) demonstra, através do histograma a frequência relativa, distribuição de Weibull e distribuição Normal para o período de 2003 a 2012. Os dados de radiação solar utilizados, foram os do sistema (SINDA/INPE), que tem estação meteorológica na cidade de Caraguatatuba-SP. Para a distribuição de Weibull, tem-se como fatores: Forma(k) = 4,0 e Escala(c) = 4,84 e para a distribuição normal a radiação solar média é: 4,15 kWh/m<sup>2</sup>.dia e o desvio padrão é de 0,89.

## Distribuição da radiação média solar acumulada de 2003 a 2012 kWh/m<sup>2</sup>

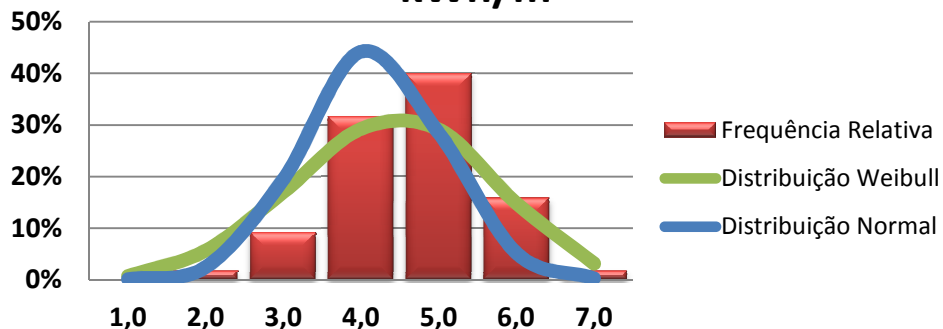


Figura 9: Histograma da frequência relativa, distribuição Weibull e distribuição Normal.  
Fonte: Própria a partir (SINDA/INPE, 2013).

Conforme Costa Neto (2006), a avaliação através do teste de aderência, método de Kolmogorov – Smirnov (k-s), revela qual dentre as duas distribuições (Weibull e Normal) é a mais adequada para projeção das ocorrências. Variável de teste:

$$D = \max F(x) - G(x) \quad [1]$$

Onde:

F(x) = P(X ≤ x): Função Distribuição Acumulada da Distribuição testada.

G(x): Função Distribuição Acumulada da amostra (frequências relativas acumuladas).

O valor da estatística D máximo do teste de aderência de Kolmogorov – Smirnov (Campos, 1983; Assis et al., 1996; Morettin & Bussab, 2004 apud Cargnelutti, 2004), informa a máxima distância entre as probabilidades empíricas e as teóricas obtidas sob a função de distribuição de probabilidade em teste. Ou seja, o critério é pela rejeição da distribuição de probabilidade avaliada, quando o maior valor de (D = max) for maior que o (Valor Crítico) definido pelo método de teste Kolmogorov - Smirnov:

$$\text{Valor Crítico } (\alpha = 5\%) = 1,36/\sqrt{n} \quad [2]$$

Onde:

(n) é o numero de elementos da amostra.

(α = 5%) é o valor de “nível de significância” mais utilizado na literatura científica.

<b>Testes de Aderência / Método de Kolmogorov - Smirnov (k -s)</b>				
<b>Distribuição Weibull</b>				
<b>D = max [F(x) – G(x)]</b>				
x	F(x)	G(x)	Esquerdo	Direito
2,0	0,0117	0,0167	0,012	<b>-0,005</b>
3,0	0,0692	0,1084	0,053	<b>-0,039</b>
4,0	0,2313	0,4251	<b>0,123</b>	<b>-0,194</b>
5,0	0,5217	0,5728	0,097	<b>-0,303</b>
6,0	0,8254	0,8670	0,000	<b>-0,158</b>
7,0	0,9742	0,9853	-0,009	<b>-0,026</b>

Tabela 2: Teste de Aderência para distribuição Weibull. Fonte: Própria.

Resultado da avaliação: A distribuição Weibull pode ser aceita, pois:

D max = 0,123 < Valor Critico = 0,124.

<b>Testes de Aderência / Método de Kolmogorov - Smirnov (k -s)</b>				
<b>Distribuição Normal</b>				
<b>D = max [F(x) – G(x)]</b>				
x	F(x)	G(x)	Esquerdo	Direito
2,0	0,0242	0,0167	0,024	<b>0,008</b>
3,0	0,2187	0,1084	0,202	<b>0,110</b>
4,0	0,6607	0,4251	<b>0,552</b>	<b>0,236</b>
5,0	0,9448	0,5728	0,520	<b>0,120</b>
6,0	0,9964	0,8670	0,171	<b>0,013</b>
7,0	0,9991	0,9853	0,016	<b>0,001</b>

Tabela 3: Teste de Aderência para distribuição Normal. Fonte: Própria.

Resultado da avaliação: A distribuição Normal deve ser rejeitada, pois:

D max = 0,552 > Valor Critico = 0,124.



#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados finais apurados utilizando os dados do sistema SINDA/INPE e os dados disponibilizados no site do CRESESB, mostram valores equivalentes. Ou seja: Radiação Solar apurada no sistema SINDA/INPE: 4,15 kWh/m<sup>2</sup>.dia e Radiação Solar informada no site CRESESB: 4,16 kWh/m<sup>2</sup>.dia.

Alguma diferença ocorreu nos resultados finais da Radiação Solar Média entre os meses de outubro e novembro de 2011 e 2012 do sistema SINDA/INPE, e os meses de outubro e novembro 2013 do sistema INMET, ou seja, o valor médio para a Radiação Solar, entre os meses de outubro e novembro de 2013 no sistema INMET:

5,34 kWh/m<sup>2</sup>.dia e o valor para a Radiação Solar no sistema SINDA/INPE apurado nos meses de outubro e novembro de 2011 e 2012: 4,63 kWh/m<sup>2</sup>.dia. Mas neste caso devemos levar em consideração o fato da distancia entre as estações e a cidade de Caraguatatuba-SP e toda a diferença física e que há entre elas.

Verificou-se também que a metodologia aqui empregada foi adequada para atender aos objetivos iniciais da pesquisa e que poderá ser consolidada em sua expansão e aprofundamento.

Conclui-se que o valor da Radiação Solar de 4,15 kWh/m<sup>2</sup>.dia é aceitável, pois o método empregado neste estudo, ou seja, o de comparar os resultados entre três diferentes Institutos Meteorológicas, foi adequado para aferir-se os resultados. O valor obtido a partir dos dados da estação meteorológica instalada na cidade de Caraguatatuba, foi adotado como referencia, porque a estação coletora dos dados encontra-se instalada na cidade, comparado aos disponibilizados por outras estações meteorológicas instaladas em um raio de 90km. de distancia da cidade de Caraguatatuba confirmaram a confiabilidade do valor referenciado acima.

Os dados de radiação solar médio mensal se ajustam às distribuições de probabilidade Weibull e Normal e apresentam melhor ajuste à função de distribuição de probabilidade Weibull.

#### REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICAS

- [1] CRESESB. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>, Acesso em: 03 dezembro 2013.
- [2] DIENSTMANN, G. Energia Solar – Uma Comparação de Tecnologias. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRG. Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia Elétrica. Porto Alegre, 2009.
- [3] CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; TRINDADE, J. K.. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.
- [3] CUNHA, A .C. Dossiê – Implementação do Centro Estadual de Tempo, Clima e Recursos Hídricos. Macapá- AP. 93 p. 2005.
- [4] LUIZ, A. M.; Energia Solar e Preservação do Meio Ambiente. São Paulo, 2013.
- [5] SINDA/INPE. Disponível em: <http://www.sinda.crn2.inpe.br>. Acesso em: 01 dezembro de 2013.
- [6] INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 07 dezembro de 2013.
- [7] PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS. Disponível em: <http://www.energiasrenovaveis.com>. Acesso em: 09 novembro de 2013.

## **EXPLORATION POTENTIAL FOR SOLAR GENERATION ELECTRICAL ENERGY IN CARAGUATATUBA NORTHERN COAST SAO PAULO**

**Abstract.** *The study of the characteristics of solar radiation is the first procedure for dimensioning the future of electricity generation systems through , Solar Central , especially in coastal areas at certain times of the year , has increased demand more electricity needs population. In this study , the time series of data analyzed (2003-2012) offered by SINDA / INPE system is intended to provide updated values of solar radiation for the city of Caraguatatuba Northern Coast Sao Paulo , using equipment installed in the city , Platform automatic Data Collection ( PCDs ) .*

*As a result of the research, it appears that they are nearly equal values of solar radiation from the data provided by the SINDA / INPE system that owns the city Caraguatatuba weather station , and informed by CRESESB system for the city . And yet, when comparing the values of solar radiation , surveyed from the data INMET Sinda / INPE system and system there is a small difference can be easily understood because of geographic differences , due to distances entres meteorological stations of the two systems . In this sense, this paper finds that the amount of solar radiation for the city of Caraguatatuba Northern Coast Sao Paulo, from the data provided by the SINDA / INPE system is acceptable .*

**Key words:** *Solar radiation, meteorological stations, generation potential.*