

Universidade Brasil  
Campus de São Paulo

CLAUDIA LONGROVA COSTA

POTENCIAL DE GERAÇÃO ELÉTRICA SOLAR  
DO MUNICÍPIO DE CARAGUATATUBA - SP

SOLAR ELETRIC GENERATION POTENCIAL OF  
THE CITY CARAGUATATUBA - SP

São Paulo, SP  
2017

Claudia Longrova Costa

POTENCIAL DE GERAÇÃO ELÉTRICA SOLAR DO  
MUNICÍPIO DE CARAGUATATUBA - SP

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

São Paulo, SP

2017

## FICHA CATALOGRÁFICA

C871p Costa, Claudia Longrova  
Potencial de geração elétrica solar do município de Caraguatatuba – SP / Claudia Longrova Costa. – São Paulo, 2017.

72 f. : il. ; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Luiz Sérgio Vanzela

1. Sustentabilidade. 2. Energia Solar. 3. Fotovoltaica.  
4. Viabilidade. I.Título.

CDD 363.7

**Termo de Autorização****Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respetivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES**

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

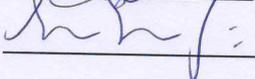
Título do Trabalho: **"POTENCIAL DE GERAÇÃO ELÉTRICA SOLAR DO MUNICÍPIO DE CARAGUATATUBA - SP"**

Autor(es):

Discente: Claudia Longrova Costa

Orientador: Luiz Sérgio Vanzela

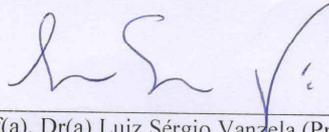
Assinatura: 

Assinatura: 

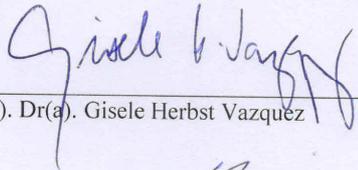
Data: 31/março/2017

**TERMO DE APROVAÇÃO****CLAUDIA LONGROVA COSTA****POTENCIAL DE GERAÇÃO ELÉTRICA SOLAR DO MUNICÍPIO DE  
CARAGUATATUBA - SP.**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:



Prof(a). Dr(a) Luiz Sérgio Vanzela (Presidente)



Prof(a). Dr(a). Gisele Herbst Vazquez



Prof(a). Dr(a). Evandro de Araújo Jardim

São Paulo, 31 de março de 2017.

Presidente da Banca Prof(a). Dr(a). Luiz Sérgio Vanzela

Da primeira letra ao último ponto deste texto  
são dedicados a Ti a quem tudo devo na vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos devem ser dados a todos aqueles que com seu incentivo, ajuda e crítica contribuem para a nossa realização nos momentos mais importantes da vida. Contudo, existem aqueles que merecem ser especialmente lembrados porque fizeram parte de mais esta etapa tão importante da minha vida:

- Meus Pais, Rosangela e Carlos, que são meu orgulho e que me despertaram para realizar esta formação;

- A Prefeitura de Caraguatatuba que colaborou financeiramente e com meios de transporte para a realização do curso;

- Meu noivo, Igor, que compartilhou e me incentivou nos sacrifícios necessários nesta caminhada;

- Todos os colegas de mestrado com quem realizei os trabalhos de equipe;

- Meu Orientador, Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela, que foi o esteio de todo este trabalho.

A todos o meu sincero agradecimento pelo incentivo, ajuda e ensinamentos que me foram transmitidos.

“A natureza usa a energia solar há milhares de anos, e bem usada, só a raça humana ainda não conseguiu usá-la em toda sua potencialidade.”

*Cello Vieira*

# POTENCIAL DE GERAÇÃO ELÉTRICA SOLAR DO MUNICÍPIO DE CARAGUATATUBA - SP

## RESUMO

Considerando que o mundo passa por dificuldades na geração e fornecimento de energia elétrica, é imprescindível iniciar a avaliação de fontes alternativas de energia. Neste contexto, neste trabalho foi avaliado o potencial energético solar do município de Caraguatatuba-SP, por meio da integração entre os levantamentos dos potenciais físico e geográfico. Para isso, foram determinados os potenciais físicos (radiação solar) e geográfico (por técnicas de geoprocessamento), pelos quais determinou-se o potencial fotovoltaico no município. O potencial geográfico, com área mínima contínua para geração de energia elétrica solar, foi de 450.000 m<sup>2</sup>. O potencial físico determinado para o município foi de uma radiação solar média de 4,67 kW m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. A partir dos potenciais físico e geográfico, a estimativa do potencial fotovoltaico para o município é de média anual de 154,176 GWh, sendo suficiente para suprir a demanda atual de consumo residencial do município. Considerando estes resultados, conclui-se que a implantação desse empreendimento, no município de Caraguatatuba – SP, resultaria em benefícios sociais, econômicos e ambientais.

**Palavras-chave:** sustentabilidade, energia solar, fotovoltaica, viabilidade.

# POTENTIAL SOLAR ELECTRIC GENERATION OF THE CITY OF CARAGUATATUBA-SP

## ABSTRACT

Whereas world goes through difficulties in the generation and supply of electric power, it is essential to initiate the assessment of alternative energy sources. In this context, solar energy potential of the city of Caraguatatuba-SP was evaluated in this work through integration between the surveys of geographic and physical potential. For that, the physical (solar radiation) and geographic (by geoprocessing techniques) potentials were determined by which the photovoltaic potential in the municipality was determined. The geographic potential, with a minimum continuous area for solar electric energy generation, was 450,000 m<sup>2</sup>. The physical potential determined for the municipality was of average solar radiation of 4.67 kW m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. From the physical and geographic potential, the estimation of the photovoltaic potential for the municipality is an annual average of 154,176 GWh, being enough to supply the current demand of residential consumption of the municipality. Considering these results, it is concluded that the implementation of this enterprise in the municipality of Caraguatatuba-SP would result in social, economic and environmental benefits.

**Keywords:** sustainability, solar energy, photovoltaic, viability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Irradiação total em plano cuja inclinação é igual à latitude do local. Mapa elaborado pela PSR com dados do projeto SWERA. ....	27
Figura 2: Custo de produção de energia solar (R\$/kWh). Quanto mais fria a cor, menor o custo. ....	27
Figura 3: Indicador de viabilidade para clientes na baixa tensão. ....	28
Figura 4: Irradiação média anual em plano horizontal (kWh/m <sup>2</sup> /dia). ....	28
Figura 5: Histórico da capacidade fotovoltaica global instalada. ....	29
Figura 6: Usina Solar de Kagoshima Nanatsujima com capacidade de 70 MW. ....	30
Figura 7: Usina Solar em Chuckwalla Valley abastece o condado de Riverside, na Califórnia - EUA. ....	31
Figura 8: Usina flutuante de 10 MW em Kerala, Índia. ....	31
Figura 9: Usina Fotovoltaica Nova Olinda em Ribeira do Piauí - PI. ....	36
Figura 10: Usina Fotovoltaica Balbina perto de Manaus - AM. ....	37
Figura 11: Sobreposição do mapa do Plano Diretor na imagem de satélite de Caraguatatuba - SP. ....	42
Figura 12: Gráfico climático de Caraguatatuba. ....	43
Figura 13: Gráfico de temperatura de Caraguatatuba. ....	44
Figura 14: Variação das médias do fotoperíodo (N) máximo diário e radiação solar extraterrestre diária (Ra) para Caraguatatuba - SP. ....	51
Figura 15: Variabilidade da média mensal da radiação solar diária em Caraguatatuba – SP, entre 2000 a 2015, seguida do intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade. ....	52
Figura 16: Variabilidade dos extremos superiores e inferiores do intervalo de confiança com 5% de significância da radiação solar média diária por mês no município de Caraguatatuba – SP, entre 2000 a 2015. ....	52
Figura 17: Variação da potência fotovoltaica média mensal no município de Caraguatatuba – SP, entre 2000 e 2015. ....	54
Figura 18: Variabilidade dos extremos superiores e inferiores do intervalo de confiança com 5% de significância da potência fotovoltaica mensal no município de Caraguatatuba – SP, entre 2000 e 2015. ....	54
Figura 19: Localização das zonas de expansão urbana de Caraguatatuba - SP. ....	55

Figura 20: Áreas de declividade inferior (em azul) e superior (em laranja) à declividade de 3%. .....	56
Figura 21: Detalhe da alocação dos módulos de geração de energia elétrica solar. 57	
Figura 22: Detalhe da área proposta mais favorável à implantação do projeto.....	58
Figura 23: Variação da potência fotovoltaica média mensal, em Caraguatatuba – SP, entre 2000 a 2015, para a área considerada de 450.000 m <sup>2</sup> . .....	58
Figura 24: Variabilidade dos extremos históricos superiores e inferiores do intervalo de confiança com 5% de significância da potência fotovoltaica no município de Caraguatatuba – SP, entre 2000 a 2015, para a área considerada de 450.000 m <sup>2</sup> . .....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplos de Usinas Elétricas Solares Fotovoltaicas.....	30
Tabela 2: Consumo de Energia Elétrica no Brasil – 2014.....	32
Tabela 3: Tabela climática de Caraguatatuba.....	44
Tabela 4: Detalhes do Consumo de Energia Elétrica no município de Caraguatatuba – SP.....	45
Tabela 5: Histórico de Consumo (MWh) no município de Caraguatatuba – SP.....	46
Tabela 6: Consumo por setores.....	46
Tabela 7: Itens de investimento em uma usina solar fotovoltaica.....	60
Tabela 8: Custo do investimento versus potência.....	61
Tabela 9: Custo estimado do investimento.....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### ABREVIATURAS

Af	clima tropical úmido
DC	corrente contínua
GWh	gigawatts-hora
kWh	quilowatts-hora
m	metro
mm	milímetros
MWh	megawatts-hora
R <sub>a</sub>	radiação solar extraterrestre
R <sub>s</sub>	radiação solar incidente
W	watt
°C	graus centígrados (ou Celsius)
°F	graus Fahrenheit

### SIGLAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
AIE	Agência Internacional de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
COP-21	21ª Conferência do Clima
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DSA	Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPP	Empresa Pública - Privada
FADE/UFSC	Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Santa Catarina
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
FPE	Recursos do Fundo de Participação dos Estados
FPM	Fundo de Participação dos Municípios
FRE	Fontes Renováveis de Energia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (EUA)
ONUBR	Organização das Nações Unidas no Brasil
PADIS	Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores
PCA	Plano de Controle Ambiental
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PESM	Parque Estadual da Serra do Mar
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PSR	Power Systems Research Inc. - Consultoria
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SEM	Secretaria de Energia e Mineração
SIN	Sistema Elétrico Interligado Nacional
SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	18
1.1. Relevância do tema e estado atual da arte .....	18
1.2. Fundamentação .....	20
1.2.1. A energia: uma necessidade da humanidade .....	20
1.2.2. Uso de energias limpas e renováveis.....	21
1.2.3. Energia solar .....	22
1.2.4. Vantagens e desvantagens do uso da energia solar.....	24
1.2.5. Potencial energético solar .....	26
1.2.6. Produção mundial e os maiores parques solares fotovoltaicos.....	29
1.2.7. Consumo de energia elétrica no Brasil.....	32
1.2.8. Energia solar fotovoltaica no Brasil: presente e futuro .....	33
1.2.9. Usinas solares fotovoltaicas no Brasil .....	35
1.2.10. Legislação .....	37
1.2.11. Incentivos .....	39
1.3. Objetivo geral e objetivos específicos .....	40
1.3.1. Objetivo geral .....	40
1.3.2. Objetivos específicos.....	40
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
2.1. Localização do município de Caraguatatuba.....	42
2.2. Caracterização do local do estudo .....	42
2.3. Características climáticas.....	42
2.4. Características socioeconômicas .....	45
2.5. Consumo de energia elétrica no município .....	45
2.6. Variáveis avaliadas.....	46
2.6.1. Fotoperíodo e radiação solar extraterrestre .....	46
2.6.2. Potencial de produção de energia elétrica solar fotovoltaica.....	48
2.6.2.1. Potencial físico .....	48
2.6.2.2. Potencial geográfico.....	49
2.6.2.3. Potencial fotovoltaico do município .....	49
2.7. Análises estatísticas.....	50
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51

3.1. Caracterização da Radiação Solar.....	51
3.2. Potencial físico fotovoltaico .....	51
3.3. Potencial geográfico .....	55
3.4. Potencial fotovoltaico do município .....	58
3.5. Cálculo do investimento .....	60
3.5.1. Investimento na usina.....	60
3.5.2. Custo de produção de sistemas fotovoltaicos .....	61
3.5.3. Relação custo/benefício para o município.....	62
3.5.3.1. Custo/benefício ambiental .....	62
3.5.3.2. Custo/benefício econômico .....	63
3.5.4. Benefício financeiro para o consumidor .....	64
4. CONCLUSÕES .....	66
REFERÊNCIAS .....	67

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Relevância do tema e estado atual da arte

A eletricidade foi descoberta no século VI a.C., quando o filósofo grego Thales de Mileto descobriu o poder de atração que o âmbar (élektron em grego), resina fóssil petrificada, exercia sobre objetos leves, ao ser esfregado com pele e lã de animais (REIS, 2016).

Só no século XVIII se intensificam experiências sobre a eletricidade originando as descobertas do condensador e das pilhas sempre trabalhando a corrente elétrica contínua. Na segunda metade do século XIX, é inventado um aparelho que produzia corrente elétrica alternada: o gerador (REIS, 2016).

O gerador passa a ser utilizado como a principal fonte de suprimento de eletricidade com imediata utilização na iluminação pública. A partir desse momento a eletricidade passou a ser indispensável na vida do Homem sendo a principal fonte de energia utilizada.

Em 1882, entra em funcionamento a primeira central elétrica a vapor, instalada em Nova Iorque, nos Estados Unidos (LAMARÃO, 2012). Quatro anos depois, em 1886, a primeira usina hidrelétrica foi construída nas cataratas do Niágara (REIS, 2016).

Com o aperfeiçoamento da transmissão da energia elétrica também a iluminação pública e privada relegou para segundo plano a utilização do querosene, o mesmo se tendo passado com outras utilizações de derivados do petróleo (WALTER, 2010 apud FARIAS; SELLITTO, 2011).

A importância do acesso à energia elétrica no desenvolvimento econômico começou a ser imprescindível no momento em que as indústrias, sobretudo as transformadoras, se tornaram cada vez mais rentáveis por meio do uso de equipamentos mais produtivos, melhor iluminação industrial e maior movimentação de cargas funcionando com aquela energia (LAMARÃO, 2012).

Assim, ao longo da história e em todo o mundo, a demanda energética vem evoluindo, significativamente, atrelado ao crescimento populacional e aos avanços tecnológicos (LAMARÃO, 2012). A solução adotada pela maioria dos países foi a construção de hidrelétricas e termoelétricas que, embora suprimindo satisfatoriamente a

necessidade energética do último século, resultaram em significativos impactos ambientais, como a inundação de vastas áreas de reservas florestais e agrícolas, bem como a emissão de gases de efeito estufa. Sobre este assunto Guerra e Carvalho (1995, p. 84) referem “[...] os impactos provocados pela implantação e operação de usinas hidrelétricas e termoelétricas e as consequências sobre os padrões de qualidade de vida das populações, em razão da grande importância atualmente atribuída, pelas comunidades nacional e internacional [...]”. Sabendo-se, então, que a matriz energética global depende de fontes de energia não renováveis (petróleo, carvão mineral, gás natural, xisto betuminoso e os combustíveis nucleares) mudanças estratégicas na produção energética são imprescindíveis para evitar danos irreversíveis ou de difícil restauração ao ambiente (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

Nas últimas décadas, a humanidade vivenciou as consequências da utilização indiscriminada dos recursos naturais ou dos impactos causados por essa ação. Este fato resultou na necessidade mundial de eliminar ou limitar as atividades prejudiciais ao meio ambiente, buscando a sustentabilidade.

Com necessidade atual de uma produção energética sustentável, a solução é a substituição das fontes de energia não renováveis por renováveis e sua utilização imediata (BERMANN, 2008). Dentre estas fontes de energia, podem-se destacar as energias solar, eólica, das marés, das ondas, térmica dos oceanos, geotérmica, biomassa e dos biocombustíveis. Algumas destas fontes, apesar de renováveis, também causam impactos ao meio ambiente, entretanto, bem inferiores quando comparadas com as fontes não renováveis.

A energia solar fotovoltaica, transformação direta da energia solar em energia elétrica, inicia-se com a descoberta, na primeira metade do século XIX, do processo de transformação energética por uma célula eletrolítica. A primeira célula fotovoltaica foi criada a partir do selênio. Mas somente em 1953 foi desenvolvida a célula fotovoltaica de silício (BRITO; SILVA, 2006) o que permitiu o suprimento de pequenos aparelhos elétricos. Mas o elevado custo das células fotovoltaicas impediu sua utilização em larga escala até 1970, a partir do qual, começou a baixar significativamente, permitindo inserir definitivamente a produção da energia elétrica solar como solução sustentável para domicílios e indústrias. Segundo Vallêra e Brito (2006), a maturidade do uso da energia solar foi nas décadas de oitenta e noventa, marcadas por um maior investimento em programas de financiamento e de demonstração, motivados sobretudo pela consciência crescente da ameaça das

alterações climáticas devido à queima de combustíveis fósseis.

## **1.2. Fundamentação**

### **1.2.1. A energia: uma necessidade da humanidade**

A humanidade desde sempre teve consciência de que a sua existência só era possível com o trabalho de homens e animais.

Por milhares de anos a humanidade sobreviveu com base no trabalho braçal e animal. As primeiras fontes de energia inanimadas, como rodas hidráulicas e moinhos de vento, significaram um importante incremento quantitativo do regime de trabalho – ou potência – mas o salto qualitativo só se produziu a partir dos séculos XVII e XVIII (FERNANDES; GUARONGHI, 2012, p. 1).

Essa transformação da produção artesanal para industrial por meio da mecanização dos processos produtivos, iniciada na Inglaterra, foi chamada de Revolução Industrial e foi baseada na utilização de máquinas com a consequente necessidade de energia para o seu funcionamento.

A Revolução Industrial foi um fenômeno de transição para inéditos processos de manufatura no período que se estendeu da segunda metade do século XVIII até quase o fim da segunda metade do século subsequente. Esta transformação incluiu a substituição de métodos de produção artesanais para a produção por máquinas, a fabricação de novos produtos químicos, novos processos de produção de ferro, maior eficiência na utilização da energia hídrica, o uso crescente da energia a vapor e o desenvolvimento das máquinas-ferramentas, além da substituição da madeira e de outros biocombustíveis pelo carvão. (DANEMBERG apud FRIEDE, 2015, p. 815).

Foi o início do uso do carvão como combustível para obter o vapor em caldeiras aquecidas, ou seja, a transformação da energia térmica em mecânica: o motor a vapor.

A transformação do movimento alternado e linear do êmbolo da máquina em movimento giratório permitiu a criação de uma fonte universal de energia que passou a acionar navios, locomotivas, serrarias, cerâmicas, drenagens e outros tipos de atividades (FARIAS; SELLITTO, 2011, p. 9).

“Até 1961, o carvão era a principal fonte primária de energia no mundo, quando foi ultrapassado pelo petróleo” (FARIAS; SELLITTO, 2011, p. 10).

Após a descoberta do petróleo e o seu refino, surgem novos produtos combustíveis que originam um novo tipo de motor com maior potência: o motor a explosão.

O petróleo e seus derivados se tornaram, ao longo do século XX, não só a principal fonte primária da matriz energética mundial, mas também insumo para praticamente todos os setores industriais. Partindo do histórico desse recurso natural, nota-se a partir de meados do século XIX, o petróleo começando a ser aplicado em maior escala na substituição do óleo de baleia para a iluminação, na substituição do carvão mineral e na produção de vapor. Entretanto, sua utilização aumentou significativamente após a chamada II Revolução Industrial, em 1930, com o surgimento do motor a explosão (ALMEIDA, 2012, p. 14).

Em simultâneo com o petróleo surge outra fonte de energia: a eletricidade. Ambas as fontes dão origem à II Revolução Industrial e são o grande fator de desenvolvimento verificado mundialmente, sendo que a eletricidade entrou na vida da Humanidade definitivamente.

A primeira aplicação da eletricidade se deu no campo das comunicações, com o telégrafo e o telefone elétricos. [...] proporcionaram a transmissão a grandes distâncias e o uso doméstico da energia elétrica. Sua facilidade de transporte e de conversão direta, em qualquer outro tipo de energia, conferiram a energia elétrica o posto de principal insumo da presente era. Sua importância pode ser comprovada pelo fato dos países mais industrializados duplicarem seu consumo de energia elétrica a cada dez anos. Atualmente, a produção de eletricidade é responsável por aproximadamente um terço do consumo de energia primária mundial (WALTER, 2010 apud FARIAS; SELLITTO, 2011, p. 10).

No século XX, a utilização de outra fonte de energia não renovável foi necessária para suprir o consumo energético: a energia nuclear.

O rápido crescimento dos investimentos na construção dessas usinas em todo o mundo na década de 70 foi abalado pelos acidentes de Three Mile Island e Chernobyl. Desde então, novos investimentos foram praticamente paralisados pelos países e essa forma de aproveitamento energético tem sido alvo de oposição dos ambientalistas (ANEEL, 2009, p. 3).

Tal oposição também se verifica quanto à utilização de combustíveis poluentes que provocam o aquecimento global e suas consequências e, também, os desastres ambientais causados pelos mesmos, associados à sua exploração e transporte.

Assim, surgem manifestações e organizações, em todo o mundo, que pressionam as lideranças políticas a determinarem a limitação progressiva e o fim do uso de combustíveis fósseis ou poluentes.

### **1.2.2. Uso de energias limpas e renováveis**

No final de 2015, realizou-se em Paris, França, a 21ª Conferência das Partes (COP-

21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, em que os países presentes foram signatários de um acordo climático para diminuir o aquecimento global com a diminuição de emissão de gases poluentes (ONUBR, 2015).

Por esse fato, daquele ano em diante, observou-se um interesse maior pelo uso de energias limpas e renováveis, que não causam desastres ambientais.

Segundo Didonê et al. (2009): “Energia limpa é aquela que não libera (ou libera poucos) gases ou resíduos que contribuem para o aquecimento global, em sua produção ou consumo.”

Existem energias limpas que, no entanto, não são renováveis porque os recursos naturais utilizados não são capazes de se regenerar, ou seja, são considerados esgotáveis: caso da energia nuclear (ANEEL, 2009).

As FRE (Fontes Renováveis de Energia) são recursos naturais não poluentes e inesgotáveis, ou seja, formas limpas de produzir energia, capazes de amenizar a problemática ambiental ao mesmo tempo em que ampliam o setor energético e abastecem a população com energia de qualidade (PESSOA, 2011, p. 16).

Exemplos de energias limpas e renováveis: Solar (energia gerada a partir dos raios solares); Eólica (energia gerada pela força dos ventos); Ondomotriz e Maremotriz (produzida pela força das ondas e marés dos oceanos); Geotérmica (energia obtida a partir do calor proveniente do interior da Terra); Hidráulica (obtida a partir dos rios e quedas d’água); Biogás/Biocombustível (produzidos a partir da mistura gasosa de dióxido de carbono com gás metano); Biocombustíveis (Etanol, Biogás, Bioetanol, Bioéter, Biodiesel, e outros) (VICHI; MANSOR, 2009).

### **1.2.3. Energia solar**

Desde cedo se aprende que a vida terrestre depende do sol, a estrela mais próxima da Terra, conhecida por astro-rei por ser o corpo principal do sistema solar

O Sol, além de fonte de vida, é a origem de toda as formas de energia que o homem vem utilizando durante sua história e pode ser a resposta para a questão do abastecimento energético no futuro, uma vez que aprendamos a aproveitar de maneira racional a luz que esta estrela constantemente derrama sobre nosso planeta. [...] Frente a esta realidade, seria irracional não buscar, por todos os meios tecnicamente possíveis, aproveitar esta fonte de energia limpa, inesgotável e gratuita (FERNANDES; GUARONGHI, 2012, p. 2).

A energia do sol chega à Terra nas formas de luz e calor que desde sempre

fez a humanidade entender essa dependência e também tirar vantagens.

No caso da conversão térmica, a primeira forma difundida no mundo após a primeira crise do petróleo, em 1973, consistiu no seguinte processo:

A radiação solar pode ser absorvida por coletores solares, principalmente para aquecimento de água, a temperaturas relativamente baixas (inferiores a 100°C). O uso dessa tecnologia ocorre predominantemente no setor residencial, mas há demanda significativa e aplicações em outros setores, como edifícios públicos e comerciais, hospitais, restaurantes, hotéis e similares. Esse sistema de aproveitamento térmico da energia solar, também denominado aquecimento solar ativo, envolve o uso de um coletor solar discreto (ANEEL, 2002, p. 10).

Simultaneamente com este processo para temperaturas inferiores a 100°C foi desenvolvido um outro para temperaturas entre 200°C e 3.500°C.

O aproveitamento da energia solar aplicado a sistemas que requerem temperaturas mais elevadas ocorre por meio de concentradores solares, cuja finalidade é captar a energia solar incidente numa área relativamente grande e concentrá-la numa área muito menor, de modo que a temperatura desta última aumente substancialmente (ANEEL, 2002, p. 10).

Este tipo de conversão possibilita o uso do vapor de água para movimentar a turbina a vapor que irá produzir a energia elétrica, ou seja, a energia cinética do vapor transforma a energia mecânica em energia elétrica ou conversão termoelétrica.

Nas palavras de Fernandes e Guaronghi (2012, p. 3): “A conversão direta da energia solar em energia elétrica pode ocorrer através de dois processos: conversão termoelétrica e conversão fotoelétrica, cada um deles podendo ser realizado de diversas maneiras”.

A conversão direta da luz solar em eletricidade é chamada de Efeito Fotovoltaico.

Esta última é possível graças à descoberta, em 1839, do seguinte fenômeno: dois eletrodos de prata num eletrólito ao serem expostos à luz produziram corrente elétrica.

Em 1877, W. G. Adams e R. E. Day construíram a primeira célula solar baseada em dois eléctrodos de selénio que produziam uma corrente eléctrica quando expostos à radiação, mas a eficiência destes sistemas era tão reduzida que o desenvolvimento de células solares realmente interessantes teve que esperar por uma compreensão mais completa dos materiais semicondutores. Só em 1954, D. M. Chapin e colaboradores, do Bell Laboratory, nos E U A, publicaram o primeiro artigo sobre células solares em silício (BRITO; SILVA, 2006, p. 1).

É esse tipo de célula que integra os atuais painéis solares fotovoltaicos comercializados mundialmente.

As células fotovoltaicas são constituídas por um material semicondutor – o silício<sup>1</sup> – ao qual são adicionadas substâncias, ditas dopantes, de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico, isto é, conversão direta da potência associada à radiação solar em potência eléctrica DC (CASTRO, 2002, p. 1).

Quando a luz solar atinge as células fotovoltaicas, muitos dos fótons são refletidos, ou passam através da célula, outros são absorvidos pela célula. Quando a camada negativa da célula tiver absorvido fótons suficientes, os elétrons são libertados dessa camada. Migrando assim para a camada semicondutora positiva, criando uma diferença de potencial entre as 2 camadas (FALCÃO, 2005).

Um conjunto de 36 células fotovoltaicas forma um módulo de aproximadamente 1 m<sup>2</sup>, produzindo uma potência de até 140 Watts. E, segundo Galdino et al. (2000, p. 21): “painel fotovoltaico - conjunto de módulos fotovoltaicos associados em série/paralelo a fim de fornecer os níveis de tensão e corrente adequados à aplicação.”

O projeto envolvendo painéis fotovoltaicos tem o nome Central Elétrica Fotovoltaica e é comumente empregado em instalações individualizadas domésticas, comerciais, rurais e de indústrias, podendo também ser utilizada essa designação para instalações de grande porte, onde será mais apropriado usar o termo Usina Elétrica Fotovoltaica.

No segundo semestre do ano de 2016, a mídia eletrônica noticiou diversas descobertas capazes de melhorar a eficiência dos equipamentos nos próximos anos. A utilização de um novo material a ser usado futuramente nas células fotovoltaicas cuja eficiência se estima no dobro (66%) da energia convertida (LEONARDI, 2016). Uma outra descoberta refere-se à transformação do convencional painel plano para um modelo cônico rotativo, ocupando menor espaço e células com lentes, entre outros avanços (ALTERNATIVIDADES, 2016).

#### **1.2.4. Vantagens e desvantagens do uso da energia solar**

Sendo a energia hidrelétrica a base da matriz energética do Brasil, tal fato, apresenta a vantagem de absorver mais facilmente outras fontes alternativas, tal como a solar. A combinação dessas fontes promove maior estabilidade da rede elétrica (CGEE,

---

<sup>1</sup> O Brasil figura como um dos líderes mundiais na produção de silício de grau metalúrgico, ficando atrás apenas da China, quando considerados os países individualmente.

2010).

Outra vantagem adicional, comum às energias limpas e renováveis, é o que representa para o Brasil a redução das emissões de gases ou resíduos que provocam o aquecimento global, sobretudo no momento em que foi assumido o compromisso de cumprir metas para a diminuição da temperatura em prazo determinado na COP-21 (ONUBR, 2015).

A existência de um mercado consumidor para esta energia, além de proporcionar desenvolvimento tecnológico, tem grande potencial de redução de custos, promovendo a modicidade tarifária no futuro (CGEE, 2010).

Sousa et al. (2015, p. 15) resumem as suas vantagens do seguinte modo:

- A energia solar e a sua transformação não polui, sendo os materiais da sua utilização são reutilizáveis;
- As usinas solares são de longa duração com uma manutenção mínima;
- Os painéis solares evoluem na potência e com diminuição de custos, o que se reflete em uma solução econômica;
- Em lugares distantes ou de difícil acesso, a sua rentabilidade é maior pelo fato de não haver custos de transmissão e na manutenção dessas linhas;
- Os países tropicais, devido a uma incidência solar maior e com maior duração, são os mais beneficiados com este tipo de energia.

Mas devem ser citados outros benefícios, como:

- Contribuição para a sustentabilidade com a proteção do meio ambiente;
- Aproveitamento da sazonalidade de algumas fontes de energias limpas e renováveis;
- Diversificação da matriz energética, o que resulta em um investimento na segurança energética e uma otimização da transmissão da energia elétrica;
- Geração de emprego, indústrias e conseqüente desenvolvimento econômico; e,
- No caso concreto deste estudo, a utilização de uma energia não poluente em uma região inserida na Mata Atlântica.

Mas esta energia também apresenta desvantagens e que os mesmos autores (SOUSA et al., 2015, p. 16) apontam:

- Durante a noite a produção é nula e deverá haver outra fonte de abastecimento complementar, visto que o uso de baterias para o armazenamento ainda não é economicamente viável;

- A incidência solar menor e as más condições atmosféricas (nebulosidade) diminuem a produção e, como tal, em locais com elevada poluição não é recomendável a sua instalação;

- Uma instalação com demasiados painéis solares, além de necessitar de área de grande dimensão, não acidentada, pode causar impacto visual e ambiental, dependendo do local e da sua dimensão. Em casos de maior dimensão provoca alterações no ecossistema;

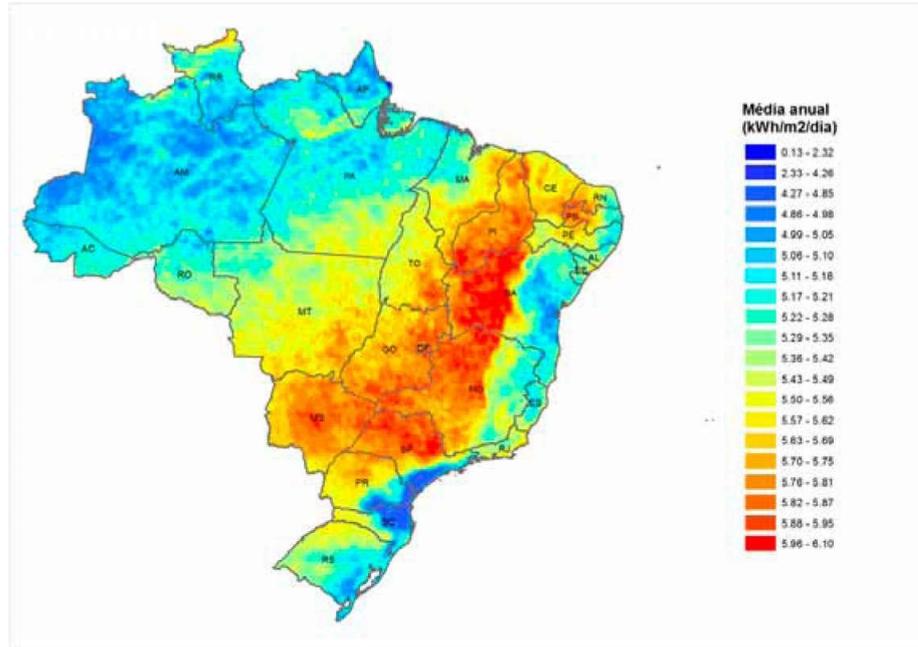
- No momento, o rendimento dos painéis solares (25%) e o seu avultado custo, elevam o investimento atual, mas estes fatores estão evoluindo positivamente com novas descobertas.

### **1.2.5. Potencial energético solar**

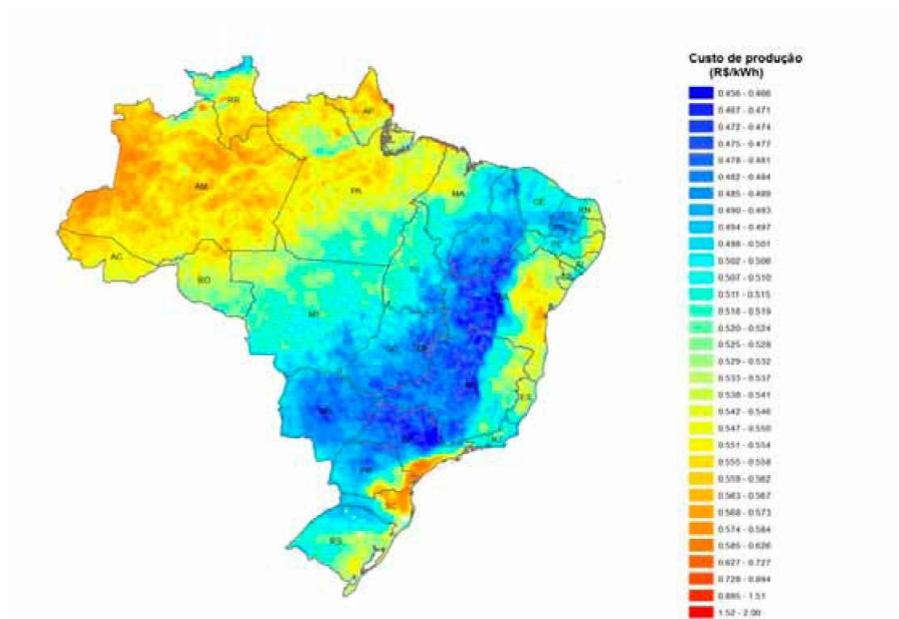
Segundo Barbosa et al. (2010) a avaliação do potencial de geração de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos envolve o conhecimento prévio de diversos parâmetros relacionados a três potências: o Potencial Físico, representado pela quantidade de energia incidente em uma determinada área; o Potencial Geográfico, relacionado com a área disponível para a instalação do sistema de captação da energia; e o Potencial Técnico, fundamentado em informações técnicas relativas aos equipamentos e ao sistema e que apresenta como produtos decisórios o desempenho global do sistema e a energia específica produzida.

Embora não tendo em conta as reais condições locais existem, atualmente, levantamentos de dados a nível mundial e do Brasil que permitem uma perspectiva otimista de instalações de Sistemas de Produção de Energia Solar Fotovoltaica para grandes regiões (Figuras 1 e 2). Assim:

Um aspecto favorável à introdução da energia solar no Brasil é a disponibilidade de levantamentos de recurso primário, como o Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado recentemente pelo INPE. O atlas foi desenvolvido dentro do escopo do projeto SWERA em parceria entre o CPTEC/INPE e UFSC e o Atlas Solarimétrico do Brasil, desenvolvido através do convênio FADE-UFPE / CEPEL (ABINEE, 2012, p. 44).



**Figura 1:** Irradiação total em plano cuja inclinação é igual à latitude do local. Mapa elaborado pela PSR com dados do projeto SWERA. **Fonte:** Radiação solar (ABINEE, 2012, p. 44).

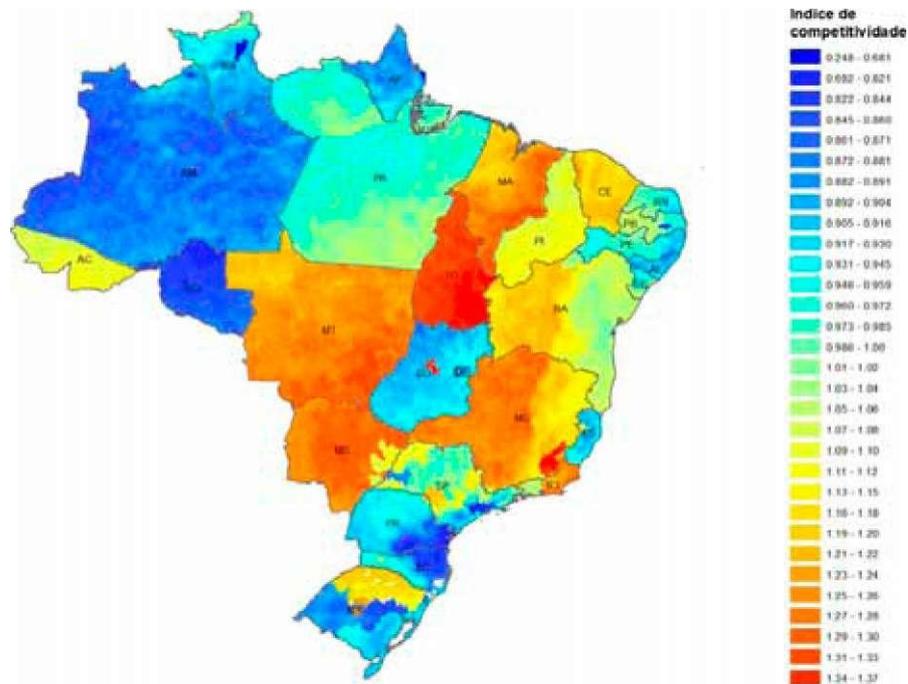


**Figura 2:** Custo de produção de energia solar (R\$/kWh). Quanto mais fria a cor, menor o custo. **Fonte:** Radiação solar (ABINEE, 2012, p. 54)

Um aspecto favorável à introdução da energia solar no Brasil é a disponibilidade de levantamentos de recurso primário, como o Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado recentemente pelo INPE. O atlas foi desenvolvido dentro do escopo do projeto SWERA em parceria entre o CPTEC/INPE e UFSC e o Atlas Solarimétrico do Brasil, desenvolvido pelo do convênio FADE-UFPE / CEPEL

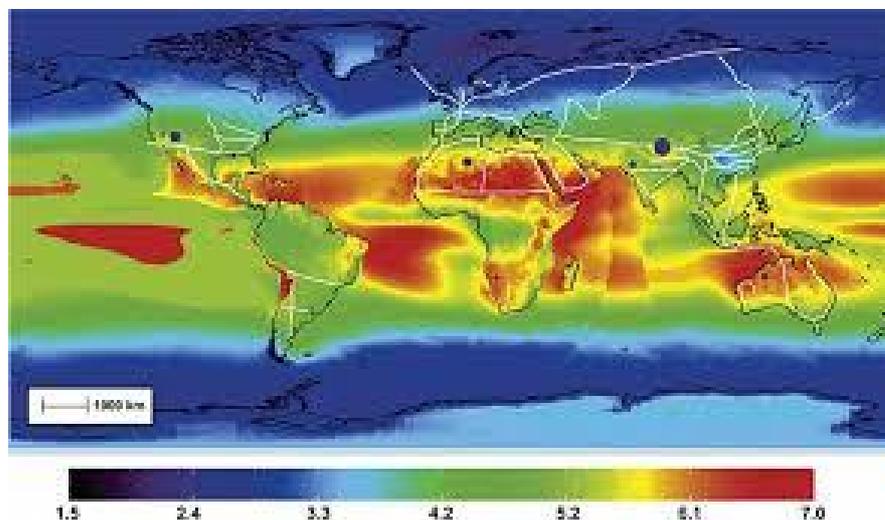
(ABINEE, 2012).

Pelo mapa da Figura 3, podem-se observar os indicadores de viabilidade de instalação de energia solar fotovoltaica, de baixa tensão, em todo o país.



**Figura 3:** Indicador de viabilidade para clientes na baixa tensão.  
**Fonte:** ABINEE (2012, p. 58).

A distribuição geográfica da irradiação solar média global, Figura 4, mostra que os maiores índices de radiação são observados na Zona Tropical, com destaque para o norte e sul de África, sul da Península Arábica, norte da Austrália, América Central e Golfo do México.



**Figura 4:** Irradiação média anual em plano horizontal ( $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$ ).  
**Fonte:** NASA (<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>).

É importante ressaltar que mesmo as regiões com menores índices de radiação apresentam grande potencial de aproveitamento energético. No Brasil as cores mais quentes estão no semiárido nordestino.

### 1.2.6. Produção mundial e os maiores parques solares fotovoltaicos

O valor exato, no presente momento, da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica a nível mundial é difícil de obter, mas a evolução do mercado tem sido exponencial.

O mercado fotovoltaico global apresentou um crescimento bastante acelerado na última década. Constata-se na Figura, que a capacidade instalada alcançou 139 GW no final de 2013, o que é resultado da multiplicação por um fator 15 para um período de seis anos (MAGNUS et al., 2016, p. 3).



**Figura 5:** Histórico da capacidade fotovoltaica global instalada.

**Fonte:** FRAUNHOFER ISE (2015 apud MAGNUS, BECKER e TAVARES, 2016, p. 3).

Até 2015, a produção de energia solar fotovoltaica tinha em primeiro lugar no mundo a Alemanha, país que era acompanhado a alguma distância por China, Itália, EUA, Japão e Espanha. Em 2016, a China passou para primeiro lugar e produzirá o equivalente a uma Itaipu (89 milhões MWh).

A Agência Internacional de Energia – AIE estima que, em 2035, 2% da energia produzida mundialmente será solar. E informa que a energia solar, com origem em painéis fotovoltaicos, ficou 50% mais barata nos últimos 10 anos, em que foram instalados 220 mil painéis de 50 MW (GLOBOSAT PLAY, 2016).

As Usinas Elétricas Solares Fotovoltaicas, também chamadas de Parques Solares, têm vindo a aumentar de capacidade instalada a um ritmo vertiginoso.

A evolução da capacidade de produção dessas usinas, em todo o mundo, pode ser observada na Tabela 1, com alguns exemplos.

**Tabela 1:** Exemplos de Usinas Elétricas Solares Fotovoltaicas.

ANO	LOCAL	PAÍS	CAPACIDADE MW
2007	Serpa	Portugal	11
2007	Nevada	EUA	75
2008	Amareleja	Portugal	46
2008	Granada	Espanha	100
2009	Torre de Miguel Sesmero	Espanha	150
2010	Kuraymat	Egito	20
2010	Cáceres	Espanha	50
2010	Florida	EUA	75
2010	Sanlúcar la Mayor	Espanha	150
2011	Palma del Rio	Espanha	100
2015	Cestas - Bordeaux	França	300
2015/6	San Luis Obispo (1) e Riverside (2) - Califórnia	EUA	550
2015	Rosamond - Califórnia	EUA	579

**Fonte:** A autora.

Três exemplos de Usinas Elétricas Solares Fotovoltaicas:

- no primeiro (Figura 6), implantada em uma península artificial, no Japão, construída para essa instalação;



**Figura 6:** Usina Solar de Kagoshima Nanatsujima com capacidade de 70 MW.

**Fonte:** Power-technology (<http://www.power-technology.com/projects/>).

- no segundo (Figura 7), uma das maiores usinas do mundo, com uma capacidade de 550 MW, ocupando uma área no deserto com 16 km<sup>2</sup> e, por isso, uma de maior rentabilidade;



**Figura 7:** Usina Solar em Chuckwalla Valley abastece o condado de Riverside, na Califórnia - EUA.

**Fonte:** Power-technology (<http://www.power-technology.com/projects/>).

- no terceiro (Figura 8), trata-se de um projeto de usina flutuante de empresa privada que negociou sua instalação na Índia (em construção) e nas Ilhas Maldivas.



**Figura 8:** Usina flutuante de 10 MW em Kerala, Índia.

**Fonte:** SolarWorld (Solar-Magazine.com).

### 1.2.7. Consumo de energia elétrica no Brasil

O consumo de energia elétrica no Brasil, segundo o Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico do Ministério de Minas e Energia, pode ser observado na Tabela 2.

**Tabela 2:** Consumo de Energia Elétrica no Brasil – 2014.

	Valor Mensal			Acumulado 12 meses		
	Dez/14 GWh	Evolução Mensal Nov14 a Dez14	Evolução Anual Dez13 a Dez14	Jan13/Dez13 GWh	Jan14/Dez14 GWh	Evolução %
<b>Residencial</b>	11.136	-2,1%	4,0%	124.896	132.049	5,7
<b>Industrial</b>	14.483	-4,1%	-5,5%	184.684	178.055	-3,6
<b>Comercial</b>	7.859	-1,2%	3,8%	83.704	89.819	7,3
<b>Rural</b>	2.143	-5,0%	8,5%	23.455	25.825	10,1
<b>Demais classes</b>	4.051	-1,8%	1,8%	46.383	47.647	2,7
<b>Perdas</b>	9.652	27,8%	9,7%	96.374	100.504	4,3
<b>Total</b>	<b>49.325</b>	<b>2,0%</b>	<b>2,0%</b>	<b>559.496</b>	<b>573.899</b>	<b>2,6</b>

**Fonte:** Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro (BRASIL, 2015).

O consumo em 2015 já é conhecido, e embora não apresentado em tabela, teve seus valores anunciados pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética: o consumo de energia elétrica no Brasil fechou 2015 com declínio de 2,1% sobre 2014, totalizando 464,7 mil gigawatts-hora (GWh). A queda deveu-se principalmente pelo recuo do consumo das indústrias (-5,3%), em função do cenário desfavorável ao longo do ano. O consumo residencial também registrou decréscimo no ano, de 0,7%, influenciado pela alta das tarifas, registrando a maior redução desde 2004 (EPE, 2016).

Por outro lado, o consumo de energia elétrica no Brasil, e no mundo, não vai parar de crescer:

[...] o consumo líquido de energia elétrica no mundo, que em 2003 era de 14,781 trilhões de kWh, vai passar para 30,116 trilhões em 2030. Nesta direção, de acordo com os dados da International Energy Outlook (2009), o crescimento mundial da demanda de energia pode chegar a 44% entre 2006 e 2030. Em países com economias emergentes como a China, a Índia e o Brasil esse aumento pode ser de até 73% (PESSOA, 2011, p. 29).

No cenário mundial e brasileiro é o setor industrial, constituído pela manufatura, agricultura, construção e mineração, que mais consome energia. Seguem-se os setores de transporte e comércio. Só após estes surge o residencial, que no entanto, tem apresentado aumentos anuais consideráveis (PESSOA, 2011, p.

29).

### 1.2.8. Energia solar fotovoltaica no Brasil: presente e futuro

O Brasil tem a maior parte de sua energia elétrica proveniente das hidrelétricas. Com a falta de água para o abastecimento das barragens, muitas cidades enfrentaram problemas com o fornecimento de energia elétrica desta origem. Quando não funciona esta fonte de energia, o recurso são as fontes termelétricas, de que resulta aumento nas tarifas cobradas pelas operadoras.

“Ademais, no Brasil, as tarifas residenciais de energia elétrica estão entre as mais elevadas do mundo, chegando a custar, em média, 65% acima dos preços pagos pelos consumidores estadunidenses (CHAVES et al., 2007, apud PESSOA, 2011, p. 29)”.

A maior parte do território brasileiro está localizada na região intertropical, o que possibilita um grande aproveitamento da energia solar durante o ano todo (PEREIRA et al., 2006).

No Brasil, temos todas as fontes energéticas, sejam as que já estão consolidadas como as que despontam no cenário, a médio e longo prazo. No caso da geração de energia elétrica a partir de fontes fotovoltaicas o mercado brasileiro é extremamente promissor. Além do fato do país possuir, por conta de sua localização geográfica, uma fonte inesgotável do principal insumo - o sol -, também dispõe da matéria prima essencial para produção do silício utilizado na fabricação das células fotovoltaicas (ABINEE, 2012, p. 8).

Um responsável da CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, do Grupo Eletrobrás, no programa “Cidades e Soluções” (GLOBOSAT PLAY, 2016) fez as seguintes declarações:

- O pior local para instalação de energia solar no Brasil é 20 vezes mais eficiente que o melhor local na Alemanha;
- O potencial de energia solar do Brasil é de 30.000 GW equivalente a 200 vezes a capacidade instalada da atual matriz elétrica brasileira, de todas as fontes atuais, que é de 143 GW;
- Atualmente, a energia elétrica de origem solar representa somente 0,02% do consumo brasileiro;
- Em 2015, a produção desta energia cresceu 330% e, segundo a ANEEL, crescerá 800% em 2016.

No mesmo programa, Globosat Play (2016), Rodrigo Sauer, Presidente da

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, informou:

- A tecnologia tem diminuído os custos de instalação das usinas solares fotovoltaicas em cerca de 5% ao ano;
- Para os anos de 2017 e 2018 já existem 99 projetos de novas instalações equivalentes a 3.300 MW.

Pelas razões apontadas, as usinas solares encontram, no Brasil, condições ideais para serem instaladas: sol e locais para as edificações. Mas é importante que o governo brasileiro colabore, como outros governos, criando legislação e incentivos, não só para a instalação de usinas, mas também de indústrias envolvidas na produção dos equipamentos necessários e facilitando a inserção, destas novas unidades produtoras de energia elétrica, na cadeia de abastecimento e na matriz elétrica nacional. Neste último caso, com leilões de produção e abastecimento de energia deste tipo, pois foram poucos os realizados até ao momento.

Dadas as condições atuais de competitividade da energia fotovoltaica, claro está que essa diferença apenas se explica pela disposição daqueles governos para incentivarem a inserção da fonte solar fotovoltaica em suas matrizes elétricas. No entanto, vai se tornando cada vez mais clara a oportunidade de se explorar a energia fotovoltaica no Brasil, não apenas por causa da maior irradiação solar, que é sem dúvida um fator relevante, mas também pela firme trajetória de aumento de eficiência e queda dos custos de implantação de módulos e sistemas fotovoltaicos em nível internacional (ABINEE, 2012, p. 11).

Atualmente, “o Brasil possui empresas envolvidas apenas nas extremidades da cadeia produtiva, ou seja, a produção de silício metalúrgico e a montagem do módulo, além das indústrias de suporte” (ABINEE, 2012, p. 27).

Para além do potencial do mercado de energia fotovoltaica em si, há que se ressaltar a forte interação entre este setor e a cadeia de valor da indústria de componentes eletrônicos, sobretudo semicondutores, a partir da cadeia de purificação do silício. Neste sentido, o Brasil pode reunir condições competitivas - e há interesses efetivos - para abrigar investimentos na cadeia de purificação do silício de forma a atender a ambas as cadeias, solar fotovoltaica e de componentes eletrônicos. Assim, seria possível explorar um espaço de desenvolvimento de mercado ainda mais vasto do que se revelam as expectativas para o setor de energia solar ao incluirmos os mercados de componentes e material eletrônico - segmento, aliás, no qual a balança comercial brasileira tem sido há anos crescentemente deficitária (ABINEE, 2012, p. 11).

Nas suas Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira, a ABINEE (2012, p. 23) afirma:

[...] se uma fração das mais de cem empresas que enviaram e-mail demonstrando interesse para a ANEEL desenvolver projetos, o montante a

ser acrescido em termos de capacidade instalada em projetos fotovoltaicos será superior a toda a capacidade fotovoltaica atualmente instalada no Brasil, estimada em pouco mais de 30 MW.

### **1.2.9. Usinas solares fotovoltaicas no Brasil**

No Brasil, a primeira instalação fotovoltaica ligada à rede foi colocada em funcionamento em 1995, pela CHESF- Companhia Hidrelétrica do São Francisco, no Recife - PE, com 11 kW de capacidade. Apesar de desativada, está em fase de renovação.

De investimento inicial elevado, estas usinas apresentam um baixo custo de manutenção, uma vida útil muito longa (superior a trinta anos) e uma fonte inesgotável e gratuita de alimentação para o seu funcionamento. Além disso, trata-se de energia limpa e renovável que contribui com a sustentabilidade do planeta, o cumprimento de metas de despoluição fixadas em acordos internacionais e o desenvolvimento econômico (ABINEE, 2012).

Tendo como foco as usinas solares fotovoltaicas brasileiras, com produção de eletricidade distribuída em paralelo com a rede elétrica de baixa tensão, em Agosto de 2011 entrou em funcionamento em Tauá, no Ceará, uma unidade da empresa MPX, com uma capacidade de 1 MW (G1.GLOBO.COM, 2011).

Com base em notícias da mídia, é possível observar o desenvolvimento exponencial da capacidade de produção da energia elétrica fotovoltaica a partir dessa data. Assim:

- No Estado de São Paulo, em Janeiro de 2013, se iniciaram as operações na usina de Tanquinho, em Campinas, com uma capacidade de 1,1 MW. Foi um investimento de 13,8 milhões de reais, em uma área de 13.700 m<sup>2</sup>, para fornecimento de energia elétrica a 657 consumidores/mês, tendo estes um consumo médio de 200 KWh/mês (VALOR ECONÔMICO, 2015);

- Em Agosto de 2014, entrou em funcionamento a usina Cidade Azul, em Tubarão – SC, com uma capacidade de 3 MW e um investimento de 30 milhões de reais. Em Novembro de 2014, entrou em operação a usina de Taracatu – PE, com uma capacidade de 11 MW e um investimento de 54 milhões de reais (JORNAL DO SERTÃO, 2015);

- O Governo, em Outubro de 2014, fez um leilão de 31 projetos, para uma

capacidade de 1.048 MW, para serem entregues até Out.2017 (G1.GLOBO.COM, 2015);

- Em 2015, nos dois leilões efetuados, houve a contratação de 66 projetos para uma capacidade de 2.159 MW;

- Em meados de 2015, existiam 317 usinas em funcionamento que representavam o equivalente a 0,01% da matriz elétrica brasileira;

Exemplos de alguns casos significativos em construção para entrada em funcionamento no ano de 2017:

- a maior usina de energia solar da América Latina está sendo construída na cidade de Ribeira do Piauí – PI (Figura 8). Terá o nome de Nova Olinda, com uma capacidade de produção instalada de 292 MW, será capaz de gerar mais de 600 GWh por ano, o suficiente para atender as necessidades de consumo de energia anual de cerca de 300.000 lares brasileiros. O investimento será de 300 milhões US\$ (ÉPOCA NEGÓCIOS, 2016);

- a mesma empresa está construindo, em Ituverava – BA, a segunda maior usina solar do Brasil, com uma capacidade de produção instalada de 254 MW, para início de operação em 2017 (ÉPOCA NEGÓCIOS, 2016);



**Figura 9:** Usina Fotovoltaica Nova Olinda em Ribeira do Piauí - PI.  
**Fonte:** Liga da Energia Solar ([www.ligasolar.com](http://www.ligasolar.com)).

- também, em 2017, será inaugurada a primeira usina flutuante do mundo, no Amazonas, a 107 km de Manaus, a usina de Balbina (Figura 10), no município de

Presidente Figueiredo, que terá uma capacidade de 5 MW, 16 painéis solares e um investimento de 55 milhões de reais, para atender as necessidades de cerca de 9.500 famílias (G1.GLOBO.COM, 2016).



**Figura 10:** Usina Fotovoltaica Balbina perto de Manaus - AM.  
**Fonte:** Liga da Energia Solar ([www.ligasolar.com](http://www.ligasolar.com)).

### 1.2.10. Legislação

Para empreendimentos acima de 5 MW há necessidade de concessão, até porque:

A lei estabelece que a implantação de usinas termelétricas de potência igual ou inferior a 5.000 kW está dispensada de concessão, permissão ou autorização, devendo apenas ser comunicada ao poder concedente<sup>2</sup>. Apesar de não haver menção a usinas solares [...] contém os 'procedimentos para registro de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida', que são definidas como usinas com potência até 5 MW<sup>3</sup>. Esta regulamentação inclui um formulário específico para o registro de usinas solares fotovoltaicas. Ela também exige que seja apresentada a 'Licença Ambiental necessária ao início da operação da central geradora'. Além disso, ela garante 'comercialização de energia e o livre acesso às instalações de distribuição e de transmissão, nos termos da legislação vigente'(ABINEE, 2012, p. 41).

É fundamental afirmar que, enquanto para a maioria das energias existe diversa regulamentação, ela não existe para a produção energia elétrica solar

<sup>2</sup> Lei nº 9.074, de 26 de dezembro de 1996 (BRASIL, 1996).

<sup>3</sup> Resolução Normativa ANEEL nº 390, de 15 de dezembro de 2009 (ANEEL, 2009).

fotovoltaica, em larga escala (> 5 MW).

A maior parte dos obstáculos tem origem na ausência de regulamentação para vários aspectos do aproveitamento da energia solar, e no detalhamento da regulamentação existente. [...] A mesma lei não menciona usinas eólicas ou solares fotovoltaicas, porém, de uma forma geral as usinas não hidroelétricas acima de 5 MW têm sido objeto de autorização. [...] A energia solar, talvez por não ter tido até agora um desenvolvimento mais acentuado, não possui tratamento específico, o que dificulta sua inserção no sistema. No caso particular de empreendimentos acima de 5 MW, a ausência de regulamentação específica provoca sérios entraves, independentemente da questão da viabilidade econômica dos projetos (ABINEE, 2012, p. 39).

Quanto ao Licenciamento Ambiental, a ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica esclarece:

A exigência de "licença ambiental", sem maiores qualificações, pode constituir obstáculo especialmente no caso de usinas de menor porte. A questão é que não existe um limite inferior a partir do qual o procedimento de licenciamento poderia ser simplificado, ou mesmo, dependendo do caso, dispensado. Com isso, as exigências acabam sendo estabelecidas pela legislação estadual ou municipal. Isto impede, por exemplo, que fabricante ou instalador do equipamento possa de alguma forma responsabilizar-se pelo eventual licenciamento [...] que acabam por inviabilizar de vez o empreendimento (ABINEE, 2012, p. 41-42).

É o caso, a nível estadual, de Minas Gerais em que o Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM estabelece que os processos de licenciamento ambiental sejam instruídos mediante apresentação de Estudo de Impacto Ambiental e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) e Plano de Controle Ambiental (PCA). Para tal alterou as regras, para licenciamento de usinas fotovoltaicas, com a Deliberação Normativa COPAM nº 176, de 2012, e nº 202 de 2015.

A ANEEL (2012) aprovou a Resolução Normativa nº 481, de 17 de Abril de 2012, que no caso da energia solar, ampliou a redução do desconto das tarifas de uso dos sistemas de transmissão (ou distribuição) de 50% para 80% nos dez primeiros anos de operação, regressando ao patamar de 50% de desconto nos anos subsequentes. E sobre os Procedimentos de Distribuição - PRODIST, a Resolução Normativa nº 687, de 24.nov.2015, alterou a Resolução Normativa nº 482, de 17.abril.2012 (ANEEL, 2015).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT tem aprovado diversas normas sobre equipamento e componentes fotovoltaicos.

Os interessados na instalação de Usinas Solares Fotoelétricas continuam aguardando a definição de Políticas Públicas e mais Legislação sobre todos os aspectos envolvendo empreendimentos desse tipo. Apesar dessa falta, verifica-se a

instalação dessas usinas pelo país de modo contínuo.

A maior parte dos obstáculos tem origem na ausência de regulamentação para vários aspectos do aproveitamento da energia solar, e no detalhamento da regulamentação existente (ABINEE, 2012).

Diversos Projetos de Lei do Senado de 2013 e 2014 estão ainda em análise.

Mas só a vontade política poderá impulsionar a geração de energia solar fotovoltaica de um modo definitivo e fazer com que esta energia passe a ter um lugar de maior destaque na matriz energética brasileira e, com isso, a criação de empregos, desenvolvimento industrial, diminuição de importações e consequente aumento de exportações contribuindo para o desenvolvimento econômico brasileiro.

### **1.2.11. Incentivos**

Os Governos Federal e Estaduais têm criado incentivos fiscais para incrementar a produção de energia elétrica solar fotovoltaica.

A seção anterior deixa bastante claro que as questões relativas à política industrial para o setor fotovoltaico se resumem à aceleração da demanda, garantindo uma escala mínima que resulte em condições favoráveis para o investimento em plantas produtivas nacionais, e a atuação do setor público de forma conjunta, para aplicação de incentivos fiscais e financeiros, garantindo que a produção possa se manter com custos competitivos globalmente (ABINEE, 2012, p. 118).

Alguns dos incentivos à produção de energia elétrica fotovoltaica em usinas são abordados seguidamente.

O Brasil teve seu programa de incentivo através do PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, de 2004. O objetivo do PROINFA era aumentar a participação da energia eólica, a biomassa e a energia gerada em pequenas centrais hidrelétricas (PCH) através de projetos conectados ao Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN). A energia solar não foi incluída no programa por, naquele momento, não se tratar de uma fonte considerada viável e estratégica, principalmente por seu custo de produção ser consideravelmente superior às demais fontes (ABINEE, 2012, p. 37).

Em 2015, o Senado Federal reconhecendo a importância desta fonte de energia e a falta de incentivos publicou o Texto para Discussão 166 com importantes medidas de incentivo, mas específicas a determinadas áreas da cadeia produtiva, resumidas por Silva (2015):

- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS): incidência, por

prazo determinado, somente no consumo líquido de energia elétrica da microgeração e minigeração distribuídas;

- Recursos do Fundo de Participação dos Estados (FPE) e do Fundo de Participação dos Municípios (FPM): inclusão da fonte solar como um dos critérios de repartição destes fundos;

- 60% dos recursos destinados à eficiência energética para beneficiários da Tarifa Social de Energia Elétrica, aplicados obrigatoriamente pelas distribuidoras de energia elétrica, são flexibilizados;

- Orçamento Geral da União: destinar verbas para pesquisa e desenvolvimento; e,

- FGTS: autorizado o seu uso na aquisição de equipamentos de geração fotovoltaica para microgeração e minigeração distribuídas.

A ABINEE refere-se a esses incentivos de outro modo:

Assim, programas como o PADIS que contempla isenções tributárias à cadeia de semicondutores, módulos e células fotovoltaicas; Lei da Informática, com isenções para inversores; e a Lei do Bem (Inovação Tecnológica), que prevê dedução do lucro real no valor dos gastos com P&D de novos produtos ou processos, serão, sem dúvida, importantes indutores de investimento na cadeia de valor da energia solar fotovoltaica tão logo haja sinais claros de um programa que organize e incentive o crescimento sustentável da demanda por esta fonte (ABINEE, 2012, p. 13).

Enquanto a microgeração e a minigeração desta energia tem sido alvo, merecidamente, de incentivos federais, estaduais e municipais, o mesmo não se verifica com a macrogeração.

### **1.3. Objetivo geral e objetivos específicos**

#### **1.3.1. Objetivo geral**

Avaliar o potencial de produção de energia elétrica solar fotovoltaica no município de Caraguatatuba – SP.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Levantar o potencial físico energético solar no município de Caraguatatuba;
- Levantar o potencial geográfico energético solar no município de Caraguatatuba;

- Calcular o potencial de produção elétrica solar no município de Caraguatatuba;
- Avaliar a relação custo/benefício do empreendimento.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

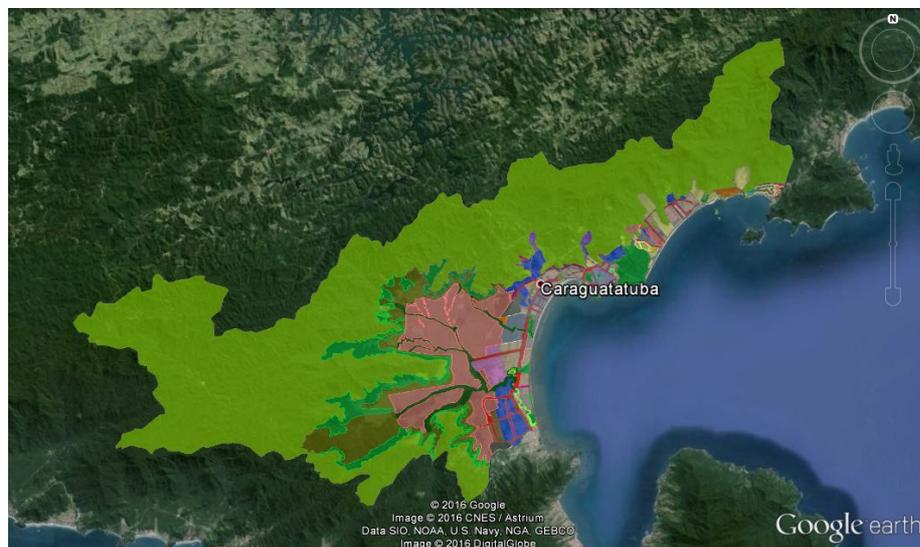
### 2.1. Localização do Município de Caraguatatuba

O trabalho foi desenvolvido no município de Caraguatatuba, Litoral Norte do Estado de São Paulo, localizado na latitude de 23°37'13" Sul, longitude de 45°24'25" Oeste e altitude 2 m, estendendo-se por uma área de 484,8 km<sup>2</sup>.

Tem como limites geográficos: ao Norte - Ubatuba, ao Sul - São Sebastião, a Noroeste - Natividade da Serra, a Oeste - Paraibuna e a Leste o Oceano Atlântico.

### 2.2. Caracterização do local do estudo

O município de Caraguatatuba é coberto por 82% (397,5 km<sup>2</sup>) de Mata Atlântica (cor verde na Figura 11), sendo a mesma, uma área protegida pelo PESH – Parque Estadual da Serra do Mar.



**Figura 11:** Sobreposição do mapa do Plano Diretor do município na imagem de satélite de Caraguatatuba - SP.

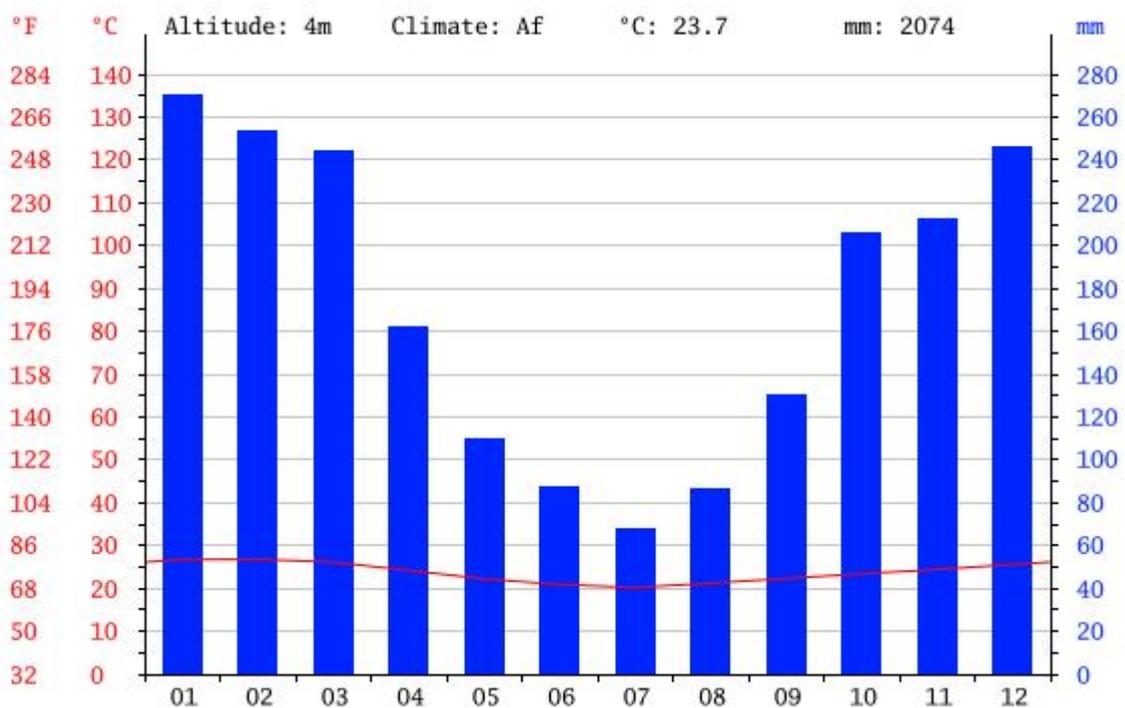
**Fonte:** Plano Diretor (CARAGUATATUBA, 2011) e Google Earth (GOOGLE EARTH, 2016).

### 2.3. Características climáticas

Os dados sobre o clima de Caraguatatuba estão apresentados nas Figuras 12 e 13 e na Tabela 3, cujas médias mensais se referem aos dados históricos coletados entre os anos de 1982 e 2012.

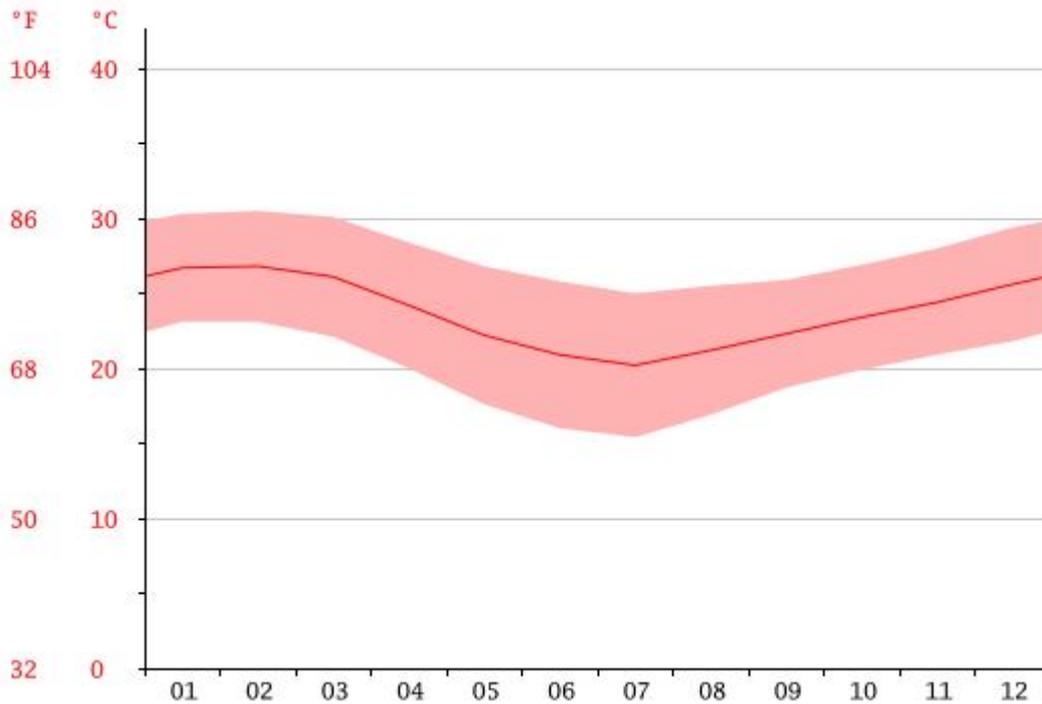
Segundo a classificação Köppen, o clima de Caraguatatuba é classificado como Af ou tropical úmido (SANT'ANNA NETO, 2013) que é um clima tropical, com precipitação média anual de 1970 mm (NERY JUNIOR, 2015).

Neste tipo de clima, as variações da temperatura são inferiores a 3°C. No início da tarde, quase todos os dias, devido ao aquecimento intenso da superfície e à alta umidade, formam-se nuvens cumulus e cumulunimbus. As temperaturas máximas diárias são de cerca de 32°C e a temperatura noturna é de 22°C (CLIMATE-DATA, 2016).



**Figura 12:** Gráfico climático de Caraguatatuba.  
**Fonte:** CLIMATE-DATA (2016).

O mês mais seco é julho e tem 68 mm de precipitação. Apresentando uma média de 270 mm, o mês de janeiro é o mês de maior precipitação. A temperatura média é de 23,7 °C (Figura 13).



**Figura 13:** Gráfico de temperatura de Caraguatatuba.  
**Fonte:** CLIMATE-DATA (2016).

O mês mais quente do ano é fevereiro com uma temperatura média de 26,8°C. Durante o ano, julho tem uma temperatura média de 20,2°C que é a temperatura média mais baixa (Tabela 3).

**Tabela 3:** Tabela climática de Caraguatatuba.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
mm	270	253	244	162	110	87	68	86	130	206	212	246
°C	26.7	26.8	26.1	24.2	22.2	20.9	20.2	21.2	22.3	23.4	24.4	25.6
°C mín	23.1	23.1	22.1	20.0	17.6	16.0	15.4	16.9	18.7	19.9	20.9	21.8
°C Máx	30.3	30.5	30.1	28.4	26.8	25.8	25.0	25.5	25.9	26.9	28.0	29.4

**Fonte:** CLIMATE-DATA (2016).

A diferença entre a precipitação do mês mais seco e do mês mais chuvoso é de 202 mm. E durante o ano as temperaturas médias variam 6,6 °C.

## 2.4. Características socioeconômicas

O município de Caraguatatuba é uma estância balneária que, como tal, tem seu desenvolvimento econômico relacionado com as atividades turísticas e consequente comércio. Em 2011, iniciou-se uma nova fase com atividades industriais relacionadas com o funcionamento de uma Unidade de Tratamento de Gás do petróleo, da Petrobras.

Segundo dados do IBGE (2016) a população em 2010 era de 100.840 e a estimada para 2016 era de 115.071 habitantes. O IDH – Índice de Desenvolvimento Humano encontra-se em 0,759, superior à média nacional que é de 0,727 e considerado alto por ser superior a 0,700.

## 2.5. Consumo de energia elétrica no município

Os dados energéticos detalhados dos municípios do Estado de São Paulo são fornecidos e atualizados anualmente pelo *hotsite* da Secretaria Estado de Energia e Mineração, do Estado de São Paulo. O consumo de energia elétrica do município de Caraguatatuba – SP, em 2015, está detalhado na Tabela 4.

**Tabela 4:** Detalhes do Consumo de Energia Elétrica no município de Caraguatatuba – SP.

Concessionária: EBE - EMPRESA BANDEIRANTE DE ENERGIA									
Parâmetro	Residencial	Comércio	Rural	Indústria	Iluminação Pública	Poder Público	Serviço Público	Consumo Próprio	Total
População 113.317									
Consumo (MWh)	127.124	76.345	1.765	97.702	18.645	8.286	12.794	142	342.803
Consumidores	63.956	4.466	27	201	229	298	93	4	69.274
Consumo Médio (kWh/Ano)	1.988	17.095	65.355	486.077	81.420	27.806	137.569	35.480	4.949
Consumo Médio Mês (kWh/Mês)	166	1.425	5.446	40.506	6.785	2.317	11.464	2.957	412

**Fonte:** Secretaria de Energia e Mineração (SÃO PAULO, 2015).

Na Tabela 5 pode observar-se o histórico de consumo de energia elétrica dos últimos 10 anos, no município, por segmento.

**Tabela 5:** Histórico de Consumo (MWh) no município de Caraguatatuba – SP.

ANO	Residencial	Comércio	Rural	Indústria	Iluminação Pública	Poder Público	Serviço Público	Consumo Próprio	TOTAL
2015	127.124	76.345	1.765	97.702	18.645	8.286	12.794	142	<b>342.803</b>
2014	126.670	76.296	1.454	100.894	18.806	8.641	13.299	192	<b>346.252</b>
2013	118.147	70.223	1.129	97.843	17.497	7.589	13.662	223	<b>326.313</b>
2012	114.131	66.342	1.100	94.446	17.494	6.866	13.351	213	<b>313.942</b>
2011	110.740	54.176	1.400	97.382	17.461	6.201	12.936	190	<b>300.488</b>
2010	106.740	51.178	872	90.061	15.042	7.351	11.493	212	<b>282.949</b>
2009	100.263	49.293	1.874	86.843	14.292	7.364	11.430	229	<b>271.589</b>
2008	90.208	42.796	1.112	81.773	13.888	5.319	10.914	221	<b>246.231</b>
2007	87.979	38.216	893	87.781	13.597	4.741	10.187	223	<b>243.617</b>
2006	86.787	35.500	502	80.641	13.475	3.764	10.386	218	<b>231.272</b>

Fonte: Secretaria de Energia e Mineração. (São Paulo, 2015).

E o resumo percentual da distribuição do consumo de energia elétrica no município, por setores, está apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6:** Consumo por setores.

SETOR	%
Residencial	37
Industrial	28,5
Comercial	22
Setor Público	12
Rural	0,5

Fonte: Dados Tabela 4 (SEM-SP, 2015).

O setor Residencial tem o maior percentual de consumo do município por sua economia se basear no Turismo e com pouca atividade industrial, sendo uma situação inversa à observada no Brasil em geral, como também no mundo.

## 2.6. Variáveis avaliadas

### 2.6.1. Fotoperíodo e radiação solar extraterrestre

Inicialmente foi realizada a caracterização da radiação no município com a determinação das variáveis fotoperíodo máximo e radiação solar extraterrestre. O fotoperíodo máximo foi determinado a partir da equação 01.

$$N = \left( \frac{24}{\pi} \right) \cdot ws \quad (01)$$

, em que:

N – fotoperíodo (h);

ws – ângulo solar no pôr do sol (radianos).

O ângulo solar no pôr do sol foi determinado a partir da equação 02.

$$ws = \arccos[-tg(\phi) \cdot tg(\delta)] \quad (02)$$

, em que:

ws – ângulo solar no pôr do sol (radianos);

$\phi$  – latitude local (radianos);

$\delta$  – declinação solar (radianos).

A declinação solar foi determinada em função do dia do ano por meio da equação 03.

$$\delta = \text{sen} \left[ \left( \frac{2\pi}{360} \right) \cdot DJ - 1,39 \right] \quad (03)$$

, em que:

$\delta$  – declinação solar (radianos);

DJ – dia do ano no calendário Juliano.

O cálculo da radiação solar extraterrestre foi realizado conforme a equação 04.

$$Ra = 37,6 \cdot \left( \frac{d}{D} \right)^2 \cdot \left[ \left( \frac{\pi}{180} \right) \cdot ws \cdot \text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(DJ) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(ws) \right] \quad (04)$$

, em que:

Ra – radiação solar extraterrestre ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );

ws – ângulo solar no pôr do sol (radianos);

$\phi$  – latitude local (radianos);

DJ – dia do ano no calendário Juliano;

$\delta$  – declinação solar (radianos).

Após determinar os valores diários de fotoperíodo e a radiação solar extraterrestre foram realizados os cálculos das médias mensais. Essa operação foi executada pelo quociente entre o somatório dos valores diários de fotoperíodo e

radiação solar extraterrestre de cada mês pelo número de dias do respectivo mês.

## 2.6.2. Potencial de produção de energia elétrica solar fotovoltaica

O potencial de produção de energia elétrica solar fotovoltaica foi estimado pela integração entre o potencial físico e geográfico, resultando no cálculo da potência fotovoltaica média mensal e anual.

### 2.6.2.1. Potencial físico

O potencial físico de energia solar fotovoltaica foi determinado a partir do cálculo da potência mensal fotovoltaica do módulo de geração de energia elétrica, seguindo o critério proposto por Lopez et al. (2012), que consideram uma área mínima viável de 18.000 m<sup>2</sup> de células fotovoltaicas para um módulo de geração elétrica por energia solar em área urbana. Dessa forma, a potência mensal fotovoltaica do módulo de geração de energia elétrica foi determinada pela equação 05.

$$Pot_f = \frac{\eta \cdot A \cdot R_s'}{10^8} \quad (05)$$

, em que:

Pot<sub>f</sub> – potência fotovoltaica (MWh mês<sup>-1</sup>);

η – eficiência das células fotovoltaicas (%);

A – área de célula fotovoltaica (m<sup>2</sup>), que neste caso foi de 18.000 m<sup>2</sup>;

R<sub>s</sub>' – radiação solar mensal (kWh m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>).

Os dados de radiação solar mensal (R<sub>s</sub>') foram obtidos por meio das imagens de radiação solar média diária (R<sub>s</sub>), do banco de dados da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2016). Os dados de R<sub>s</sub> foram obtidos para todos os meses, entre os anos de 2000 e 2015, na unidade W m<sup>-2</sup>. A conversão de R<sub>s</sub> em R<sub>s</sub>' foi realizada pela equação 06.

$$R_s' = 0,024 \cdot R_s \cdot DM \quad (06)$$

, em que:

R<sub>s</sub>' – radiação solar mensal (kWh m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);

$R_s$  – radiação solar média diária ( $W m^{-2}$ );

DM – número de dias do mês.

A eficiência das células fotovoltaicas adotada foi de 20,1%, que se refere ao uso de células de silício com tecnologia de filmes finos transferidos (PINHO; GALDINO, 2014).

### 2.6.2.2. Potencial geográfico

O potencial geográfico foi determinado seguindo o critério proposto por Lopez et al. (2012), onde consideram que as áreas impeditivas são as áreas urbanizadas (áreas com permeabilidade inferior a 1%), estacionamentos, estradas, outras infraestruturas e com topografia de inclinações superiores a 3%. Para isto, cruzou-se os mapas de declividade e de uso e ocupação do solo. A área considerada apta ao projeto foi a maior área contínua que atendesse todos os critérios propostos por Lopez et al. (2012), mas que estivessem localizadas dentro das áreas de expansão urbana previstas pelo Plano Diretor do Município (CARAGUATATUBA, 2011).

O mapa de declividades foi determinado com o auxílio da imagem do satélite ASTER (NASA, 2010), a partir do qual, foram realizadas operações de geoprocessamento para separar as áreas com declividade inferior ou igual a 3%, das demais. Já o uso e ocupação do solo foi determinado por digitalização manual e classificação visual sobre a imagem da DigitalGlobe, com datas de setembro e novembro de 2016. Os geoprocessamentos foram realizados com o auxílio do software ArcGIS 10.

### 2.6.2.3. Potencial fotovoltaico do município

Após determinado o potencial geográfico (área contínua apta) e o potencial físico (potência mensal fotovoltaica -  $Pot_f$ ), calculou-se o potencial fotovoltaico total para o município a partir da equação 07.

$$Pot_{mun} = \frac{Pot_f \cdot NM}{10^3} \quad (07)$$

em que:

$Pot_{mun}$  – potencial fotovoltaico mensal ( $GWh\ mês^{-1}$ );

Pot<sub>f</sub> – potência fotovoltaica (MWh mês<sup>-1</sup>);

NM – número de módulos de 18.000 m<sup>2</sup> possíveis em área contínua na área preliminarmente apta.

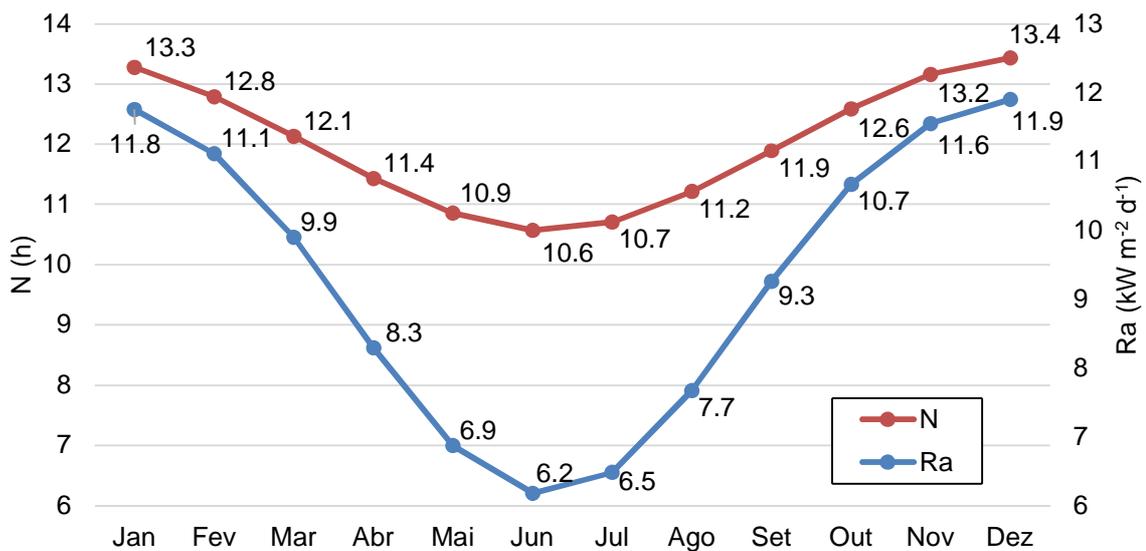
## **2.7. Análises estatísticas**

Após determinadas todas as variáveis mensais, efetuou-se o cálculo das médias e respectivos intervalos de confiança ao nível de 5% de probabilidade estatística. Os cálculos estatísticos, bem como os gráficos, foram efetuados com o auxílio do software Microsoft Excel.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização da Radiação Solar

O fotoperíodo (N) máximo diário para a latitude de Caraguatatuba (23°37'13" Sul) varia de 10,6 horas em junho até 13,4 horas em dezembro (Figura 14).



**Figura 14:** Variação das médias do fotoperíodo (N) máximo diário e radiação solar extraterrestre diária (Ra) para Caraguatatuba - SP.

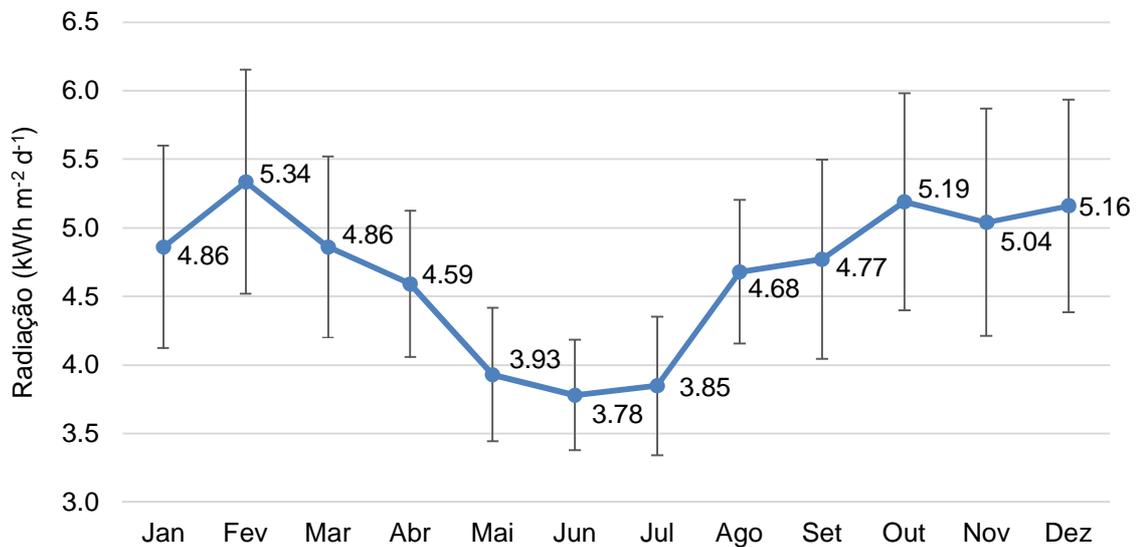
Da mesma forma, o maior valor de radiação solar extraterrestre (Ra) de 11,9 kW m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> ocorre em dezembro (Figura 14), o qual reduz gradativamente até atingir um mínimo de 6,2 kW m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> no mês de junho.

#### 3.2. Potencial físico fotovoltaico

Quando se avalia a radiação solar média diária (Figura 15), verifica-se um comportamento similar ao do fotoperíodo máximo diário e da radiação extraterrestre diária, mas a maior média histórica ocorreu no mês de fevereiro (5,34±0,82 kW m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), enquanto a menor média histórica ocorreu no mês de junho (3,78±0,40 kW m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), resultando em média anual de 4,67 kW m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.

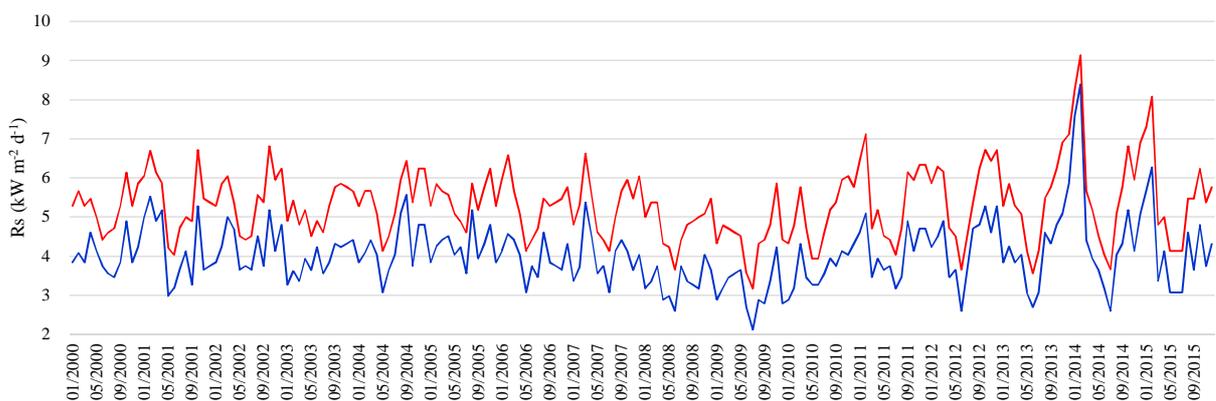
Estes resultados são semelhantes aos obtidos no município de Tubarão, litoral de Santa Catarina, cujos valores médios diários variaram de 4,27 a 4,85 kWh m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (ENGIE, 2016). Comparada à pesquisa realizada na Alemanha, a radiação diária

incidente encontrada foi 20 vezes superior (SOLARGIS, 2016).



**Figura 15:** Variabilidade da média mensal da radiação solar diária em Caraguatatuba – SP, entre 2000 a 2015, seguida do intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade.

Os extremos históricos do intervalo de confiança da radiação solar média diária, ao nível de 5% de probabilidade, estão apresentados na Figura 16, onde se observa que, dentro do intervalo, o maior valor de radiação ocorreu no mês de fevereiro de 2014 (9,14 kW m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) enquanto o menor valor, ocorreu no mês de julho de 2009 (2,11 kW m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>).



**Figura 16:** Variabilidade dos extremos superiores e inferiores do intervalo de confiança com 5% de significância da radiação solar média diária por mês no município de Caraguatatuba – SP, entre 2000 a 2015.

Nota-se grande instabilidade nos valores de radiação diária, se forem considerados os valores extremos do intervalo de confiança ao longo dos anos,

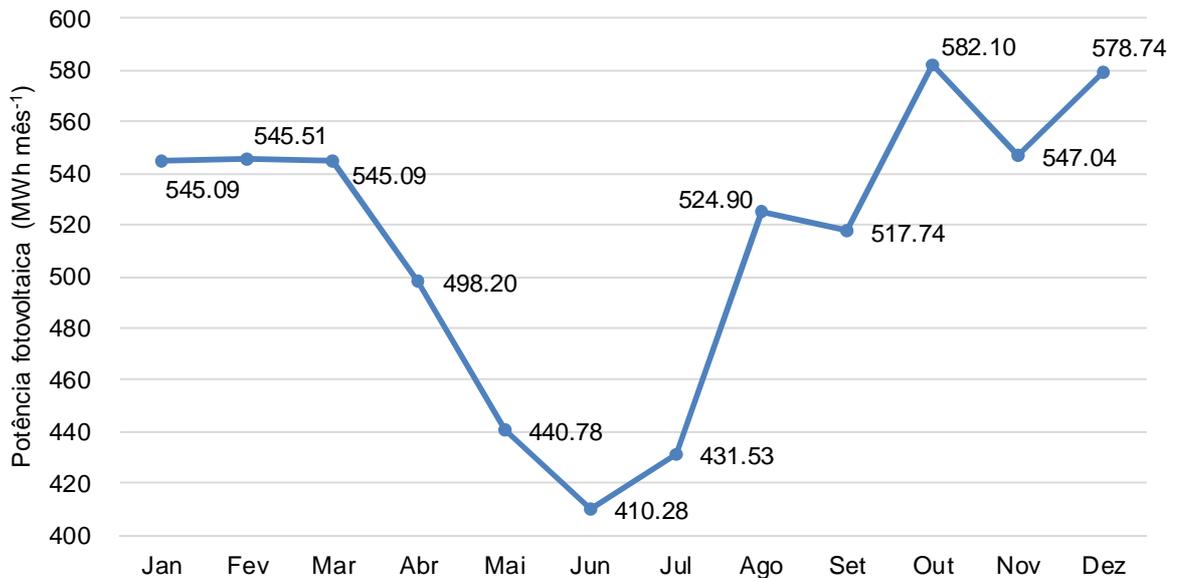
principalmente nos meses do verão.

Comparativamente, a radiação solar incidente em Caraguatatuba é superior à de Curitiba – PR, que em resultados obtidos por Mariano et al. (2016) entre 2012 e 2014, observaram variações de  $2,15 \text{ kW m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , no mês de junho de 2012, a  $6,14 \text{ kW m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  em janeiro de 2014.

De fato, a faixa de maior instabilidade desses valores situa-se nos meses de dezembro a fevereiro, fato este relacionado aos meses de maior pluviosidade mensal. Nery Junior (2015) observou que os meses mais chuvosos (com média mensal acima da mediana de 172 mm) são os de novembro a abril, período que apresenta um total médio de 1.320 mm, ou seja, 66,2% do total médio precipitado anualmente. Já Emetere e Akinyemi (2016), que estudaram os desafios das irregularidades da radiação solar devido às mudanças climáticas em áreas da costa da Nigéria, observaram que a precipitação é um dos principais desafios para as regiões tropicais, causando instabilidades e variações adversas na radiação solar incidente.

A radiação solar no município de Caraguatatuba, para a finalidade de geração de energia solar, pode ser comparada com outros locais do Brasil e do mundo. Segundo os mapas produzidos pelo PSR – Consultoria Power Systems Research (ABINEE, 2012), o valor médio da radiação anual para a região de Caraguatatuba varia dentro das margens de  $4,27$  a  $4,85 \text{ kWh m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , resultados estes, que estão de acordo com os obtidos neste trabalho. De acordo com a CEMIG (2014), a radiação solar na região mais ensolarada da Alemanha é 40% menor do que na região menos ensolarada do Brasil.

A potência fotovoltaica média mensal obtida para uma área mínima necessária para um projeto de usina de geração elétrica (área mínima de  $18.000 \text{ m}^2$ ) no município de Caraguatatuba, está apresentada na Figura 17.



**Figura 17:** Variação da potência fotovoltaica média mensal no município de Caraguatatuba – SP, entre 2000 e 2015.

O mês de maior média mensal de potência fotovoltaica é outubro, com 582,10 MWh mês<sup>-1</sup>, seguido dos meses de dezembro e novembro. O mês de menor potência fotovoltaica média é junho com 410,28 MWh mês<sup>-1</sup>. A potência fotovoltaica média anual é de 513,92 MWh mês<sup>-1</sup>.

Avaliando-se os extremos históricos do intervalo de confiança mensal para um projeto mínimo de usina de geração elétrica, verifica-se uma grande variabilidade na potência fotovoltaica mensal (Figura 18). Em um mesmo mês, como por exemplo o de fevereiro, observam-se médias de 934,25 e 325,88 MWh mês<sup>-1</sup>.

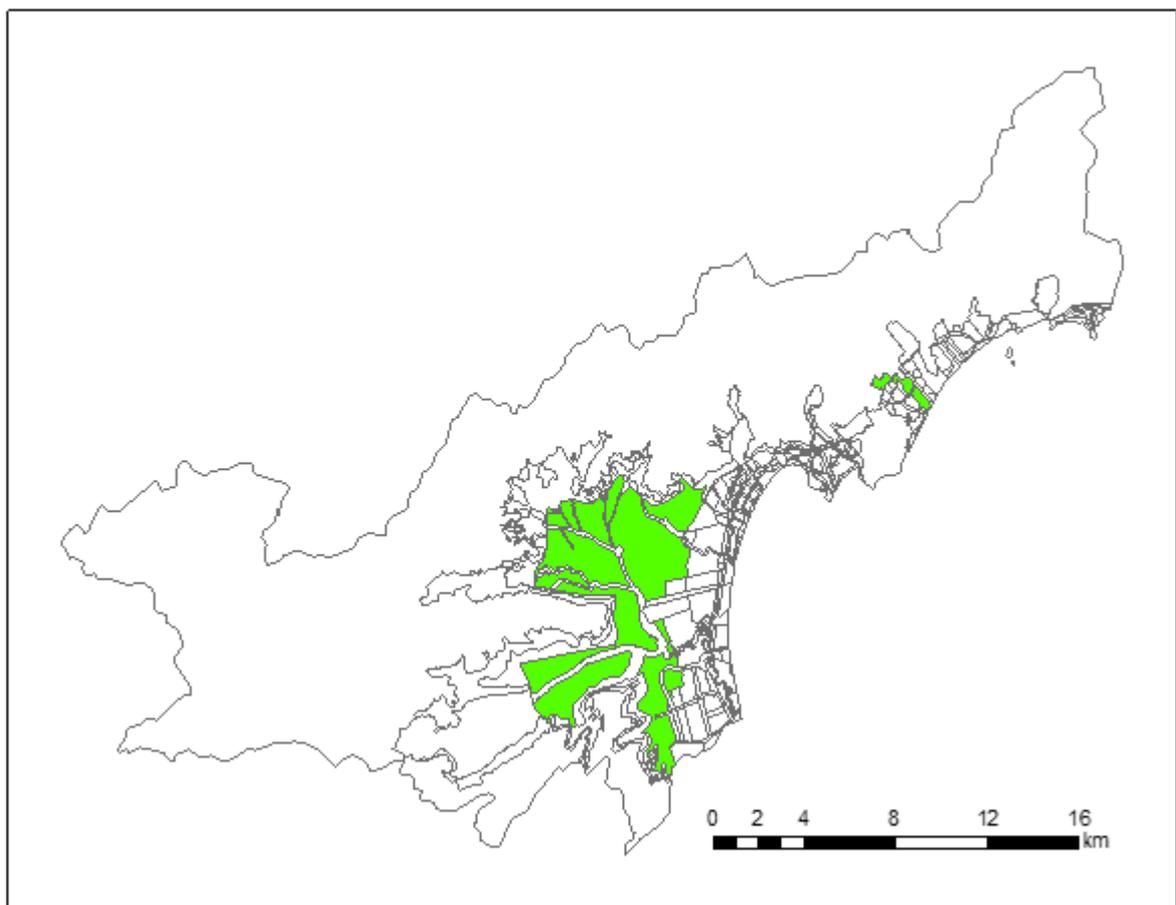


**Figura 18:** Variabilidade dos extremos superiores e inferiores do intervalo de confiança com 5% de significância da potência fotovoltaica mensal no município de Caraguatatuba – SP, entre 2000 e 2015.

Pode-se considerar que essa variação está dentro do aceitável, pois a usina de Tubarão – SC, cujo local tem características similares ao de Caraguatatuba, no ano de 2015 produziu uma média mensal de 286 MWh, com um máximo de 360 MWh e um mínimo de 230 MWh (ENGIE, 2016). As diferenças percentuais em relação ao valor médio (cerca de 20% para mais e para menos) são semelhantes aos valores obtidos para Caraguatatuba – SP nas médias dos últimos 15 anos (cerca de 15% para mais e para menos). Estes resultados evidenciam que a produção em Caraguatatuba seria superior em cerca de 5%, quando comparada com a produção em Tubarão.

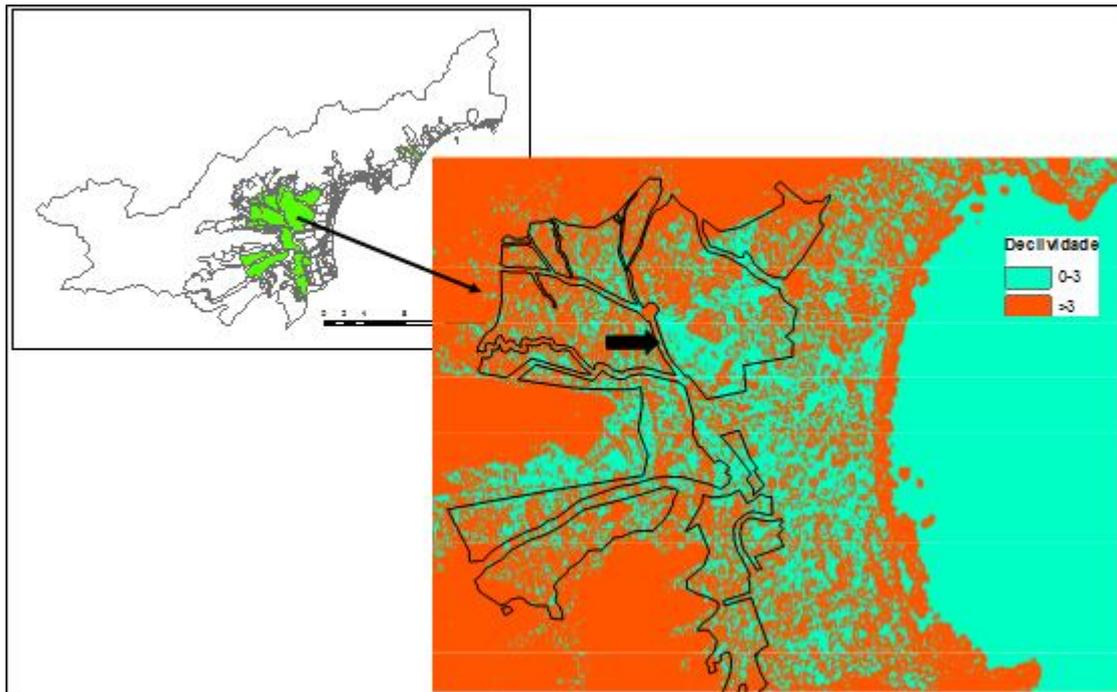
### 3.3. Potencial geográfico

As áreas previamente selecionadas foram as zonas de expansão urbana estabelecidas conforme o Plano Diretor do Município de Caraguatatuba (CARAGUATATUBA, 2011), destacadas em verde na Figura 19.



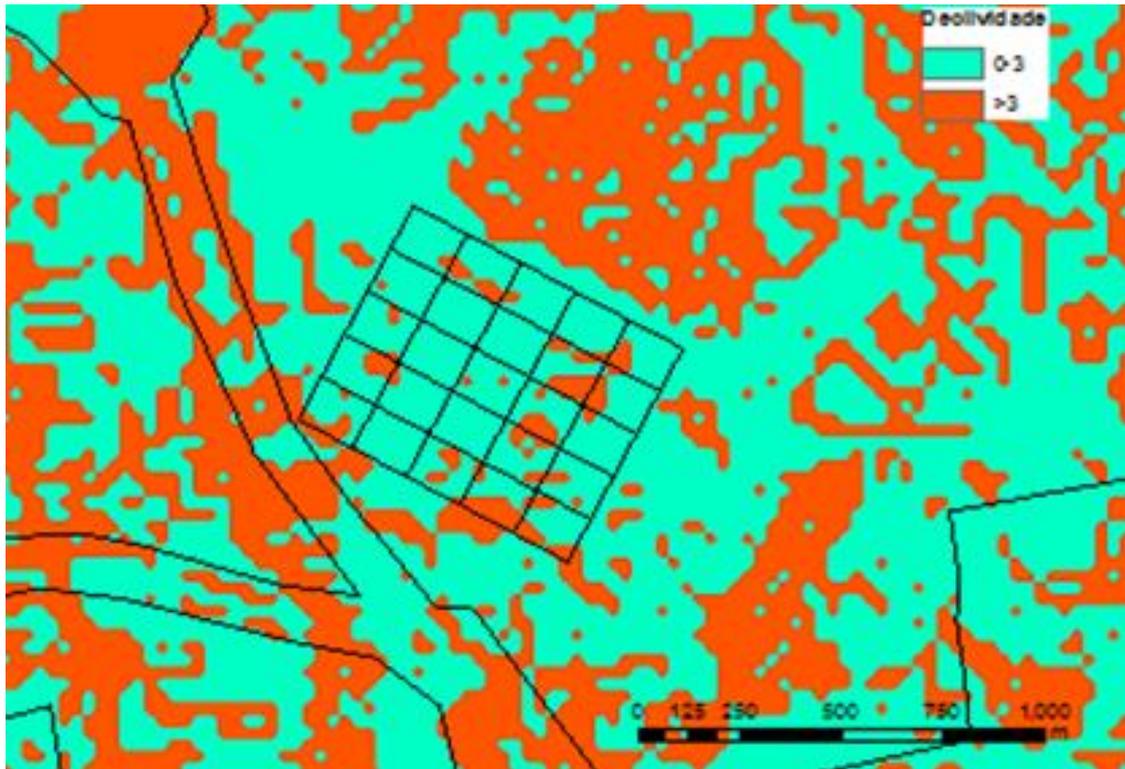
**Figura 19:** Localização das zonas de expansão urbana de Caraguatatuba - SP.

Dentro das zonas de expansão urbana, as áreas mais adequadas são aquelas com declividade inferior a 3%, seguindo os critérios recomendados por Lopez et al. (2012). Na Figura 20, pode ser observada uma área bem uniforme com relação à declividade do terreno, adequada para a implantação do empreendimento (indicado por uma seta preta no mapa).



**Figura 20:** Áreas de declividade inferior (em azul) e superior (em laranja) à declividade de 3%.

Executando uma alocação de áreas, verificou-se ser possível inserir 25 módulos de 18.000 m<sup>2</sup> dentro da área mais uniforme de declividade inferior a 3%, totalizando 450.000 m<sup>2</sup> ou 45 ha (Figura 21).



**Figura 191:** Detalhe da alocação dos módulos de geração de energia elétrica solar.

Alves (2013) avaliando o uso da aplicação dos sistemas de informação geográfica na avaliação do potencial da energia solar na ilha de São Vicente em Cabo Verde, encontraram 3.707 ha de áreas favoráveis, com radiação solar incidente de  $1637,6 \text{ kW m}^{-2}$ , demonstrando como é imprescindível o uso dessa ferramenta na avaliação do potencial geográfico de energia solar.

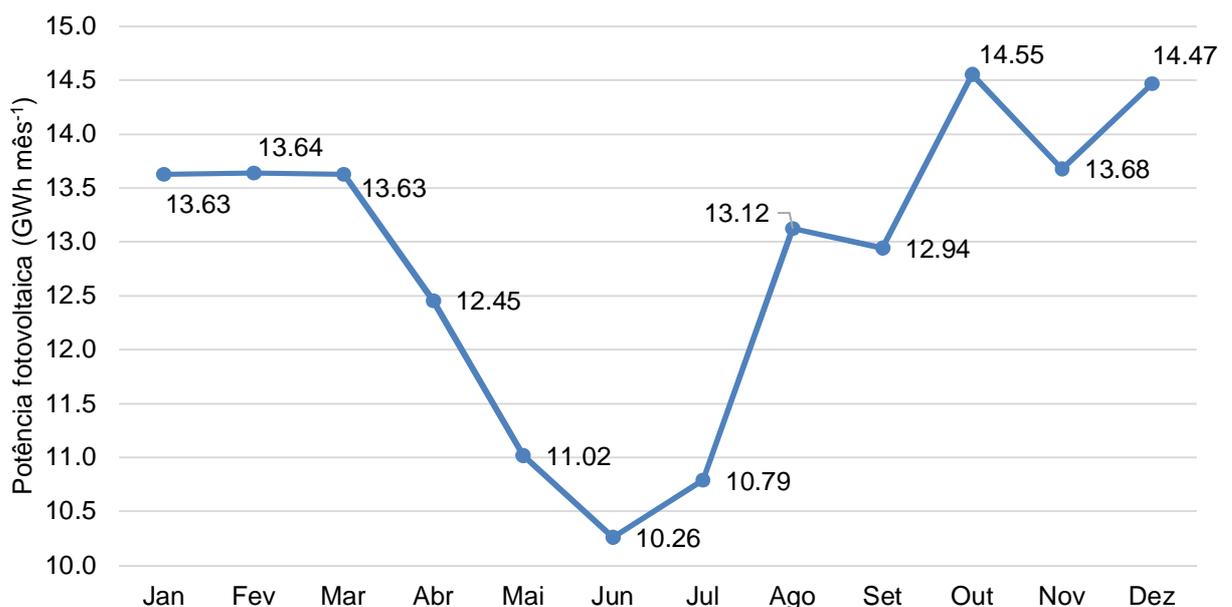
Este local (Figura 22) é ocupado por pastagens, demonstrando a necessidade de desapropriação de áreas de uso agropecuário, e também possui infraestrutura de estradas que facilita o acesso para a instalação e operação do sistema.



**Figura 202:** Detalhe da área proposta mais favorável à implantação do projeto.

### 3.4. Potencial fotovoltaico do município

A potência fotovoltaica média mensal obtida para um projeto de usina de geração elétrica no município de Caraguatatuba, com a área disponível de 450.000 m<sup>2</sup>, está apresentada na Figura 23.

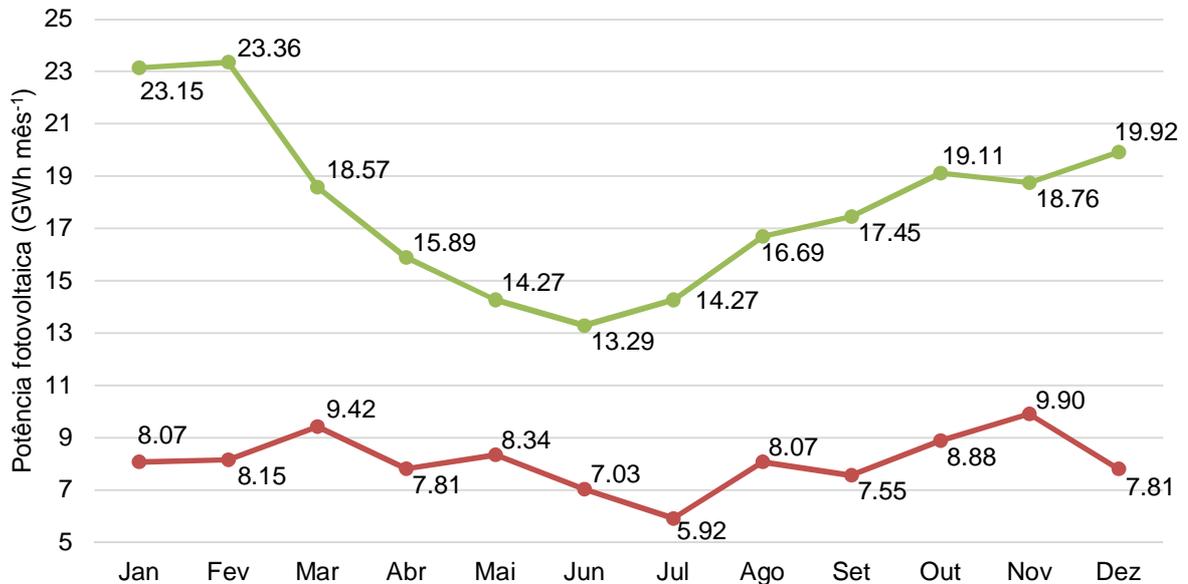


**Figura 23:** Variação da potência fotovoltaica média mensal, em Caraguatatuba – SP, entre 2000 a 2015, para a área considerada de 450.000 m<sup>2</sup>.

O mês de maior média de potência fotovoltaica é outubro, com 14,55 GWh  $\text{mês}^{-1}$ , seguido dos meses de dezembro e novembro. O mês de menor potência fotovoltaica média é junho com 10,26 GWh  $\text{mês}^{-1}$ . A potência fotovoltaica média mensal é de 12,85 GWh  $\text{mês}^{-1}$ . Assim, o valor médio anual do potencial fotovoltaico para o município é de 154,176 GWh  $\text{ano}^{-1}$ .

Este valor supre as necessidades atuais dos consumidores residenciais de 64.000 residências do município, que em 2015, correspondeu a 127 GWh, segundo dados de São Paulo (2015).

Avaliando-se os extremos históricos do intervalo de confiança para um projeto mínimo de usina de geração elétrica, verifica-se uma grande variabilidade na potência fotovoltaica mensal (Figura 24).



**Figura 21:** Variabilidade dos extremos históricos superiores e inferiores do intervalo de confiança com 5% de significância da potência fotovoltaica no município de Caraguatatuba – SP, entre 2000 a 2015, para a área considerada de 450.000  $\text{m}^2$ .

O mês de maior amplitude média observada entre o intervalo de confiança, foi o de fevereiro, com os extremos variando de 8,15 a 23,36 GWh  $\text{mês}^{-1}$ .

### 3.5. Cálculo do investimento

#### 3.5.1. Investimento na usina

O cálculo do investimento em uma usina de energia elétrica com fonte solar fotovoltaica inclui os itens apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7:** Itens de investimento em uma usina solar fotovoltaica.

Item	Subitens
1 – Aquisição de terreno (450.000 m <sup>2</sup> )	-
2 – Componentes	A – Módulos B – Inversores
3 – Demais custos	A – Equipamentos: estruturas metálicas para fixação dos módulos, cabos, disjuntores, quadros elétricos, sistema de monitoramento e sistema de segurança do local. B – Instalações: cerca do local, instalação de vigilância, sala de monitoramento, sala de reuniões, sala de refeições e instalações sanitárias. C – Serviços: o projeto básico e executivo de engenharia, autorização na ANEEL, licenciamento e instalação do projeto.

Não levando em consideração o custo do terreno, que tem valores muito variáveis dependendo da sua localização em cada região, o investimento é composto em cerca de 70% dos componentes (módulos e inversores) e 30% nos demais custos (ABINEE, 2012), com um valor total, para uma usina de 30 MW de potência, de cerca de R\$ 161 milhões em 2012. Atualmente, o valor para uma usina com a mesma potência é estimado em R\$ 120 milhões (SOLAR, 2016). Este valor está em consonância com a redução de 5% ano<sup>-1</sup>, anteriormente referida, para os custos dos componentes e pode observar-se essa evolução ocorre a alguns casos no Brasil desde a 1ª instalação (Tabela 8), em que também a redução de custos é função de economia de escala.

**Tabela 8:** Custo do investimento versus potência.

Ano de Construção	Local	Potência (MWp)	Investimento (Milhões R\$)	Redução do custo (%)
2011	Tauá - CE	1	11	-
2013	Tubarão - SC	3	30	10
2014	Taracatu - PE	11	54	45
2016	Nova Olinda - PI	292	1000	31

Fonte: Dados obtidos em Notícias Externas (ABSOLAR, 2016).

Embora reconhecendo que, pelas várias razões já apresentadas, os valores de investimento são variáveis no tempo, lugar e em escala, poder-se obter um valor de investimento para este projeto tendo por comparação a atual construção da usina de Nova Olinda, em Ribeira do Piauí – PI, pois como se pode-se observar (Tabela 9), os valores de Caraguatatuba são cerca de ¼ dos valores de Nova Olinda.

**Tabela 9:** Custo estimado do investimento.

Local	Geração de energia (GWh ano <sup>-1</sup> )	Residências	Investimento (Milhões R\$)
Ribeira do Piauí - PI	600	300.000	300
Caraguatatuba - SP	154	64.000	± 75

Fonte: Adaptado pela autora (www.ligasolar.com).

Desse modo, estima-se um investimento de cerca de 75 milhões de reais, com bases nos custos de 2015.

### 3.5.2. Custo de produção de sistemas fotovoltaicos

O custo de produção (CP) de um sistema fotovoltaico, expresso em R\$ por kWh produzido, pode ser calculado pela equação 08, conforme Abinee (2012).

$$CP = \frac{[CAPEX + VP_{(OPEX)}]}{EP} \quad (08)$$

, em que:

CP - Custo de produção (R\$ kWh<sup>-1</sup>);

CAPEX - Custos de investimento do sistema fotovoltaico (R\$);

VP<sub>(OPEX)</sub> - Valor presente de custos de operação e manutenção ao longo da vida útil da instalação (R\$);

EP – Energia produzida ao longo da vida útil da instalação (kWh).

No cálculo do custo de produção está considerado o investimento inicial e uma previsão sobre custos de operação e manutenção de 1% do CAPEX ao ano, ao longo da vida útil da instalação de 25 anos (ou seja, 25% em 25 anos) e uma redução da eficiência das células de 0,75% ano<sup>-1</sup> sobre valor original (100%). Logo, partindo de valores aproximados e referentes a 2015, obtém-se uma estimativa do Custo de Produção de:

$$CP = \frac{[75.000.000,00 + 25\% \cdot 75.000.000,00]}{25 \cdot 154.000.000}, \text{ portanto } CP = \text{R\$ } 0,024 \text{ kWh}^{-1}$$

A tarifa média cobrada pela Concessionária BANDEIRANTE ENERGIA S.A. que distribui energia elétrica no município de Caraguatatuba (ARSESP, 2016), é de R\$ 0,403 kWh<sup>-1</sup> (ANEEL, 2016). Assim, mesmo com uma margem de lucro de 100% sobre o custo de produção estimado da energia elétrica solar (o que equivaleria a uma cobrança de R\$ 0,048 kWh<sup>-1</sup>), a tarifa da energia elétrica convencional ainda seria 8 vezes maior.

### 3.5.3. Relação custo/benefício para o município

Para esta análise foram primeiramente separados os tipos de custos e benefícios considerados. Neste caso serão os seguintes: ambientais e econômicos.

#### 3.5.3.1. Custo/benefício ambiental

A ocupação da área de 45 ha no município, anteriormente identificada, não traz prejuízo ambiental por se tratar de área já desmatada e destinada à ocupação urbana futura.

Entretanto, o principal benefício se refere ao fato de que a produção local de energia elétrica solar fotovoltaica reduzirá o consumo da energia elétrica com base em outras fontes (hidrelétrica e/ou termelétrica) e, com isso, redução do volume de água em turbina e de área de inundação, no caso hidrelétrico, e menor produção de gases de efeito estufa, no caso termelétrico.

### 3.5.3.2. Custo/benefício econômico

Para esta análise é necessário saber quem fará o investimento. A razão desta afirmação é derivada do fato de que o benefício econômico é da entidade que faz o investimento.

Este tipo de investimento tem sido realizado pela iniciativa privada e, nesse caso, os benefícios para o município são exclusivamente resultantes da criação de empregos na fase de construção da usina

Quanto aos empregos permanentes resultantes da operação e manutenção da usina, foi observado em visita de campo à usina de Tanquinho da CPFL, em Campinas - SP, que existe somente um vigilante terceirizado, trabalhando em regime de 12 x 24 horas e a limpeza é realizada periodicamente por um técnico. Também verificou-se que o controle operacional é realizado à distância por técnicos, a partir de um centro de controle das operações da usina, localizada na sede da distribuidora. E sempre que necessário, um técnico de manutenção se desloca às instalações da usina.

Um investimento dessa natureza não pode ser exclusivo da Prefeitura, pois trata-se de uma atividade de produção e distribuição de energia e, para tal, tem de existir a entidade distribuidora de energia somente ou em parceria. No entanto, se o investimento for de uma EPP (Empresa Pública – Privada), em uma parceria com a Prefeitura, parte dos lucros dessa parceria serão uma parte da arrecadação do município.

A legislação atual (ANEEL, 2012b) somente obriga as distribuidoras a receber e compensar com a sua energia aos consumidores finais que construam e mantenham as centrais de energia solar fotovoltaica próprias, incluindo o Poder Público ou o Serviço Público. Neste último caso, assiste-se a essa instalação em universidades públicas e estádios municipais recentemente construídos para a Copa de 2014 e outros casos. Este sistema é conhecido também com o nome “*Grid-tie*”. O recebimento, por parte de uma distribuidora, da energia solar excedente de uma central e o respectivo crédito, ou seja, essa a troca de energia entre duas entidades é regulamentada pela RN 482/12 (ANEEL, 2012b). E a fatura desse saldo, se a favor da distribuidora, está isento de impostos como se pode ver seguidamente.

Esta “compensação de energia” também é conhecida como “créditos de energia” ou “incentivo à energia solar”. Tal situação poderia ser aplicada à Prefeitura

se a usina fosse para consumo próprio, sem distribuição a terceiros, mas a referida resolução RN 482/12 (ANEEL, 2012b) também limita a potência da central a uma potência de 5 kW, valor demasiado baixo para o consumo do município que em 2015, como visto anteriormente, que foi superior a 21.000 MWh para o Poder Público mais o Serviço Público, sem ter em conta a Iluminação Pública com valor um pouco inferior.

Por outro lado, pelo Decreto nº 61.439/2015 (SÃO PAULO, 2015), como a maioria dos estados brasileiros, isentou de ICMS a energia elétrica fornecida pelas distribuidoras na já referida “compensação de energia”, isto significa um prejuízo para a Prefeitura e um benefício para o produtor dessa energia. Do mesmo modo ocorre com o PIS e COFINS, conforme Lei Federal nº 13.169 de 2015 (BRASIL, 2015), e também na aquisição de equipamentos com a referida finalidade (produção de energia solar fotovoltaica).

Por último, o terreno anteriormente localizado neste trabalho, ou qualquer outro que pudesse satisfazer as condições exigidas, é propriedade privada e, por isso, a Prefeitura não possui essa vantagem para a negociação de uma EPP com a sua liderança.

#### **3.5.4. Benefício financeiro para o consumidor**

No caso de o investimento ser resultante de uma EPP, uma parceria com a Prefeitura poderá esperar-se um benefício imediato para o consumidor final, como a eliminação ou diminuição da CIP (Contribuição de Iluminação Pública), paga por todos os consumidores para custear a iluminação pública do município (CARAGUATATUBA, 2013).

A CIP tem 4 Tipos de Consumidores e diversos escalões em cada classe. A título de exemplo, no caso dos Consumidores Residenciais de Baixa Tensão, existem 17 escalões que variam de R\$ 6 a R\$ 98. No entanto, nas circunstâncias da atual economia e nos cortes de arrecadação municipal, é difícil perspectivar que a Prefeitura prescindia daquela arrecadação que, no ano de 2015, foi de cerca de 6 milhões de reais, em um orçamento total de 540 milhões.

A energia resultante de uma usina solar é chamada no Brasil de “energia de reserva” por ser uma garantia de energia, ou seja, derivada de uma fonte renovável. Mas se de um ponto de vista imediato não se observam vantagens econômicas para o consumidor, são diversas as consequências dessa iniciativa que podem resultar em

benefícios financeiros, tais como: (1) mais empregos no município, no país e na cadeia produtiva dos componentes, significando melhoria econômica. Segundo a ABINEE (2012) em 2011, esse valor foi de 54 empregos por MW instalado. Mas esse valor é variável; (2) menor dependência das fontes tradicionais de energia, o que pode resultar em economia de água e a manutenção de seu custo; (3) menor utilização de termelétricas e, conseqüentemente, o não agravamento do custo da energia com as bandeiras amarela e vermelha; e (4) menor probabilidade de interrupções no abastecimento devido aos acidentes nas linhas de transporte.

## 4. CONCLUSÕES

No município de Caraguatatuba – SP foi possível determinar um potencial geográfico com área mínima contínua para geração de energia elétrica solar de 450.000 m<sup>2</sup>. O potencial físico determinado para o município foi de radiação solar média anual de 4,67 kW m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.

A partir dos potenciais físico e geográfico, a estimativa do potencial fotovoltaico para o município é de média anual de 154,176 GWh, sendo suficiente para suprir a demanda atual de consumo residencial do município.

A construção de uma usina solar fotovoltaica será sempre um benefício para o município por diversas razões:

- minimizar o consumo de energia elétrica com origem em fontes não renováveis e seus efeitos ambientais nocivos;
- diminuição de consumo de energia com produção distante do município e dos consequentes riscos de interrupção na transmissão;
- mais uma indústria instalada com o consequentes lucros para uma empresa particular, pública ou parceria pública privada no município, pois a produção desta energia tem menores custos de instalação e de manutenção que a das atuais fontes;
- custo de energia menos agravada com bandeiras tarifárias a que está sujeita a atual energia consumida ou contribuição para a diminuição do uso no país de centrais termelétricas.

## REFERÊNCIAS

- ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2016.
- ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Notícias Externas**. 2016. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas>>. Acesso em: 22 set. 2016.
- ALMEIDA, Leonardo Augusto Rampazo. **Estudo da viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição de um banco de resistências elétricas de aquecedores por uma caldeira alimentada por biomassa de paletes residuais na indústria de laminação**. 2012. Disponível em: <[http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/117994/almeida\\_lar\\_tcc\\_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/117994/almeida_lar_tcc_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 28 jul. 2016.
- ALTERNATIVIDADES. **Painel solar giratório pode ser a solução para aproveitar ao máximo o poder do sol**. 13/out/2016. Disponível em: <<https://www.alternatividades.com.br/inovacao/painel-solar-giratorio-pode-ser-solucao-para-aproveitar-ao-maximo-o-poder-do-sol/>>. Acesso em: 14 out. 2016.
- ALVES, G. J. **Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica nas energias renováveis: o potencial da energia solar na ilha de São Vicente – Cabo Verde**. 2013. Dissertação (Mestrado em Sistema de Informação Geográfica e Ordenamento do Território). FLUP - Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Portugal. 2013.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002. 153 p.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 390**, de 15 de Dezembro de 2009. Brasília: ANEEL, 2009.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas - Energia Nuclear**. Brasília, 2009. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas\\_par3\\_cap8.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par3_cap8.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2016.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 481**, de 17 de Abril de 2012. Brasília: ANEEL, 2012a.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482**, de 17 de Abril de 2012. Brasília: ANEEL, 2012b.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 687**, de 24 de Novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012 e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília: ANEEL, 2015.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Ranking das tarifas**. Brasília:

ANEEL, 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>>. Acesso em: 14 fev 2016.

ARSESP – Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo. **Mapa da área de concessão de distribuição de energia elétrica**. São Paulo: ARSESP, 2016.

AVERMA - **Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente**. Argentina, v. 14, n. 4, p. 85-92, 2010.

BARBOSA, E. M. Souza; LIMA, F. R. Andrade; PEREIRA, O. Soliano. **Potencial Técnico de SFCR** - Determinação da Densidade de Potência Específica para a Região Urbana de Recife. AVERMA - **Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente**. Argentina, v. 14, 2010.

BERMANN, C. Crise Ambiental e as energias renováveis. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 60, n. 3, 2008, p. 20-29.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei nº 9.074**, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Brasília – DF. 1996.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Energia Elétrica. Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema elétrico Brasileiro**. Jan. 2015. Brasília – DF. 2015.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei nº 13.169**, de 6 de outubro de 2015. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2015/Lei/L13169.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13169.htm)>. Acesso em: 15 fev. 2017.

BRITO, Miguel C.; SILVA, José A. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade. **O instalador**, Lisboa, Julho/2006.

CARAGUATATUBA (Município). **Lei Complementar nº 42**, de 24 de novembro de 2011. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município da Estância Balneária de Caraguatatuba e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.legislacaoonline.com.br/caraguatatuba/images/leis/html/C422011.html>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

CARAGUATATUBA (Município). **Lei Complementar nº 52**, de 17 de dezembro de 2013. Atualiza a Contribuição de Iluminação Pública prevista no artigo 149-A da Constituição Federal. Disponível em: <<http://www.legislacaocompilada.com.br/caraguatatuba/Arquivo/Documents/legislacao/html/C522013.html>>. Acesso em: 18 set. 2016.

CASTRO, Rui M.G. **Introdução à energia fotovoltaica**. Universidade Técnica de Lisboa – IST. DEEC / Secção de Energia. Ed. Zero. Nov. 2002.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. **Fórum Mineiro de Energia Renovável**. 1º Minas Meeting. Semana do Meio Ambiente 2014. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/FORUMMINEIRO2014/Apresentacoes/PAINEL5/>>

cemig-marco%20aurelio.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2017.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Energia solar fotovoltaica no**

**Brasil**: subsídios para tomada de decisão: Serie Documentos técnicos 2. Brasília, DF: CGEE, 2010.

CLIMATE-DATA. **Clima**: Caraguatatuba. Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/location/14939/>>. Acesso em: 16 set. 2016.

CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Radiação Solar e Terrestre**. 2016. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao/>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

DIDONÊ, Débora; SARMAZ, Leandro; SANTOS, Priscilla; VASCONCELOS, Yuri. Quais são os tipos de energia limpa existentes? **Vida Simples**. Londrina-PR. Abr. 2009. Disponível em: <[http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/conteudo\\_448632.shtml](http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/conteudo_448632.shtml)>. Acesso em: 12 ago. 2016.

EMETERE, M. E.; AKINYEMI, M. L. **Prospects of Solar Energy in the Coastal Areas of Nigeria**. Department of Physics, Covenant University Canaan land, Ota, Nigeria. 2016.

ENGIE. **Cidade Azul (Solar)**. 2016. Disponível em: <<http://www.engieenergia.com.br/wps/portal/internet/parque-gerador/usinas-complementares/solar-cidade-azul>>. Acesso em: 27 set. 2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo de eletricidade recua 2,1% em 2015**. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica. Rio de Janeiro – RJ. Ano IX. Nº 100. Jan. 2016.

ÉPOCA NEGÓCIOS. **Estatual italiana inicia obras da maior usina solar da América Latina**. 05/07/2016. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Empresa/noticia/2016/07/estatal-italiana-inicia-obras-da-maior-usina-solar-da-america-latina.html>>. Acesso em 23 ago. 2016.

FALCÃO, Vivienne Denise. **Fabricação de Células Solares de CdS/CdTe**. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Ciência dos Materiais. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 2005. 120 p.

FARIAS, Leonel Marques; SELLITTO, Miguel Afonso. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Liberato**, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun. 2011.

FERNANDES, Carlos Arthur de Oliveira; GUARONGHI, Vinícius Mendes. **Energia Solar**. 2012. In: Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/esolar/esolar.html>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

FRIEDE, Reis. Cidadania e Responsabilidade Socioambiental. **Novos Estudos Jurídicos** - Eletrônica, v. 20, n. 2, p. 810-825, mai./ago., 2015.

GALDINO, M. A.; LIMA, J. H. G.; RIBEIRO, C.M.; SERRA, E. T. O Contexto das Energias Renováveis no Brasil. **Revista da DIRENG**. Rio de Janeiro, p. 17-25. 2000.

GLOBOSAT PLAY. Cidades e Soluções. **As novas tecnologias sobre energia solar no Brasil**. 25/07/2016. Disponível em:  
<<http://globosatplay.globo.com/globonews/v/5189051/>>. Acesso em: 14 ago. 2016.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energy and environment in Brazil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, 2007, p. 7-20.

GOOGLE EARTH. **Mapa Satélite**. 2016. Disponível em:  
<<http://www.gosur.com/map/?gclid=CIXyvdkrg8gCFRIJkQodDmcp1A&z=14&ll=-23.571391,-46.606458&t=hybrid&lang=pt>>. Acesso em: 22 jun. 2016.

GUERRA, S.; CARVALHO, A.V. Um paralelo entre os impactos das usinas hidrelétricas e termoelétricas. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 4, 1995, p. 83-90.

G1.GLOBO.COM. **Primeira usina solar comercial do Brasil atrai negócios para o Ceará**. 12/12/2011. Disponível em:  
<<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2011/12/primeira-usina-solar-comercial-do-brasil-atrai-negocios-para-o-ceara.html>>. Acesso em 23 ago. 2016.

G1.GLOBO.COM. **Leilão de energia de reserva contrata 1,47 GW em usinas eólicas e solares**. 13/11/2015. Disponível em:  
<<http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/11/leilao-de-energia-de-reserva-contrata-14-gw-em-usinas-eolicas-e-solares.html>>. Acesso em 23 ago. 2016.

G1.GLOBO.COM. **Nova usina solar flutuante no AM deve atender 9,5 mil famílias até 2017**. 04/03/2016. Disponível em:  
<<http://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2016/03/nova-usina-solar-flutuante-no-am-deve-atender-95-mil-familias-ate-2017.html>>. Acesso em 23 ago. 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM**. Caraguatatuba. 2016. Disponível em:  
<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=351050&idtema=118&search=sao->>>. Acesso em: 11 set. 2016.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Radiação solar e terrestre**. São José dos Campos: DAS/INPE, 2016. Disponível em:  
<http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao/>. Acesso em: 04 abr 2016.

JORNAL DO SERTÃO. **Taracatu será pioneira na geração de energia solar**. Edição 112, 1ª Quinzena, Maio 2015. Disponível em:  
<[https://issuu.com/jornaldosertaope/docs/jornal\\_do\\_sertao\\_112\\_maio](https://issuu.com/jornaldosertaope/docs/jornal_do_sertao_112_maio)>. Acesso em 23 ago. 2016.

LAMARÃO, Sérgio Tadeu de Niemeyer. **A energia elétrica e o parque industrial carioca (1880-1920)**. Rio de Janeiro: CPDOC/FGV, 2012. Disponível em:  
<[http://www.ub.edu/geocrit/Simposio/cLamarao\\_Aenergia.pdf](http://www.ub.edu/geocrit/Simposio/cLamarao_Aenergia.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2016.

LEONARDI, Ana Carolina. Cristais podem fazer energia solar ser a principal do mundo. **EXAME.com**. 27/set/2016. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/cristais-podem-fazer-energia-solar-ser-a-principal-do-mundo>>. Acesso em: 4 out. 2016.

LOPEZ, A.; ROBERTS, B.; HEIMILLER, D.; BLAIR, N.; PORRO, G. **U.S. Renewable energy technical potentials: a GIS-based analysis**. Denver: National Renewable Energy Laboratory, 2012. 32 p.

MAGNUS, D.; BECKER, D. P.; TAVARES, A. A. Estudo da inserção de usinas fotovoltaicas na matriz elétrica brasileira: 2015 – 2050. **Vincci - Periódico Científico da Faculdade SATC**, v. 1, n. 1, p. 75-98, jan./jul., 2 016.

MARIANO J. D. A.; CAMPOS, H. M.; TONIN, F. S.; URBANETZ JR, J.; CASAGRANDE JR, E. F. Performance of photovoltaic systems: Green office's case study approach. **International Journal of Energy and Environment**. v. 7, n. 2, p.123-136, 2016.

NASA - United States National Aeronautics and Space Administration. **ASTER Global Digital Elevation Map Announcement**. Pasadena: NASA, 2010. Disponível em: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>. Acesso em: agosto de 2011.

NERY JUNIOR, H. **Influência do relevo sobre a distribuição espacial da precipitação no município de Caraguatatuba – SP**. Dissertação (mestrado). Universidade Camilo Castelo Branco, Fernandópolis, São Paulo, 2015. 32 p.

ONU BR – Nações Unidas no Brasil. **Acordo global sobre mudança do clima é adotado em Paris**. 12 dez. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/cop21/>>. Acesso em: 17 jul. 2016.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PESSOA, Viviany Silva. **Análise do conhecimento e das atitudes frente às fontes renováveis de energia**: uma contribuição da Psicologia. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB. 2011. 272 p.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2014. 529p.

REIS, Leonardo. **História da Eletricidade**. 23.julho.2016. Disponível em: <<http://www.mundociencia.com.br/fisica/historia-da-eletricidade/>>. Acesso em: 10 set. 2016.

SANT'ANNA NETO, J. L. **A climatologia geográfica no Brasil**: origem e contexto histórico. In: Amorim, Sant'anna Neto & Monteiro (orgs.). Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso. São Paulo: Outras Expressões, 2013, p. 11-73.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Saneamento e Energia. **Anuário estatístico de energéticos por município no Estado de São Paulo**. 2014. Secretaria de Saneamento e Energia. Disponível em:

<<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/40.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2016.

SÃO PAULO (Estado). Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. **Decreto Nº 61.439, de 19 de Agosto de 2015**. Introduz alteração no Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação – RICMS. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2015/decreto-61439-19.08.2015.html>>. Acesso em: 18 fev. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia e Mineração. **Consumo do Município: CARAGUATATUBA – 2015**. Disponível em: <<http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalsev2/index.html>>. Acesso em: 13 set. 2016.

SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Fevereiro/2015. Texto para Discussão nº 166. Disponível em: <[www.senado.leg.br/estudos](http://www.senado.leg.br/estudos)>. Acesso em: 3 fev. 2015.

SOLAR. **Quanto custa a energia solar fotovoltaica**. 2016. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>>. Acesso em: 7 set. 2016.

SOLARGIS. **World solar resource maps: Global Horizontal Irradiation (GHI)**. 2016. Disponível em: <<http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/world>>. Acesso em: 17 set. 2016.

SOUSA, A.; FIRMINO, M.; MELO, Á.; RAIMUNDO, F.; GRILO, J.; MOREIRA, N. F.; CAMPOS, T. A. **Energia Solar: Microgeração**. Dissertação de Mestrado. FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto – Portugal. 2015. 30 p. Disponível em: <[http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/submit\\_14\\_15/uploads/relat\\_1MIEEC04\\_2.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/submit_14_15/uploads/relat_1MIEEC04_2.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2016.

VALLÊRA, A. M.; BRITO, M. C. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta de Física**, Lisboa, v. 29, n. 1-2, 2006, p. 10-15.

VALOR ECONÔMICO. **CPFL Renováveis**. 2015. Disponível em: <[http://www.valor.com.br/sites/default/files/upload\\_element/11.11.2015\\_cpfl\\_renovaveis\\_release\\_3t15.pdf](http://www.valor.com.br/sites/default/files/upload_element/11.11.2015_cpfl_renovaveis_release_3t15.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2016.

VICHI, Flavio Maron; MANSOR, Maria Teresa Castilho. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.