



INSTITUTO FEDERAL  
Fluminense  
Campus Macaé

MINISTÉRIO DA  
EDUCAÇÃO



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MODALIDADE PROFISSIONAL

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA  
ATRAVÉS DO USO DE FONTES RENOVÁVEIS NO INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE  
CAMPUS MACAÉ

DIEGO FERNANDO GARCIA

MACAÉ-RJ

2018

DIEGO FERNANDO GARCIA

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA  
ATRAVÉS DO USO DE FONTES RENOVÁVEIS NO INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE  
CAMPUS MACAÉ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Orientador: Dr. Marcos Antônio Cruz Moreira

Coorientador: Dr. Augusto Eduardo Miranda Pinto

MACAÉ-RJ

2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

G216a Garcia, Diego Fernando, 1980-.  
Avaliação da viabilidade da geração distribuída de energia através do uso de fontes renováveis no Instituto Federal Fluminense Campus Macaé / Diego Fernando Garcia. – Campos dos Goytacazes, RJ, 2018.  
xi, 56 f.: il. color.

Orientador: Marcos Antônio Cruz Moreira, 1964-.  
Coorientador: Augusto Eduardo Miranda Pinto, 1963-.

Dissertação (Mestrado). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Campos dos Goytacazes, RJ, 2018.  
Inclui bibliografia.

1. Geração distribuída de energia elétrica - Brasil. 2. Energia - Fontes alternativas. 3. Sistemas de energia elétrica. 4. Energia solar. 5. Energia eólica. 6. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (Campus Macaé). I. Moreira, Marcos Antônio Cruz, 1964-, orient. II. Pinto, Augusto Eduardo Miranda, 1963-, coorient. III. Título.

CDD 621.3121

23.ed.

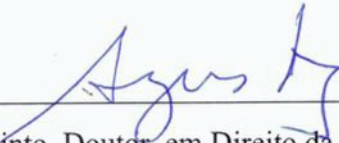
Dissertação intitulada **AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ATRAVÉS DO USO DE FONTES RENOVÁVEIS NO INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE CAMPUS MACAÉ**, elaborada por **DIEGO FERNANDO GARCIA** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Aprovado em: 31/07/2018

Banca Examinadora:



\_\_\_\_\_  
Marcos Antônio Cruz Moreira, Doutor em Engenharia Elétrica/Universidade Federal Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador



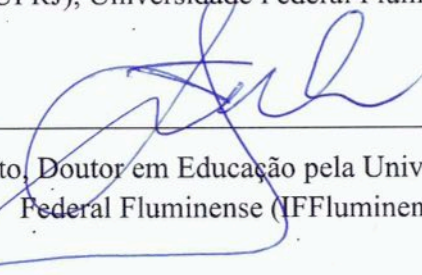
\_\_\_\_\_  
Augusto Eduardo Miranda Pinto, Doutor em Direito da Cidade/ Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Coorientador



\_\_\_\_\_  
Edwin Benito Mitacc Meza, Doutor em Computação/ Universidade Federal Fluminense/ Universidade Federal Fluminense



\_\_\_\_\_  
Iara Tammela, Doutora em Engenharia de Produção / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal Fluminense



\_\_\_\_\_  
Severino Joaquim Correia Neto, Doutor em Educação pela Univeridade Americana (UA)/ Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar meus agradecimentos aos que contribuíram para a realização desta dissertação:

Primeiramente à Deus, por me sustentar e cuidar todos os dias da minha vida e por me capacitar neste desafio.

À minha esposa, Janine, pelas horas que você passou cuidando dos nossos filhos enquanto eu desenvolvia essa dissertação. Mas acima de tudo agradeço por ser minha companheira, amiga, meu suporte fiel, esposa e mãe dos nossos filhos.

Aos meus filhos, Nina e Nicolas. Vocês são tesouros especiais e trazem muita alegria para minha vida e sem alegria não seria possível terminar este trabalho.

Aos meus pais, João e Marlene, por serem um exemplo vivo de amor, cuidado, paciência, integridade e generosidade. Obrigado por mesmo estarem distante fisicamente, estarem presentes através de suas orações.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcos Antônio Cruz Moreira, por sempre estar disponível às minhas dúvidas, por me mostrar diversas oportunidades na vida acadêmica e ser um ótimo de exemplo de professor e gestor público.

Ao meu coorientador, Prof. Augusto Miranda Pinto, por me ajudar desde o início do Mestrado em diversas situações e também pelo seu profissionalismo e dedicação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, não apenas pelo ensino, mas por compartilharem tão vasta experiência nas suas diversas áreas de conhecimento.

Aos meus amigos e irmãos, André Santos, Evandro Brandão, Jonatas Aguiar, Marcelo Kautscher, e Philipe Sousa, por sempre me animarem a permanecer na fé e serem suporte.

## LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE FIGURAS ARTIGO 1

Figura 1: Participação de Energias Renováveis no Brasil e no Mundo .....	8
Figura 2: Matriz Elétrica Brasileira. ....	9
Figura 3: Geração Distribuída.....	11
Figura 4: Modalidade de geração distribuída até maio 2017 .....	11
Figura 5: Número de micro e microgeradores até maio 2017 .....	12
Figura 6: Potência instalada por fonte em MW .....	13
Figura 7: Classes de consumo dos consumidores.....	13
Figura 8: Radiação Direta, Difusa e Refletida.....	15
Figura 9: Cartograma da Irradiação Solar Média Anual em MJ/m <sup>2</sup> .dia. ....	16
Figura 10: Cartograma do Potencial Eólico Brasileiro.....	18
Figura 11: Mapa do Potencial Eólico do Estado do Rio de Janeiro.....	19
Figura 12: Tipos de aerogeradores.....	21
Figura 13: Consumo Ponta e Fora Ponta 2016. ....	23
Figura 15: Curva de Potência do aerogerador WT15000 .....	26
Figura 14: Consumo e Geração através da Energia Solar.....	27
Figura 15: Consumo e Geração através da Energia Eólica.....	28

### LISTA DE FIGURAS ARTIGO 2

Figura 1: Mapa do Potencial Eólico do Estado do Rio de Janeiro.....	39
Figura 2: Potencial de Geração Fotovoltaica. ....	40
Figura 3: Consumo Ponta e Fora Ponta em 2017. ....	44
Figura 4: Sistema de Geração Distribuída proposto para o IFF.....	46
Figura 5: Potência dos três sistemas. ....	48

## LISTA DE TABELAS

### LISTA DE TABELAS ARTIGO 1

Tabela 1: Levantamento do consumo de energia elétrica.....	22
Tabela 2: Médias das faturas de energia elétrica. ....	23
Tabela 3: Velocidade do vento e suas frequências. ....	25
Tabela 4: Fator de Capacidade dos aerogeradores.....	26

### LISTA DE TABELAS ARTIGO 2

Tabela 1: Unidades Consumidoras com Geração Distribuída. ....	38
Tabela 2: Levantamento do consumo de energia elétrica.....	43
Tabela 3: Média das faturas de energia elétrica.....	44
Tabela 4: Tarifas utilizadas no projeto.....	45
Tabela 5: Solução ideal calculada.....	47
Tabela 6: Desempenho dos Módulos Fotovoltaicos. ....	48
Tabela 7: Desempenho do sistema eólico.....	49
Tabela 8: Desempenho do Conversor.....	49
Tabela 9: Desempenho do banco de baterias.....	50
Tabela 10: Emissões do Sistema.....	50

**LISTA DE SÍMBOLOS**

m/s – metro por segundo

kW – quilowatt

MW - Megawatt

kWh – quilowatt hora

GWp – Gigawatt pico



**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANEEL - Agência Nacional Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

EPE – Empresa de Pesquisas Energéticas

GD – Geração Distribuída

PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios

PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

PROEÓLICA - Programa Emergencial de Energia Eólica

REN - Resolução Normativa

UC – Unidade Consumidora

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA  
ATRAVÉS DO USO DE FONTES DE RENOVÁVEIS NO INSTITUTO FEDERAL  
FLUMINENSE CAMPUS MACAÉ**

**RESUMO**

Devido ao aumento crescente no preço da energia elétrica e às diversas ações do governo federal de redução do orçamento público, é necessário estudar alternativas e propostas que colaborem para a diminuir os gastos neste orçamento. Os gastos de energia elétrica no Instituto Federal Fluminense do Campus Macaé representaram 23% do orçamento total em 2017. Diante disso, o objetivo principal deste trabalho é avaliar a implantação de um sistema de geração distribuída utilizando fontes renováveis de energia no Instituto Federal Fluminense Campus Macaé, a partir de estudo de casos e de uma revisão de literatura em bases de pesquisa e banco de dados com a finalidade de evidenciar a possibilidade de redução de gastos com energia elétrica. O primeiro estudo avalia o potencial de um sistema de geração de energia solar, o segundo estudo avalia a potencial de um sistema de energia eólica e o terceiro, avalia a viabilidade técnica e econômica da combinação de um sistema híbrido solar-eólico. Constatou-se com a pesquisa que um sistema de geração distribuída é viável no Campus Macaé pois possui um grande potencial de geração de energia, podendo suprir suas próprias necessidades energéticas através de fontes renováveis.

**Palavras-chave:** Fontes Renováveis. Energia Solar. Energia Eólica. Geração Distribuída

***EVALUATION OF THE FEASIBILITY OF ENERGY DISTRIBUTED GENERATION  
THROUGH THE USE OF RENEWABLE SOURCES AT THE FLUMINENSE FEDERAL  
INSTITUTE CAMPUS MACAÉ***

***ABSTRACT***

*Due to the increasing increase in the price of electric energy and the various actions of the federal government to reduce the public budget, it is necessary to study alternatives and proposals that collaborate to reduce the expenses in this budget. The energy expenditures at the Fluminense Federal Institute of the Campus Macaé represented 23% of the total budget in 2017. Therefore, the main objective of this work is to evaluate an installation of a distributed generation system, using renewable energy sources, at the Federal Fluminense Institute Campus Macaé, based on three studies and a literature review on research bases and data. The first study evaluates the potential of a solar power generation system, the second study evaluates the potential of a wind energy system and the third, assesses the technical and economic viability of the combination of a solar-wind hybrid system. It was verified with the research that a distributed generation system is feasible in Campus Macaé because it has a great potential of generation of energy, being able to supply its own energetic necessities through renewable sources.*

***Keywords:*** *Renewable Sources. Solar energy. Wind Energy. Distributed Generation.*

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vii
RESUMO.....	viii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
APRESENTAÇÃO.....	1
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 1: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ATRAVÉS DO USO DE FONTES SOLAR E EÓLICA NO INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE CAMPUS MACAÉ</b> .....	6
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	10
2.1. Geração Distribuída.....	10
2.2 Energia Solar.....	14
2.3 Energia Eólica.....	17
3. MATERIAL E MÉTODO.....	21
3.1 Pesquisa dos dados de consumo energético dos equipamentos elétricos.....	22
3.2 Levantamento dos dados da irradiação solar.....	24
3.3 Cálculo do potencial de geração de energia solar.....	24
3.4 Levantamento dos dados de velocidades do ventos da região.....	25
3.5 Estudo do aerogerador adequado para a região.....	26
3.6 Cálculo do potencial de geração de energia eólica.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Avaliação da geração de energia elétrica produzida pela Energia Solar.....	27
4.2 Avaliação da geração de energia elétrica produzida pela Energia Eólica.....	28
5. CONCLUSÃO.....	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 2: ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA HÍBRIDO SOLAR-ÉOLICO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO PÚBLICA</b> .....	34
1. INTRODUÇÃO.....	36
2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	37
3. OBJETIVOS.....	40
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	41

4.1 Estudo do Software Homer Pro Energy.....	41
4.2 Levantamento dos dados da Instituição de Ensino .....	43
4.3 Levantamento dos dados dos equipamentos do sistema de geração distribuída.....	45
4.4 Simulação do Sistema de Geração Distribuída.....	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
6. CONCLUSÃO .....	51
7. REFERÊNCIAS.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA DISSERTAÇÃO .....	54

## APRESENTAÇÃO

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) a implantação da Geração Distribuída vem ocorrendo no Brasil decorrente da necessidade dos consumidores em diminuir os custos com o suprimento de energia elétrica, diante do crescente aumento dos preços aplicados pelas concessionárias, conscientização dos problemas ambientais e também ao progresso da tecnologia eletrônica. (INEE, 2001).

A Geração Distribuída é uma tendência em todos os países, alavancada pela redução de custos das tecnologias de geração de menor escala, alinhada com as restrições ambientais impostas às grandes usinas hidrelétricas, devido aos prejuízos na fauna e flora, e às grandes termoelétricas, devido à soltura de gases de efeito estufa, como óxidos e dióxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido e dióxido de carbono e particulados. (CRUZ, 2013)

Segundo Tolmasquim (2003), o sol é uma das fontes de energia mais promitente para encarar as possíveis crises de energia deste milênio, visto que existem técnicas disponíveis para exploração desta fonte energética. Segundo Pereira *et al* (2006), uma boa parte do território brasileiro é elegível à expansão do aproveitamento do recurso solar pois a faixa de variação da irradiação global horizontal é de 1.500 a 2.200 kWh/m<sup>2</sup>.

Os estudos do Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro mostram que a região litorânea da região norte fluminense e a da região dos lagos possuem o melhor potencial eólico do estado do Rio de Janeiro. (AMARANTE, 2002).

O Instituto Federal Fluminense (IFF) é um dos 38 institutos criados pelo Governo Federal em dezembro de 2008, a partir de CEFETs e Escolas Técnicas. O IFF possui 13 Campi distribuídos em todo interior do Estado do Rio de Janeiro. O Campi escolhido para este estudo é o Campus Macaé localizado na região norte fluminense na cidade de Macaé que atua nos três níveis da formação profissional. Os cursos técnicos oferecidos são os de Eletrônica, Eletromecânica, Eletrotécnica, Automação Industrial, Informática, Segurança do Trabalho e Meio Ambiente. De nível superior, a Engenharia de Controle e Automação Industrial e Engenharia Elétrica. Na área de pós-graduação *Stricto Sensu* conta com o Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental.

Como principais fontes bibliográficas buscou-se artigos de periódicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado. A pesquisa foi realizada a partir do site do Portal de Periódicos Capes, nas base de dados “*Google Scholar*”, no período de 01 a 05 de julho de 2018, tendo por objetivo buscar identificar documentos relacionados ao tema da pesquisa através das seguintes palavras-chave: geração distribuída, energia eólica, aerogeradores, turbina eólica, energia solar, painel fotovoltaico, *software homer*, *grid-connected*, *PV/Wind*, *feasibility* e *wind turbine*.

Através das palavras-chave acima descritas e em atendimento aos requisitos do presente trabalho alguns critérios foram necessários à identificação dos documentos. De acordo com Thomé *et al* (2016), a revisão dos resumos é necessária para confirmar a inclusão do documento dentro dos critérios de busca. Os critérios de inclusão foram: documentos que apresentassem estudos de caso referente à implantação de sistemas de geração distribuída, através de módulos fotovoltaicos, aerogeradores e sistemas híbridos (com módulos fotovoltaicos e aerogeradores juntos), documentos que projetassem sistemas conectados a rede elétrica (*on-grid*) e documentos que apresentassem avaliações de viabilidade.

A Tabela 1 ilustra os documentos que apresentam estudos de casos referente a implantação de módulos fotovoltaicos ordenados por quantidade de citações vinculadas no *Google Scholar*.

**Tabela 1** – Estudos de caso de implantação de módulos fotovoltaicos

Ordem	Documento	Autores	Título	Ano	Citações
1	Artigo	Liu, G. <i>et al</i>	Techno-economic simulation and optimization of residential grid-connected PV system for the Queensland climate	2012	83
2	Artigo	Tarigana, E. Djuwaria, Kartikasari, F. D.	Techno-economic Simulation of a Grid-connected PV System Design as Specifically Applied to Residential in Surabaya, Indonesia	2015	26
3	Artigo	Kebede, K. Y.	Viability study of grid-connected solar PV system in Ethiopia	2015	25
4	Artigo	Hasan, M. , Khan F.	A Comparative Study on installation of Solar PV System for Grid and Non Grid Rural Areas of Bangladesh	2012	18
5	Artigo	El-Tous, Y.	A Study of a Grid-connected PV Household System in Amman and the Effect of the Incentive Tariff on the Economic Feasibility	2012	18
6	Dissertação Mestrado	Salamoni, I. T.	Metodologia para cálculo de geração fotovoltaica em áreas urbanas aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte	2004	16
7	Dissertação Mestrado	Nascimento, L. C.	A avaliação de longo prazo de um sistema fotovoltaico integrado à edificação urbana e conectado à rede elétrica pública	2013	14
8	Artigo	Dassi, J. A. <i>et al</i>	Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil	2015	8
9	Artigo	Spaduto, R. <i>et al</i>	Projeto de um sistema fotovoltaico de 2, 16 kWp conectado à rede elétrica	2013	5
10	Dissertação Mestrado	Ladeira, J. L. F.	Análise técnico-econômica sobre a viabilidade de implantação de sistemas de geração fotovoltaica distribuída no Brasil	2013	4

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018

Na Tabela 1 foram encontrados estudos casos em várias regiões da América Latina, Ásia e Europa. Liu, G. *et al* (2012) constatou que a implantação de um sistema de geração distribuída é

eficaz para reduzir as faturas de energia elétrica. No artigo de Tarigana (2015), um sistema fotovoltaico conectado à rede não é viável para atender uma casa residencial sem incentivos financeiros do governo da Indonésia. Os estudos de caso realizados por Kebede (2015), Hasan (2012), El-Tous (2012), Dassi *et al* (2015), demonstraram viabilidade na implantação de sistemas fotovoltaicos. Na dissertação de Salamoni (2004) foi realizado um estudo de geração fotovoltaica nas zonas urbanas das cidades Belo Horizonte e Florianópolis evidenciando bons potenciais de geração. Na avaliação de Nascimento (2013), a geração fotovoltaica no Brasil apresenta elevados índices de confiabilidade e desempenho. Na análise de Landeira (2013), o alto valor do câmbio e os impostos prejudicam a importação dos equipamentos fazendo com que a viabilidade de um sistema de geração distribuída fique comprometida.

A Tabela 2 apresenta os documentos que apresentam estudos de casos referente a implantação de aerogeradores ordenados por quantidade de citações vinculadas no *Google Scholar*.

**Tabela 2** – Estudos de caso de implantação de aerogeradores

Ordem	Documento	Autores	Título	Ano	Citações
1	Artigo	G.J. Dalton, D.A. Lockington, T.E Baldock	Case study feasibility analysis of renewable energy supply options for small to medium-sized tourist accommodations	2009	145
2	Artigo	Mostafaeipour A., <i>et al</i>	Wind energy feasibility study for city of Shahrabak in Iran	2011	129
3	Artigo	Lu,L. , Ip K.Y.	Investigation on the feasibility and enhancement methods of wind power utilization in high-rise buildings of Hong Kong	2009	103
4	Artigo	Shafiullah, G.M. , <i>et al</i>	Prospects of renewable energy – a feasibility study in the Australian context	2012	85
5	Artigo	Mohammadi K., Mostafaeipour A.	Using different methods for comprehensive study of wind turbine utilization in Zarrineh, Iran	2013	68
6	Artigo	Ali Mostafaeipour	Economic evaluation of small wind turbine utilization in Kerman, Iran	2013	60
7	Artigo	Mohammadi K., Mostafaeipour A.	Economic feasibility of developing wind turbines in Aligoodarz, Iran	2013	57
8	Artigo	Lima, L.A. Bezerra Filho, C. R.	Wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo – Pernambuco, Brazil	2010	52
9	Artigo	Bortolini M., <i>et al</i>	Performance and viability analysis of small wind turbines in the European Union	2014	42
10	Artigo	Prodromidis,G.N., Coutelieris F.A.	A comparative feasibility study of stand-alone and grid connected RES-based systems in several Greek Islands	2011	37

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018



Na Tabela 2 foram encontrados estudos de caso de implantação de aerogeradores nos seguintes países: Brasil, Grécia, Irã, Austrália e China. Dalton *et al* (2009) constatou que para hotéis de pequeno a médio porte a energia eólica é mais viável economicamente que a energia solar. Mostafaeipoura *et al* (2011) sugere a instalação de pequenas turbinas para suprimento de energia elétrica para edifícios públicos e casas. Os estudos de Lu e Ip (2009), Shafiullah *et al* (2012), Mohammadi (2013), Lima e Bezerra (2010) avaliaram positivamente implantação de sistemas de geração com aerogeradores. Por fim, o estudo de Prodromidis e Coutelieris (2011) concluiu que somente o sistema de aerogeradores conectados a rede elétrica tornam-se viáveis nas ilhas gregas na Europa.

A Tabela 3 apresenta os documentos que apresentam estudos de casos referente a implantação conjunta de módulos fotovoltaicos e aerogeradores ordenados por quantidade de citações vinculadas no *Google Scholar*.

**Tabela 3** – Estudos de caso de implantação de módulos fotovoltaicos e aerogeradores

Ordem	Documento	Autores	Título	Ano	Citações
1	Artigo	Dalton,G.J., Lockington, D.A., Baldock, T.E.	Feasibility analysis of renewable energy supply options for a grid-connected large hotel	2009	195
2	Artigo	Ajao, K.R., Oladosu, O.A, Popoola, O.T.	Using HOMER power optimization software for cost benefit analysis of hybrid-solar power generation relative to utility cost in Nigeria	2011	56
3	Artigo	Shiroudi, A. <i>et al</i>	Case study: Simulation and optimization of photovoltaic-wind-battery hybrid energy system in Taleghan-Iran using homer software	2012	45
4	Artigo	Chaicha, M. T. <i>et al</i>	Optimal Sizing of a Hybrid System of Renewable Energy for Lighting Street in Salalah-Oman using Homer software	2016	36
5	Artigo	Koussa, D. S. <i>et al</i>	Economic and environmental analysis for grid-connected hybrid photovoltaic-wind power system in the arid region	2011	27
6	Artigo	Mukhtaruddin,R. N. S. R., Rahman, H. A., Hassan, M. Y.	Economic analysis of grid-connected hybrid photovoltaic-wind system in Malaysia	2013	15
7	Artigo	Nurunnab, M., Roy, N. K.	Grid connected hybrid power system design using HOMER	2015	12
8	Dissertação Mestrado	Mota, H. S.	Análise técnico econômica de unidades geradoras de energia distribuída	2011	5
9	Tese Doutorado	Ribeiro, A. E. D.	Análise da influência da localização, área e forma de sítios no potencial de geração de energia elétrica de pequena escala no brasil: um método para as fontes solar e eólica	2015	4
10	Tese Doutorado	Viana, S.	Modelação de Micro-Sistemas Híbridos Fotovoltaicos/Eólicos para Produção Descentralizada	2010	4

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018

Verifica-se também na Tabela 3, estudos de implantação de sistemas híbridos solar-eólico em diversos países no mundo como Nigéria, Omã, Malásia, Brasil e Irã. No artigo de Dalton (2009), há evidência que a implantação de um sistemas híbrido de um hotel de grande porte é viável tanto tecnicamente como economicamente. No artigo de Ajao, Oladosu e Popoola (2011), o estudo não se mostrou viável economicamente em função do tempo do retorno do investimento que ficou em 33 anos. Shiroudi (2012) e Chaicha (2016) dimensionaram sistemas híbridos com viabilidade técnica e econômica através do *software* Homer. Destaque para o *software* Homer que foi utilizado em vários estudos de caso conforme ilustrado nas Tabelas 1, 2 e 3.

Diante dos documentos pesquisados e estudados, procurou-se responder as seguintes questões:

1. Existe potencial de geração de energia elétrica, através de módulos fotovoltaicos, no Instituto Federal Fluminense Campus Macaé?
2. Existe potencial de geração de energia elétrica, através de aerogeradores, no Instituto Federal Fluminense Campus Macaé?
3. Caso as perguntas anteriores sejam positivas, a implantação de um sistema híbrido através de módulos fotovoltaicos e aerogeradores seria viável tecnicamente e economicamente?

Diante dessas questões esta dissertação tem como objetivo principal avaliar a viabilidade de implantação de sistemas de geração distribuída conectados à rede, através do uso de módulos fotovoltaicos e aerogeradores, no Instituto Federal Fluminense Campus Macaé localizado no estado do Rio de Janeiro, Brasil. A pesquisa foi realizada com o auxílio dos dados meteorológicos do local, dos valores de consumo de energia elétrica referente ao período de 2016 a 2017, dos dados técnicos dos equipamentos e das informações econômicas dos equipamentos utilizados. O artigo 1 propôs uma avaliação do potencial energético do uso de módulos fotovoltaicos e aerogeradores separadamente pretendendo responder as questões 1 e 2 e o artigo 2 propôs uma avaliação da viabilidade técnico-econômica de um sistema híbrido solar-eólico através do *software* Homer que simula e otimiza sistemas de geração distribuída conectados a rede elétrica com o intuito de responder a questão 3.

## ARTIGO CIENTÍFICO 1

### AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ATRAVÉS DO USO DE FONTES SOLAR E EÓLICA NO INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE CAMPUS MACAÉ

#### *EVALUATION OF THE POTENTIAL OF ENERGY DISTRIBUTED GENERATION THROUGH THE USE OF SOLAR OR WIND SOURCE AT THE FLUMINENSE FEDERAL INSTITUTE CAMPUS MACAÉ*

Diego Fernando Garcia – IFFluminense/PPEA

Marcos Antônio Cruz Moreira – IFFluminense/PPEA

Augusto Eduardo Miranda Pinto – IFFluminense/PPEA

#### RESUMO

Há uma crescente preocupação quanto à sustentabilidade em diversos países devido ao aumento das atividades econômicas e ao crescimento contínuo do consumo de energia elétrica. Diante disso, é necessário pensar em alternativas para aumentar a disponibilidade de energia elétrica aproveitando os recursos naturais existentes. O objetivo principal deste trabalho é avaliar o potencial de implantação de dois sistemas diferentes de geração de energia elétrica distribuída conectados à rede, um sistema de geração através do uso de módulos fotovoltaicos e outro sistema de geração através de aerogeradores, no Instituto Federal Fluminense Campus Macaé. O campus Macaé possui um consumo de energia mensal entre 48 MWh e 82 MWh tendo como principais cargas os equipamentos condicionadores de ar e iluminação. Os resultados demonstraram que o Campus Macaé tem potencial para implantação de ambos os sistemas de geração distribuída conectados à rede elétrica. A proposta de um sistema fotovoltaico resultou em 1.545 módulos fotovoltaicos de 265W e a proposta de um sistema eólico resultou na instalação de 22 aerogeradores de 15kW. Portanto, concluiu-se que o Instituto Federal Fluminense possui grande potencial de geração de energia elétrica, podendo suprir suas próprias necessidades energéticas através de fontes renováveis.

**Palavras chave:** Fontes Renováveis, Energia Solar, Energia Eólica, Geração Distribuída

## ***ABSTRACT***

*There is growing concern about sustainability in several countries due to increased economic activity and continued growth in electricity consumption. Given this, it is necessary to think of alternatives to increase the availability of electric energy by taking advantage of the existing natural resources. The main objective of this work is to evaluate the technical feasibility of the implementation of two grid-connected distributed electric power generation systems, a generation system through the use of photovoltaic modules and another generation system through wind turbines, at the Fluminense Federal Institute Campus Macaé. Campus Macaé has a monthly energy consumption of between 48 MWh and 82 MWh, with the main loads being the air conditioners and lighting. The results showed that Campus Macaé has technical viability for the implementation of both distributed generation systems connected to the grid. The proposal of the photovoltaic system resulted in 1,545 photovoltaic modules of 265W and the proposal of the wind system resulted in the installation of 22 aerogenerators of 15kW. Therefore, it was concluded that the Fluminense Federal Institute has great potential for electric power generation, being able to supply its own energy needs through renewable sources.*

**Keywords:** *Renewable Sources, Solar energy, Wind Energy, Distributed Generation.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Atualmente, a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis é amplamente discutida em diversos países, principalmente em países que possuem incentivos à geração distribuída de pequeno porte (ANEEL, 2014). A geração distribuída tem sido debatida no âmbito de planejamento energético mundial e indicada como o futuro da produção de energia elétrica (FREITAS E HOLLANDA, 2015). No contexto nacional, a discussão acerca da geração de energia elétrica torna-se de maior relevância em função do aumento do consumo de energia elétrica devido ao crescimento da atividade econômica, a evolução demográfica e também com a crescente preocupação com a sustentabilidade no País. (ANEEL, 2014)

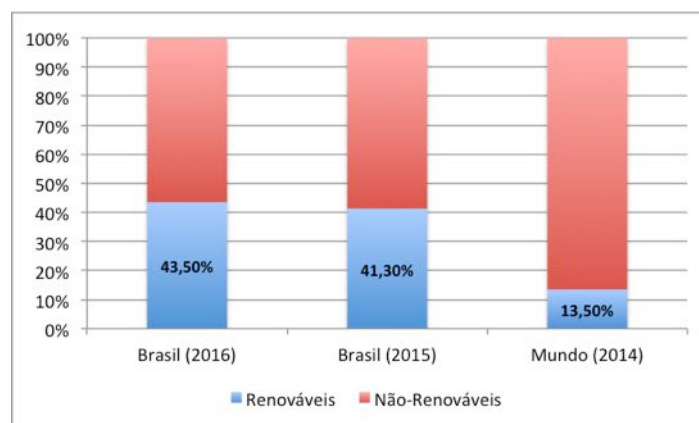
Diante dessa discussão, é necessário pensar em possíveis alternativas para expandir e diversificar a geração de energia elétrica brasileira. As pequenas centrais geradoras também conhecidas como micro e minigeração distribuída são ótimas alternativas. (ANEEL, 2014)

A Resolução Normativa (REN) número 482/2012 foi publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com o objetivo de estabelecer as condições gerais para a inserção de micro e minigeradores ao Sistema Elétrico Nacional. Conforme a resolução, a microgeração distribuída é definida como um gerador de energia elétrica de potência menor ou igual a 75 kW e a minigeração distribuída é definida como um gerador de potência superior a 75 kW e inferior ou igual a 5 MW e ambas devem utilizar fontes de energias renováveis e cogeração qualificada e, ser conectado à rede por meio de consumidores de energia.

Em 2015, a REN 482 foi revisada através da Resolução Normativa 687/2015 que ampliou as possibilidades, alterando o limite potência da microgeração e minigeração, reduzindo prazos de respostas às unidades consumidoras e melhorando a geração compartilhada entre outros.

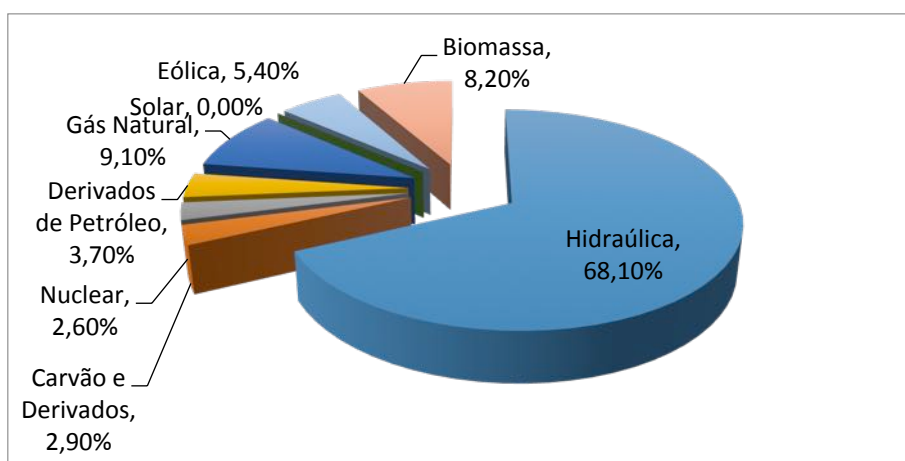
Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2017, a participação de energias renováveis na Matriz Energética do Brasil sustentou-se entre as mais maiores do mundo em 2016, em função das condições hidrológicas, da expansão da geração eólica e da queda da geração térmica a base de derivados de gás natural e petróleo, conforme ilustra a Figura 1.

**Figura 1:** Participação de Energias Renováveis no Brasil e no Mundo.



Fonte: BRASIL, adaptado pelo Autor, 2017

A Figura 2 ilustra a matriz de produção de energia elétrica do Brasil em 2016. A principal fonte de energia elétrica é a hidráulica, seguido do gás natural, biomassa, eólica, derivados do petróleo, carvão e derivados, nuclear e por último da energia solar.

**Figura 2: Matriz Elétrica Brasileira.**

Fonte : BRASIL, adaptado pelo Autor, 2017

A Geração Distribuída tem sido uma tendência em vários países, favorecida pela redução de custos das tecnologias de pequenas escalas de geração, juntamente com as limitações ambientais colocadas às construções de usinas hidrelétricas e às usinas que emitem gases de efeito estufa (RIBEIRO, 2014).

Durante a pesquisa documental, foram encontrados estudos de avaliação de potencial de geração de energia fotovoltaica em diversas partes do mundo. O estudo de Takenaka (2010) avaliou positivamente o suprimento de energia elétrica para edificações de uma instituição de ensino pública. No artigo de Tarigana (2015), um sistema fotovoltaico conectado à rede não é viável para atender uma casa residencial sem incentivos financeiros do governo da Indonésia. Nos estudos de caso realizados por Kebede (2015), Hasan (2012), El-Tous (2012), Dassi *et al* (2015) revelaram viabilidade na implantação de sistemas fotovoltaicos. Na dissertação de Salamoni (2004) foi realizado um estudo de geração de energia fotovoltaica nas zonas urbanas das cidades Belo Horizonte e Florianópolis evidenciando bons potenciais de geração.

Em relação aos estudos sobre avaliações de potencial de geração de energia eólica, Lu e Ip (2009), Lima e Bezerra (2010), Shafiullah *et al* (2012), Mohammadi (2013) evidenciaram viabilidade na implantação de sistemas de geração com aerogeradores. Dalton *et al* (2009) constatou que hotéis de pequeno a médio porte a energia eólica é mais viável economicamente que a energia solar. Mostafaeipoura *et al* (2011) sugere a instalação de turbinas pequenas para suprimento de energia elétrica para edifícios públicos e casas. Por fim, o estudo de Prodromidis e Coutelieris (2011) concluiu que somente um sistema de aerogeradores conectados à rede elétrica torna-se viável nas ilhas gregas na Europa.

Diante às pesquisas realizadas, o presente estudo tem como objetivo principal avaliar o potencial de implantação no Instituto Federal Fluminense Campus Macaé de dois sistemas diferentes de geração distribuída conectados à rede, um sistema de geração através do uso de módulos fotovoltaicos e outro sistema de geração através de aerogeradores. O Instituto Federal Fluminense Campus Macaé situa-se na cidade de Macaé no Estado do Rio de Janeiro, Brasil, possui área total de 46.214 m<sup>2</sup>, localiza-se próximo à Lagoa de Imboassica e empresas ligadas à indústria do petróleo. O consumo total mensal médio de energia elétrica em 2016 foi de 57.450,50 kWh.

Frente à crise econômica atual do Brasil e às ações do governo federal de redução do orçamento público, esta pesquisa visa também evidenciar uma possibilidade de redução dos gastos com energia elétrica no Instituto Federal Fluminense, procurando estabelecer uma melhor utilização dos recursos públicos.

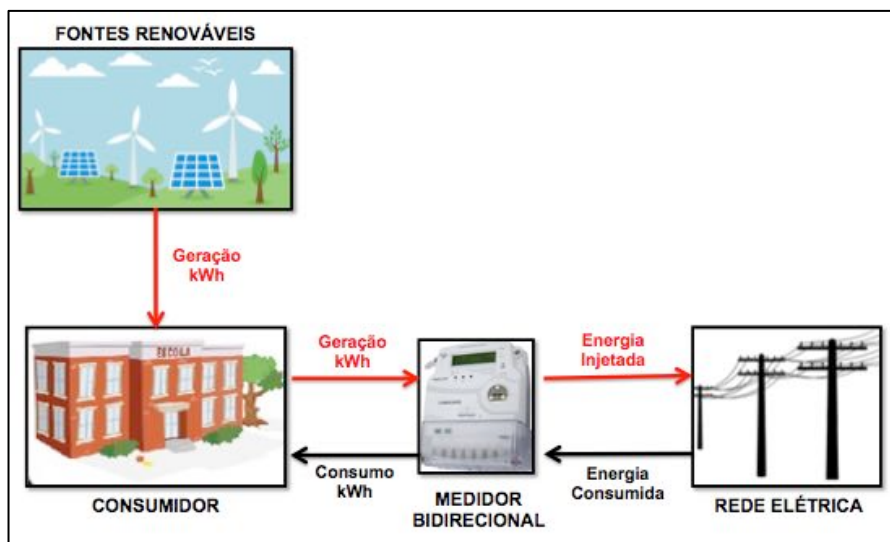
## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Nesta seção serão investigados através de revisão da literatura e documental, conceitos, práticas e aspectos legais considerados relevantes ao objeto trabalho, tais como: Geração Distribuída, Energia Solar e Energia Eólica.

### **2.1. Geração Distribuída**

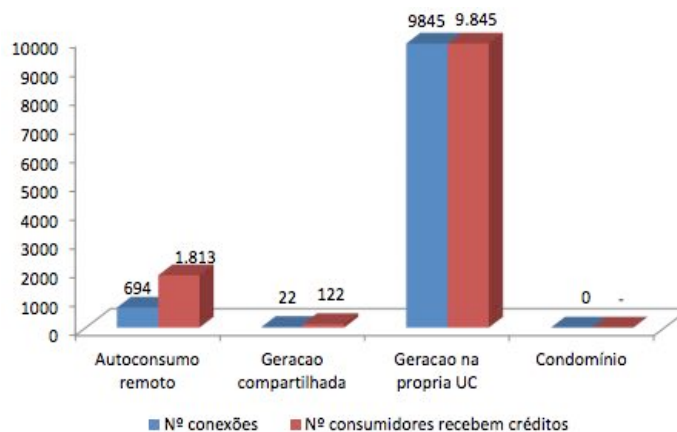
A Geração Distribuída (GD) é uma expressão utilizada para caracterizar a geração de eletricidade próxima ou junto do consumidor sem restrições de potência, de tecnologia ou tipo de fonte de energia (INEE, 2018). A evolução das tecnologias de GD têm incluído potências cada vez menores. A GD, ilustrada na Figura 3, é definida pela implantação de pequenos geradores que utilizam fontes renováveis ou combustíveis fósseis, instalados juntos aos consumidores de energia elétrica (ANEEL, 2016).

Em geral, os microgeradores e minigeradores instalados próximos aos consumidores podem possibilitar benefícios para o sistema de distribuição de energia sendo que os principais são: protelar os investimentos na construção de novos sistemas de distribuição e transmissão, minimizar o impacto ambiental, melhorar a estabilização da tensão da rede no período de pico diário e diversificar a matriz nacional de energia (ANEEL, 2014).

**Figura 3:** Geração Distribuída.

Fonte: Autor, 2017

A Figura 4 ilustra a quantidade de sistemas de geração distribuída conectadas e o número de consumidores que receberam os créditos. A principal modalidade de geração até maio de 2017 é a geração na própria unidade consumidora (UC), com 93,2 % das conexões, onde o sistema produz energia apenas no próprio local de consumo. Os demais casos, a geração de energia é destinada a mais de um local de consumo, conforme permitido na REN nº 482/2012.

**Figura 4:** Modalidade de geração distribuída até maio 2017

Fonte: ANEEL, 2017

A REN 482/2012 estabelece que os consumidores conectados em baixa tensão (grupo B), mesmo gerando energia excedente, deverão pagar um valor mínimo em reais de disponibilidade: para monofásico o valor referente a 30kWh, para bifásico, o valor de 50 kWh e para trifásico, 100 kWh.



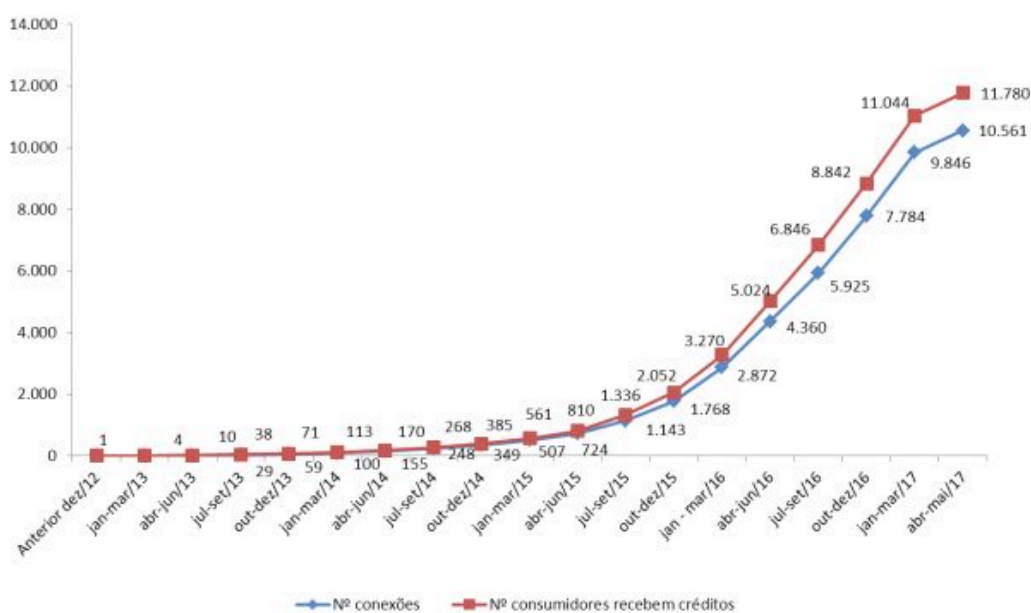
Para consumidores de alta tensão, do grupo A, deverão pagar somente o valor referente a demanda contratada.

Conforme as resolução, para os consumidores que possuem tarifa horária, a energia excedente deverá ser usada prioritamente para abatimento do consumo no mesmo posto tarifário (fora ponta ou ponta). Após abatimento na mesmo período tarifário, a sobra poderá ser utilizada em outro posto tarifário observando a relação dos valores das tarifas.

O horário de ponta é definido normalmente das 18h às 21h e refere-se a um período consecutivo de três horas de dias úteis, com exceção dos feriados, definidas pela concessionária de energia e aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão. O horário de fora de ponta é definido pelo período de horas diárias seguidas e suplementares ao horário de ponta (LOPES, 2002).

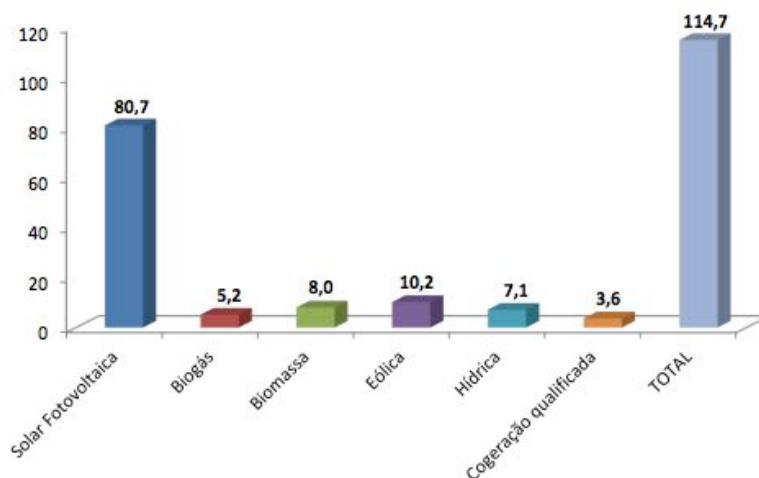
A Figura 5 ilustra o número de consumidores com micro ou minigeração distribuída após a publicação da REN 482/2012 e o crescimento acentuado de consumidores a partir do primeiro trimestre de 2015.

**Figura 5:** Número de micro e microgeradores até maio 2017



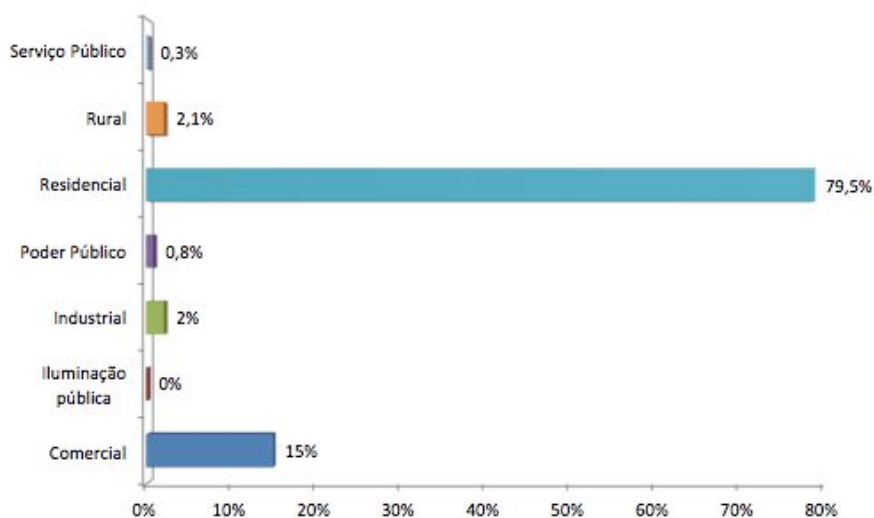
Fonte: ANEEL, 2017

A Figura 6 apresenta a potência instalada de micro e minigeradores separados por tipo de fonte. Destaque para a fonte solar e a eólica, correspondendo, respectivamente, a 70% e 9% do total de 114.7 MW instalados.

**Figura 6:** Potência instalada por fonte em MW

Fonte: ANEEL, 2017

Quanto às classes de consumidores, a Figura 7 ilustra que maiores classes são a residencial (79,5%) e a comercial (15%) e as classes com pouca adesão são iluminação pública (0%), Serviço Público (0,3%) e Poder Público (0,8%).

**Figura 7:** Classes de consumo dos consumidores.

Fonte: ANEEL, 2017

De acordo com Dias (2005), o Brasil precisa maximizar o seu grande potencial energético promovendo um ambiente regulatório, comercial e técnico que incentive e facilite a implantação da geração distribuída.

## 2.2 Energia Solar

Segundo Tolmasquim (2016), a energia procedente do sol vem sendo utilizada pelo homem de diversas formas, desde necessidades elementares como aquecimento, luminosidade e produção de alimentos. A partir da metade do século passado, a energia solar começou a ser utilizada para a geração de energia elétrica. A energia solar fotovoltaica é produzida através da conversão da luz irradiada em energia elétrica, chamado efeito fotovoltaico. Esse efeito provém do surgimento de uma diferença de potencial no semicondutor produzido pela absorção de luz. Os módulos fotovoltaicos são formados por um conjunto de células fotovoltaicas agrupadas e são associados em série e paralelo para obter as diferenças de potencial e correntes desejadas. A produção de energia é feita em corrente contínua necessitando de um inversor para convertê-la em corrente alternada.

O crescimento acelerado nos últimos anos da capacidade instalada de módulos fotovoltaicos fez o mundo olhar a energia solar como alternativa de fornecimento de energia elétrica (REN21, 2015). Segundo *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (2015), a geração fotovoltaica cresceu anualmente 47% nos últimos anos passando de 3,7 GWp em 2004 para 177 GWp em 2014 sendo que esse crescimento se sucedeu devido aos incentivos governamentais principalmente dos países europeus e asiáticos.

A energia fotovoltaica foi inicialmente desenvolvida para suprir as necessidades de sistemas espaciais e sistemas instalados em localizados remotas. A célula fotovoltaica tem o menor custo, peso e segurança operacional para fornecer a energia necessária por longos períodos aos equipamentos eletroeletrônicos (PINHO; GALDINO, 2014).

No final do século passado, a energia fotovoltaica foi mais utilizada em sistemas de geração distribuída e nos últimos anos com a queda nos custos da tecnologia iniciou-se como alternativa para geração centralizada. A partir da última década, houve um crescimento da geração centralizada no total da capacidade instalada mundial através de usinas fotovoltaicas (TOLMASQUIM, 2016).

O surgimento da energia fotovoltaica foi apoiada por medidas de incentivo baseada em modelos de negócios e esquemas regulatórios. Tolmasquim (2016) destaca cinco esquemas:

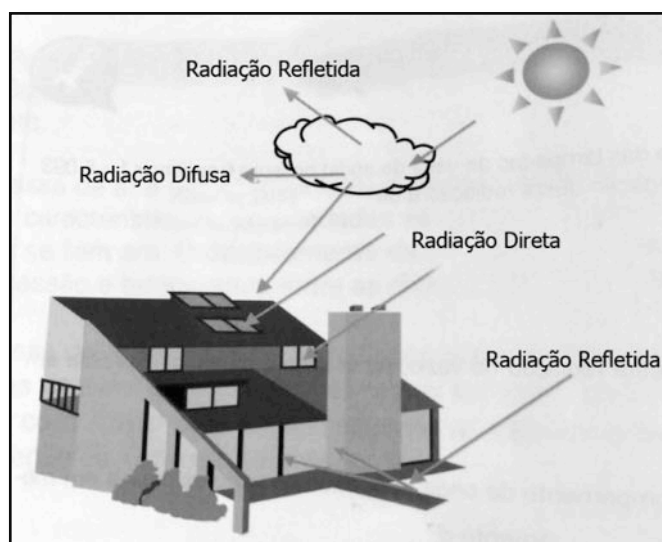
- Tarifa prêmio: Consiste na compra da energia gerada por longos prazos por um valor fixo por kWh.
- Subsídios diretos: Consiste em conceder um benefício monetário direto buscando reduzir os altos custos iniciais de aquisição dos sistemas.
- Leilões: modelo de compra de energia para projetos de grandes usinas firmados após processo de leilão com preço regressivo.

- Net metering: modelo de redução de fatura permitindo compensar o consumo de eletricidade da unidade onde o sistema está instalado.
- Cotas: consiste em obrigar as distribuidoras a comprarem uma quantidade de geração elétrica a partir de fontes renováveis.

Em relação a distribuição de radiação solar na superfície terrestre, a radiação pode ser decompostas em planos horizontal e inclinado. A radiação global no plano horizontal é composta pela radiação direta e difusa. A radiação global no plano inclinado além das componentes direta e difusa é composta pelas radiações refletidas pela superfície e pelos elementos em volta (TOLMASQUIM, 2016)

A Figura 8 ilustra as radiações direta, difusa e refletida.

**Figura 8:** Radiação Direta, Difusa e Refletida.



Fonte: Autor, 2017

A irradiação solar não é considerada constante devido às variações ao longo dos dias, dos anos e também em função da sua posição geográfica. Essas variações são decorrentes aos movimentos de rotação e translação e principalmente aos fenômenos meteorológicos relacionados com a formação de nuvens e chuva sendo de difícil previsibilidade. Uma das formas de melhorar o rendimento do uso da irradiação solar é orientar a posição dos módulos fotovoltaicos. A inclinação deve ser mais utilizada principalmente quando a latitude do local aumenta. Para um melhor aproveitamento e rendimento no hemisfério sul, sugere-se colocar os módulos orientado ao norte e com ângulo igual a latitude, fazendo com que os módulos recebam os raios solares perpendiculares potencializando a quantidade de energia produzida por cada módulo (TOLMASQUIM, 2016).

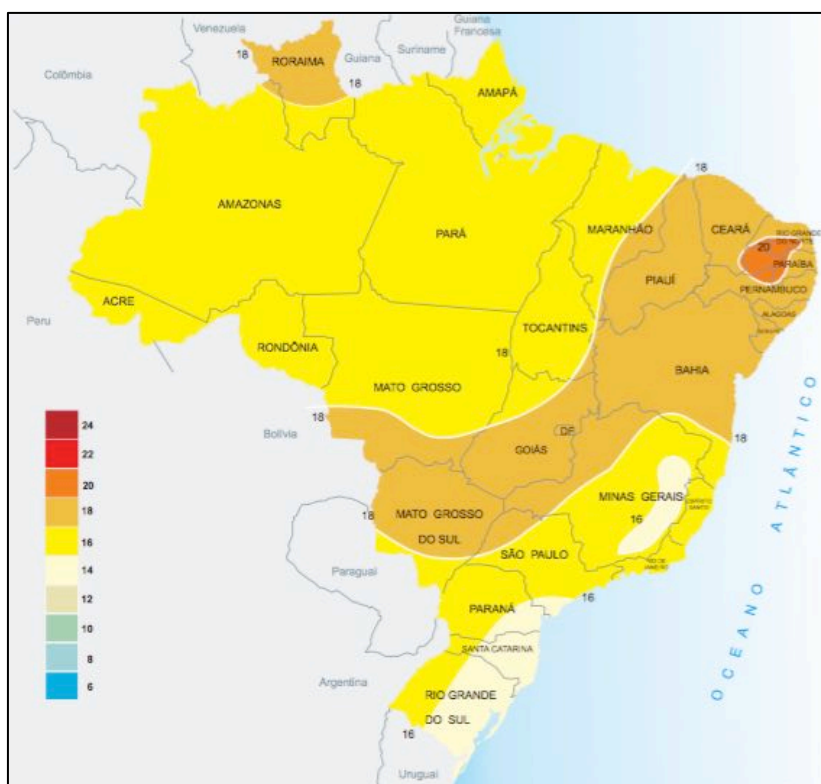
Segundo Pinho e Galdino (2014), esse posicionamento pode ser desconsiderado caso seja necessário maximizar a produção em determinados períodos do ano, orientando os módulos de forma

que naqueles períodos haja um melhor aproveitamento na produção de energia elétrica. Outra recomendação é posicionar os módulos fotovoltaicos à ângulo mínimo de 10 graus com a finalidade de evitar o acúmulo de sujeiras e facilitar a limpeza pela chuva principalmente em regiões entorno da linha do equador. Outra forma de potencializar a produção de energia elétrica é seguir o movimento do sol, e segundo Faricelli (2008) afirma, há um ganho de 20% a 50% na geração de energia utilizando este tipo de tecnologia.

A Figura 9 apresenta o cartograma de irradiação solar média anual ilustrando a distribuição do recurso solar nos estados brasileiros. Destaque para a região centro-oeste e nordeste do Brasil onde se concentra os valores mais altos de irradiação solar, sugerindo que essas regiões são mais propensas a implantação de usinas fotovoltaicas pois possuem um alto fator de capacidade de produção de energia elétrica. Segundo Pereira (2006), a Alemanha possui irradiação solar anual entre 900 e 1250 kWh/m<sup>2</sup> e a irradiação do Brasil está entre 1500 a 2200 kWh/m<sup>2</sup>, evidenciando o grande potencial brasileiro de produção de energia fotovoltaica.

Para Rüter (2004), o potencial de energia solar fotovoltaica no Brasil supera excessivamente o consumo total de energia elétrica do Brasil mas ressalta que é necessário um equilíbrio entre as diversas fontes de energia disponíveis. A posição geográfica do continente brasileiro favorece a incidência de elevados índices de irradiação solar devido a proximidade da linha do equador.

**Figura 9:** Cartograma da Irradiação Solar Média Anual em MJ/m<sup>2</sup>.dia.



Fonte: TIBA, 2000

### 2.3 Energia Eólica

A conversão do recurso eólico em energia deu-se inicialmente através dos moinhos de ventos que ajudaram ao homem moer grãos e, posteriormente, através das velas de barcos para navegação. No final do século XIX, a Dinamarca e os Estados Unidos iniciaram a construção de máquinas que produziam energia elétrica a partir do vento, chamado aerogeradores. No século XX, os combustíveis fósseis foram os principais responsáveis pela produção de eletricidade. Em 1973, quando houve a crise do petróleo, iniciou-se o desenvolvimento da energia eólica. O primeiro aerogerador instalado no Brasil foi no arquipélago de Fernando de Noronha e possuía 75 kW de potência (TOLMASQUIM, 2016).

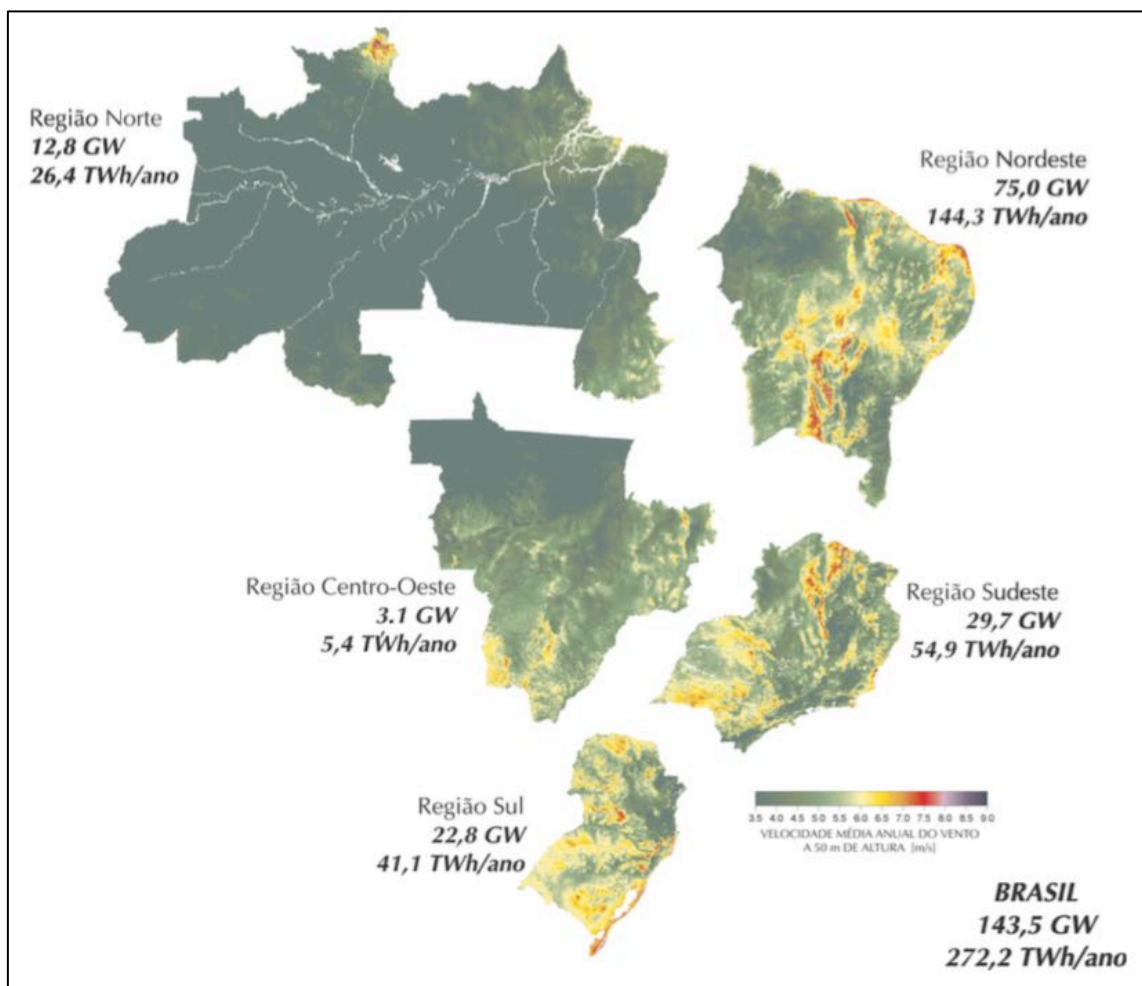
Em 2001, houve a crise energética e o governo federal iniciou os incentivos à produção de energia no país, através do PROEÓLICA, Programa Emergencial de Energia Eólica. O programa incentivava a contratação de projetos para produção de energia eólica mas não obteve sucesso. Em 2002, um novo programa instituído pela Lei nº 10.438 de 2002, o PROINFRA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, incentivou a diversificação da matriz energética do Brasil. A Lei nº 10.438 de 2002 também promoveu a redução das tarifas em 50% sobre a produção e consumo provindos da energia eólica para sistemas de distribuição e transmissão. (BRASIL, 2002)

Segundo Tolmasquim (2016), a energia eólica é uma das formas de energia solar visto que o vento é originado através de um aquecimento desequilibrado da superfície da terra ocasionado pela irradiação solar. Além disso, o vento é influenciado de diversas maneiras: pelas variações nas pressões do ar, pela rotação da terra, pela rugosidade dos terrenos e pelos obstáculos (montanhas, árvores, etc).

Em função desta grande variabilidade do regimes dos ventos, foi produzido um atlas do potencial eólico brasileiro (AMARANTE *et al*, 2001) com a finalidade de mapear o potencial eólico de todas as regiões do Brasil fornecendo diversos parâmetros tais como fluxos de energia eólica, velocidades médias do ano e os regimes sazonais.

A Figura 10 ilustra o potencial eólico no Brasil informado no Atlas de 2001. Observa-se que o maior potencial eólico do Brasil encontra-se na região nordeste (75 GW), seguido da região Sudeste (29,7 GW), Sul (22,8 GW), Norte (12,8 GW) e Centro-Oeste (3,1 GW).

**Figura 10:** Cartograma do Potencial Eólico Brasileiro.

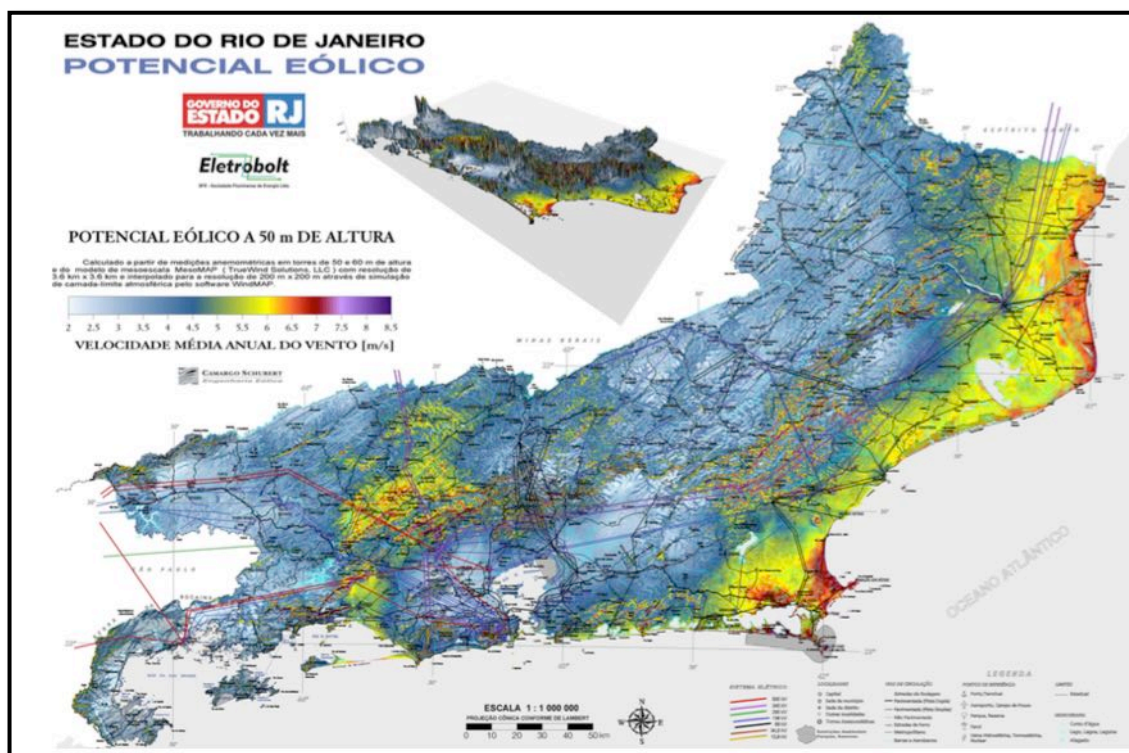


Fonte: AMARANTE *et al*, 2001

Segundo Tolmasquim (2016), os melhores potenciais eólicos ocorrem nas elevações montanhosas, em planaltos de baixa rugosidade e regiões costeiras. A partir de 2001, alguns estados interessados em saber o seu próprio potencial eólico iniciaram a construção dos atlas estaduais com informações mais atuais e aprofundadas.

A Figura 11 apresenta o mapa eólico do Estado do Rio de Janeiro, elaborado em 2002, evidenciando que a região norte fluminense possui o maior potencial eólico, juntamente com a região do Lagos.

Figura 11: Mapa do Potencial Eólico do Estado do Rio de Janeiro



Fonte: AMARANTE *et al*, 2002

Segundo Dutra (2008), com uma massa de ar  $m$  movendo-se a uma velocidade  $v$ , pode-se estabelecer sua energia cinética como:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Definindo que  $\rho$  é a massa específica do ar e  $A$  é área varrida pelo aerogerador, pode-se demonstrar que a potência eólica disponível é dada por:

$$P = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2}$$

A partir dessa equação observa-se que a potência tem sua maior influência através da velocidade por ser de ordem cúbica. Portanto, a velocidade é a componente mais significativa oriunda dos regimes de vento da região. A velocidade do vento é afetada pela rugosidade do terreno (uso da terreno, vegetação e construções), pela altitude e pelos obstáculos entorno do local. Outros fatores que influenciam diretamente a potência são a área de varredura do aerogerador e a massa



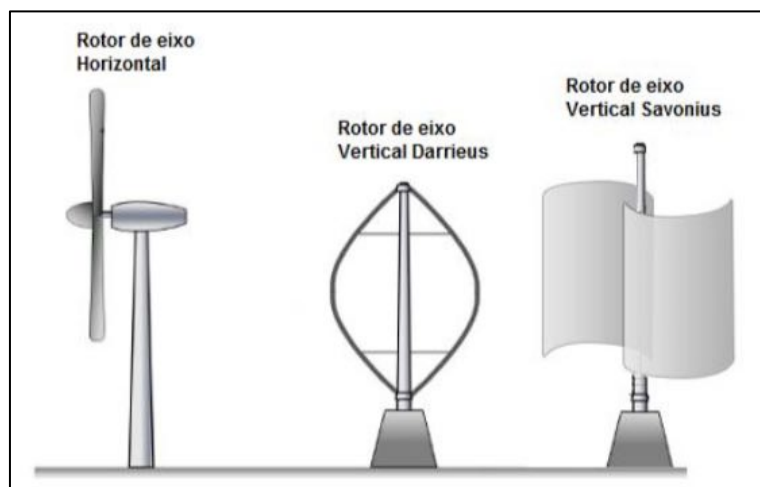
específica do ar. Por esse motivo, recomenda-se pesquisar os locais mais altos, livre de obstáculos e áreas de varredura maiores para a instalação dos aerogeradores (RIBEIRO, 2015). A energia eólica possui uma disponibilidade variável em função do regime dos ventos que pode torná-la indisponível em algumas horas do dia ocasionando ausência na produção de energia elétrica.

Os aerogeradores possuem perdas na conversão de energia cinética em energia elétrica e restrições técnicas em relação ao seu funcionamento. Para um aerogerador funcionar é necessário uma velocidade mínima (chamada *cut-in*) para iniciar a produção de energia elétrica. O aerogerador também possui uma velocidade máxima (chamada *cut-out*) de operação em que a partir desta ele é travado para evitar danos à estrutura do equipamento. Portanto, só há conversão de energia entre as velocidades de *cut-in* e *cut-out*, fora dessa faixa de velocidade não há produção de energia elétrica sendo que a máxima produção de energia ocorre próximo à velocidade nominal (TOLMASQUIM, 2016).

Quanto à localização da instalação dos aerogeradores, a geração eólica é classificada em dois tipos segundo Tolmasquim (2016): a terrestre (*onshore*) e a marítima (*offshore*). Os países com pequena área territorial tendem a possuir instalações *offshore* e os países com grande área territorial tendem a possuir instalações *onshore*. As instalações *onshore* mais comuns são os parques eólicos e os sistemas de geração distribuídos que fornecem energia diretamente às instalações residenciais e industriais (DUTRA, 2008).

Os principais componentes dos aerogeradores são: rotor, eixo e o gerador. O rotor é constituído pelo conjunto das pás e o cubo responsável por capturar a energia eólica. O eixo é a junção que transfere a energia cinética do rotor para o gerador, podendo ser de eixo vertical (com rotação perpendicular à direção do vento) ou horizontal (com rotação alinhada à direção do vento). E por último, o gerador em si que realiza a conversão da energia mecânica em energia elétrica. Os aerogeradores de eixo vertical possuem duas configurações: Savonius e Darrieus. A Savonius utiliza a transferência de movimento e é caracterizada por baixa eficiência e velocidade. A Darrieus utiliza as forças aerodinâmicas e possui alta eficiência e velocidade. Os aerogeradores de eixo horizontal são mais comuns e geralmente são de grande porte pois possuem uma excelente combinação de eficiência aerodinâmica, estabilidade, ruído, velocidade e custo. (DUTRA, 2008; TOLMASQUIM, 2016)

**Figura 12:** Tipos de aerogeradores.



Fonte: TOMALSQUIM, 2016

### 3. MATERIAL E MÉTODO

A metodologia a ser utilizada neste trabalho pode ser caracterizada quanto aos objetivos como pesquisa descritiva pois têm como objetivo a descrição das características de determinada região e, também, pesquisa exploratória pois tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses (GIL, 2009).

Quanto ao procedimento técnico utilizado será um estudo de caso. Dentre os propósitos apontados por Gil (2009) para se utilizar o estudo de caso, destacam-se: explorar situações reais em que os limites não são claramente definidos; preservar o caráter unitário do objeto estudado; descrever o contexto em que está sendo feita determinada investigação; formular hipóteses e testá-las.

O objeto deste estudo é o Instituto Federal Fluminense Campus Macaé (IFFCM) situado na cidade de Macaé no Estado do Rio de Janeiro, Brasil, latitude Sul  $22,405833^\circ$  e longitude Oeste  $41,843889^\circ$  e possui uma área total de  $46.214 \text{ m}^2$ . O IFFCM é uma instituição de ensino pública que atende diversos níveis de escolaridade (ensino médio, técnico e superior) e localiza-se próximo às empresas e multinacionais ligadas ao setor petrolífero beneficiando a comunidade local e os municípios vizinhos.

O presente trabalho foi desenvolvido em 6 etapas:

1. Pesquisa dos dados de consumo energético dos equipamentos elétricos;
2. Levantamento dos dados da irradiação solar;

3. Cálculo do potencial de geração de energia solar;
4. Levantamento dos dados de velocidades do ventos;
5. Estudo do aerogerador adequado para a região;
6. Cálculo do potencial de geração de energia eólica.

### 3.1 Pesquisa dos dados de consumo energético dos equipamentos elétricos

O Campus Macaé é alimentado em alta tensão através da Concessionária ENEL e está classificado na Modalidade Tarifária Verde A4 Classe Poder Público. A modalidade Verde é caracterizada por tarifas de consumo diferentes no horário de ponta e fora ponta e uma tarifa fixa de demanda de potência. A instalação é classificada no grupo A4 (faixa de 2,3kV a 25kV), pois recebe energia através da tensão de 13,8 kV. Os consumidores do grupo A têm uma tarifa binomial, ou seja, são cobrados pela energia consumida e a demanda utilizada, sendo a demanda fixa contratada de 263 kW.

O campus Macaé apresenta em suas instalações uma potência de 1.615 kW referente aos 211 condicionadores de ar instalados e uma potência de 173,9 kW referente à iluminação instalada.

A Tabela 1 ilustra os valores do consumo mensal do ano de 2016 levantados através das faturas da energia elétrica. Destaque para o mês de Abril que obteve o maior consumo total do ano (82.625 kWh) e, também para o mês de Julho que obteve o menor consumo do ano (38.294 kWh).

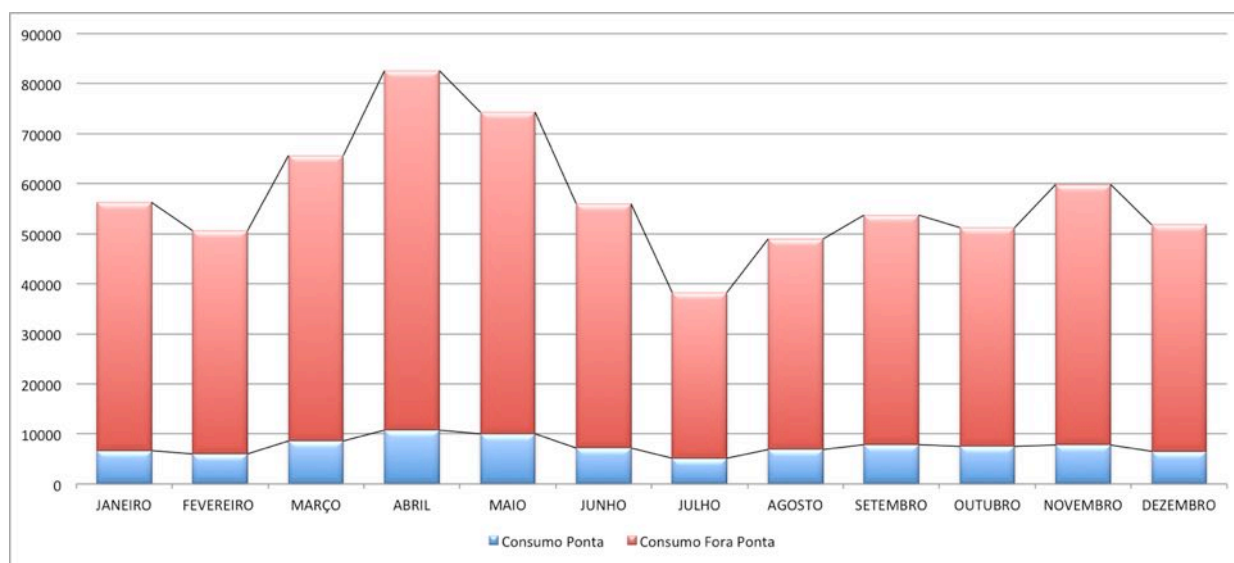
**Tabela 1:** Levantamento do consumo de energia elétrica.

Mês	Consumo Ponta (kWh)	Consumo Fora Ponta (kWh)	Consumo Total (kWh)
Janeiro	6.651	49.623	56.274
Fevereiro	5.997	44.625	50.622
Março	8.590	57.078	65.668
Abril	10.742	71.883	82.625
Maiο	10.002	64.302	74.304
Junho	7.169	48.825	55.994
Julho	5.135	33.159	38.294
Agosto	6.867	42.084	48.951
Setembro	7.846	45.885	53.731
Outubro	7.509	43.743	51.252
Novembro	7.778	52.101	59.879
Dezembro	6.515	45.297	51.812
<b>Média</b>	<b>7.566,75</b>	<b>49.883,75</b>	<b>57.450,5</b>

Fonte: Autor, 2017

A Figura 13 ilustra o comportamento dos consumos de ponta e fora ponta ao longo do ano de 2016.

**Figura 13: Consumo Ponta e Fora Ponta 2016.**



Fonte: Autor, 2017

A Tabela 2 ilustra as médias de todos os meses do ano de 2016 e suas respectivas tarifas médias e a composição dos valores médios pagos a concessionária.

**Tabela 2: Médias das faturas de energia elétrica.**

Descrição	Quantidade	Tarifa Média	Total
<b>Consumo Ponta (kWh)</b>	7.566,75	R\$ 2,442	R\$ 18.519,81
<b>Consumo Fora Ponta (kWh)</b>	49.883,75	R\$ 0,5323	R\$ 26.602,68
<b>Consumo Reativo Ponta (kVAr)</b>	44,25	R\$ 0,3534	R\$ 16,35
<b>Consumo Reativo Fora Ponta (kVAr)</b>	1.289,75	R\$ 0,39	R\$ 500,81
<b>Demanda Faturada Fora Ponta (kW)</b>	277,5	R\$ 26,52	R\$ 7.366,51
<b>Demanda Ultrapassada Fora Ponta (kW)</b>	14,5	R\$ 22,21	R\$ 783,58
<b>Demanda Contratada (kW)</b>	263		R\$ 6.974,76
<b>Total</b>			<b>R\$ 60.764,49</b>

Fonte: Autor, 2017

### 3.2 Levantamento dos dados da irradiação solar

Para estimativa da irradiação solar diária média, utilizamos o *software* SunData fornecido pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB). Ele é baseado em um banco de dados que possui valores de irradiação solar diária média mensal de mais de 350 pontos no Brasil. O *software* forneceu a irradiação solar diária média do IFFCM, além de fazer um comparativo entre algumas possíveis posições dos módulos em plano inclinado (21°, 22° e 23°), evidenciando como o posicionamento dos painéis pode influenciar, diretamente, na eficiência do sistema.

Em nosso estudo, levamos em consideração apenas a inclinação de 22° em função do ângulo ser igual à latitude do campus Macaé, sendo valor estimado para esta condição é de 5,07583 kWh/m<sup>2</sup>.dia.

### 3.3 Cálculo do potencial de geração de energia solar

No dimensionamento de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica é necessário determinar a quantidade de energia que será produzida diariamente para cada módulo fotovoltaico. O método adotado para este cálculo é o método da radiação local. Este método pode ser usado no cálculo da potência produzida pelo módulo fotovoltaico com base nas informações sobre a energia solar disponível no local. A potência produzida pelo módulo fotovoltaico é calculada pela seguinte equação (TEIXEIRA *et al*, 2016) :

$$E_p = E_s \cdot A_m \cdot \eta_m$$

$E_p$  = Potência produzida diariamente por módulo [Wh]

$E_s$  = Insolação diária local [kWh/m<sup>2</sup>/dia]

$A_m$  = Área do módulo fotovoltaico [m<sup>2</sup>]

$\eta_m$  = Eficiência do módulo fotovoltaico

Teixeira *et al* (2016) sugere, como margem de segurança, uma perda de 20% na produção de energia devido à falta de obtenção de valores ideais.

Para o cálculo do potencial de geração de energia solar fez-se necessário a utilização de dados como o consumo médio mensal, irradiação solar diária média e a potência do módulo fotovoltaico selecionado.

O consumo médio mensal foi extraído da Tabela 2. A irradiação solar média para localização do IFFCM é de 5,075 kWh/m<sup>2</sup>.dia. O módulo fotovoltaico selecionado para o cálculo foi o modelo CSP6 com potência nominal de 265W, eficiência de 16,47% e área do módulo de 1,61m<sup>2</sup> da fabricante Canadian Solar por apresentar uma boa eficiência e estar disponível no mercado nacional.

A potência gerada diariamente para cada módulo foi de 1,34594 kWh. De acordo com a sugestão de Teixeira *et al* (2016) é necessário considerar uma redução de 20% resultando em 1,07675 kWh de geração por módulo.

Considerando que cada painel pode gerar em média 1,07675 kWh por dia, e conseqüentemente 32,302 kWh por mês obtém-se que serão necessários 1.545 módulos fotovoltaicos para suprir a demanda energética.

### 3.4 Levantamento dos dados de velocidades dos ventos da região

Os dados da velocidade dos ventos foram retirados do relatório eólico de Macaé, elaborado pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) e se baseiam em uma série temporal de dados de anemômetro a 10 metros de altura por um período de mais de dez anos. Este anemômetro está localizado nas coordenadas 22°24'21" de latitude sul e 41°51'38" de longitude oeste bem próximo ao Instituto Federal Fluminense Campus Macaé.

A Tabela 3 ilustra a frequência relativa das velocidades do vento dos meses de Janeiro a Dezembro.

**Tabela 3:** Velocidade do vento e suas frequências.

<b>Velocidade do Vento</b>	<b>Frequência relativa</b>
Inferior a 2,0 m/s	51,31%
2,0 a 3,0 m/s	20,63%
3,0 a 4,0 m/s	12,10%
4,0 a 5,0 m/s	6,66%
5,0 a 6,0 m/s	4,35%
6,0 a 7,0 m/s	2,72%
7,0 a 8,0 m/s	1,34%
8,0 a 9,0 m/s	0,53%
9,0 a 10,0 m/s	0,26%
Superior a 10,0 m/s	0,10%

Fonte: UENF, 2016

### 3.5 Estudo do aerogerador adequado para a região

Para selecionar o aerogerador adequado para o IFFCM é necessário avaliar o fator de capacidade de cada equipamento. A Tabela 4 ilustra o fator de capacidade (FC) obtido da aplicação dos dados frequências das velocidades às curvas de potência de aerogeradores de pequeno porte disponíveis no mercado. O fator de capacidade é calculado através da relação entre a potência produzida e potência nominal do aerogerador.

**Tabela 4:** Fator de Capacidade dos aerogeradores.

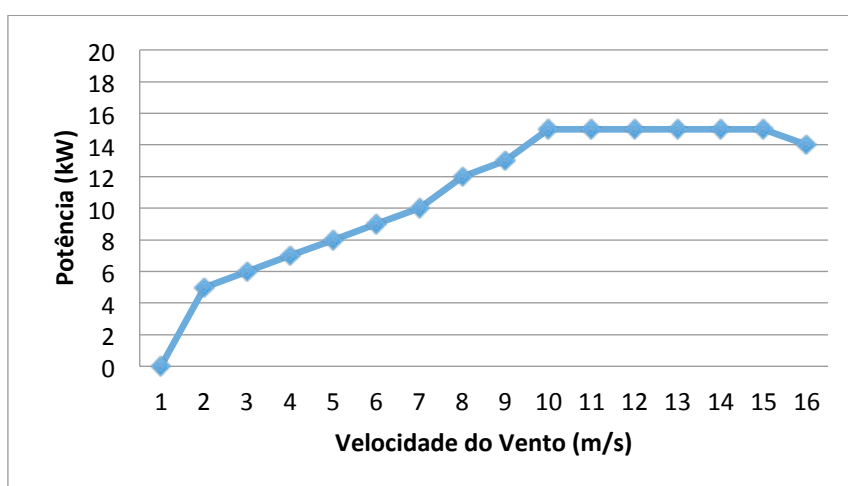
Fabricante	Modelo	Potência	Fator de Capacidade
<b>Proven</b>	WT15000	15 kW	20,42%
<b>Hummer</b>	H13.2	20 kW	12,59%
<b>Hummer</b>	H17.0	50 kW	11,47%
<b>Bergey</b>	Excel 10	10 kW	2,15%
<b>Aria</b>	Libellula 20	20kW	8,66%

Fonte: Autor, 2017

O aerogerador selecionado para o dimensionamento foi o modelo WT15000 com potência nominal de 15 kW do fabricante Proven Energy pois apresentou o melhor fator de capacidade (20,42%) de acordo com o regime de ventos.

A Figura 15 ilustra a curva de potência do aerogerador escolhido.

**Figura 15:** Curva de Potência do aerogerador WT15000



Fonte: Proven Energy, 2017

### 3.6 Cálculo do potencial de geração de energia eólica

Para se obter o potencial efetivo de geração de eletricidade é preciso fazer o cruzamento dos dados das velocidades do ventos e suas respectivas frequências (Tabela 3) com a curva de potência fornecida pelo fabricante do aerogerador ilustrado na Figura 15. Para o cálculo de dimensionamento do sistema de energia eólica fez-se necessário a utilização de dados de geração mensal de energia elétrica do aerogerador e de consumo do Campus Macaé.

A produção diária estimada de energia do aerogerador escolhido é de 74,53 kWh e conseqüentemente uma produção mensal média de 2.236 kWh. Aplicando-se esses dados resultou num quantitativo de 22 aerogeradores produzindo, em média, 49.191 kWh por mês.

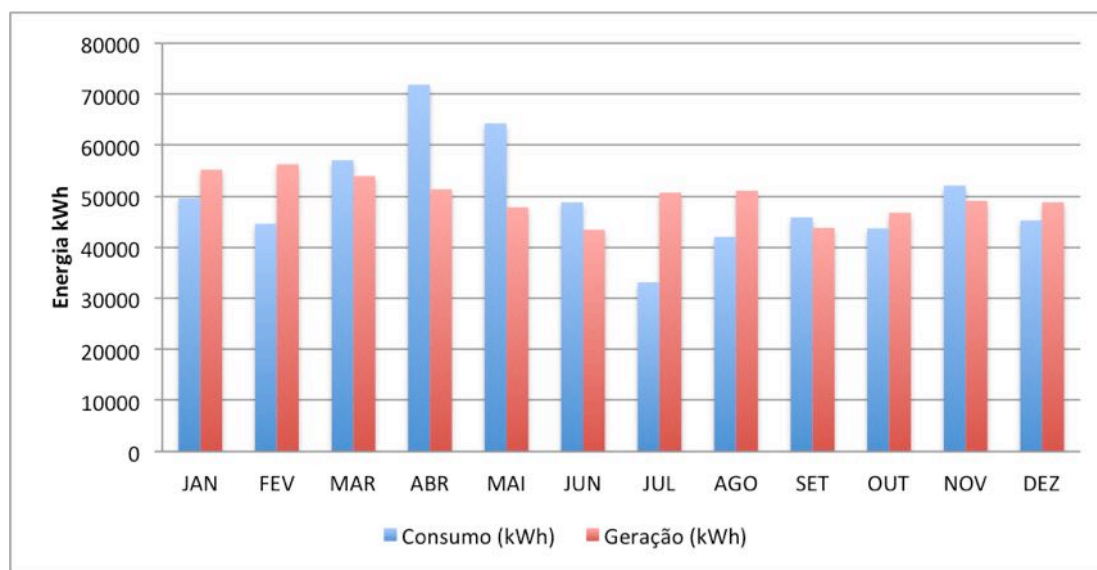
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliação da geração de energia elétrica produzida pela Energia Solar

A Figura 14 ilustra um comparativo da geração e consumo de energia elétrica durante o ano de 2016, caso estes módulos fotovoltaicos estivessem sido instalados. A simulação da geração foi feita aplicando os valores mensais médios de irradiação solar no sistema fotovoltaico proposto. Observa-se nessa simulação que durante 6 meses do ano houve mais geração do que consumo, criando créditos para os meses que o consumo foi maior que a geração.

Para a instalação desses módulos, será necessário uma área 2.486,22 m<sup>2</sup> disponível. A área compreendida pelo Campus Macaé corresponde à 46.214 m<sup>2</sup> mas apenas 8.836 m<sup>2</sup> podem ser utilizados para a geração de energia solar sem sofrer perdas causadas por sombreamentos ou outros fatores externos.

**Figura 14:** Consumo e Geração através da Energia Solar



Fonte: Autor, 2017

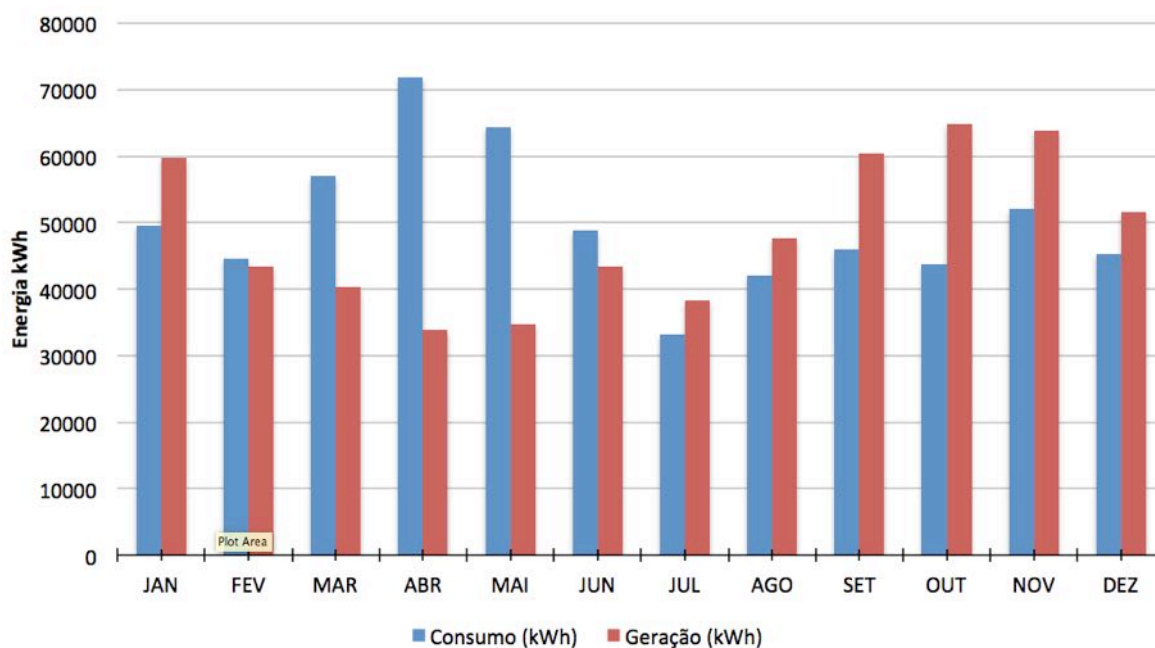


## 4.2 Avaliação da geração de energia elétrica produzida pela Energia Eólica

A Figura 15 ilustra um comparativo da geração dos 22 aerogeradores e consumo de energia elétrica durante o ano de 2016, caso estes fossem instalados. A simulação da geração foi feita aplicando as velocidades médias dos ventos mensais com suas respectivas frequências no sistema eólico proposto. Observou-se que os meses de fevereiro à junho o consumo ultrapassaria a geração, criando débitos de energia mas sendo compensado nos demais meses em que houve mais geração do que consumo.

Sabendo que cada aerogerador necessita de uma área de 225 m<sup>2</sup> para instalação obtem-se uma área de aproximadamente 4.950 m<sup>2</sup> para os 22 aerogeradores.

**Figura 15:** Consumo e Geração através da Energia Eólica



Fonte: Autor, 2017

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta uma avaliação do potencial da geração distribuída de energia aplicada ao uso da fonte solar e eólica no Instituto Federal Fluminense Campus Macaé. Esta avaliação foi feita a partir do levantamento dos dados de consumo e de recursos solar e eólico e também da pesquisa dos geradores de energia. Com essas informações, foi possível dimensionar cada sistema separadamente para o fornecimento de energia elétrica no Campus Macaé.

Na avaliação da geração através do uso da fonte solar se confirma a hipótese de implementar o uso de módulos fotovoltaicos para suprir totalmente a necessidade do consumo de energia elétrica das instalações do Campus, utilizando um sistema de geração com 1.545 módulos fotovoltaicos. Na simulação do sistema proposto, alguns meses o consumo foi maior que a geração de energia mas de acordo com a REN 482/2012 esse débito de energia seria suprido pelos demais meses que geraram créditos utilizando o Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Uma outra possibilidade seria sobre dimensionar o sistema fotovoltaico para que outros campis do Instituto Federal Fluminense pudessem se beneficiar do excedente produzido.

Na avaliação da geração através do uso da fonte eólica também se confirma a hipótese de implementar o uso de aerogeradores, mas seria de grande importância um estudo mais aprofundado através de uma medição *in loco* da velocidade dos ventos em função da possível turbulência ocasionada pelas árvores, prédios, casas, relevo e também pelo fluxo de veículos na rodovia em frente ao Campus e do local da instalação dos 22 aerogeradores. Na simulação da geração também foi percebido o débito de energia em 5 meses sendo compensado nos outros 7 meses que geram crédito.

Os resultados apresentados neste trabalho ilustram evidências fortes que o local estudado possui um grande potencial de geração de energia elétrica, podendo suprir não só as suas próprias necessidades energéticas, mas também beneficiar outros campis.

O presente trabalho contribui também para disseminar o uso de fontes renováveis nos órgãos públicos, proporcionando uma solução para redução dos gastos públicos com energia elétrica e contribuindo para a sustentabilidade do país utilizando os recursos naturais de forma inteligente.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARANTE, O. A. C. *et al.* **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**, 2001.

AMARANTE, O. A.; SILVA, F. J. L.; RIOS FILHO, L. G. **Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2002.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e minigeração distribuída**. Cadernos temáticos. Brasília, 2014.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. 2<sup>a</sup>. ed – Brasília : ANEEL, 2016.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Nota Técnica nº 0056/2017** - Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024. Rio de Janeiro, 2017.,

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Balanco Energético Nacional (BEN) 2017**. Relatório Síntese. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE).2017

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 24, de 5 de Julho de 2001**. Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica. Fica criado o Programa Emergencial de Energia Eólica - PROEÓLICA no território nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 6 jul. 2001, Sec. 1, p. 5.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 10.438, de 26 de Abril de 2002**. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. de Abril de 2002, Sec. 1, p. 2.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 10.762, de 11 de Novembro de 2003**. Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica, altera as Leis nº 8.631, de 4 de março de 1993, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 11 dez. 2003, Sec. 1, p. 127.

BRAUN, P. **A integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana**. Tese (Doutorado em Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Orientador: Ricardo Rüther.2010.

DALTON, G.J. ; LOCKINGTON, D.A.; BALDOCK, T.E. Case study feasibility analysis of renewable energy supply options for small to medium-sized tourist accommodations. **Renewable Energy Journal**, v. 34, p. 1134–1144, 2009.

DASSI, J. A. *et al.* Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. **XXII Congresso Brasileiro de Custos**, nov. 2015

DUTRA, R. M. **Energia eólica: Princípios e tecnologia**. Rio de Janeiro: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Britto, 2008.

EL-TOUS, Y. A Study of a Grid-connected PV Household System in Amman and the Effect of the Incentive Tariff on the Economic Feasibility. **International Journal of Applied Science and Technology**, v. 2, n. 2, 2012

FARICELLI, C. D. F. **Seguidor solar para sistemas fotovoltaicos**. Monografia—São Paulo, SP: Universidade de São Paulo, 2008.

FREITAS, B. M.R., HOLLANDA, L. **Micro e minigeração no Brasil: viabilidade econômica e entraves do setor**. FGV Energia. White Paper. Rio de Janeiro, 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 175 p.

HASAN,M. , Khan F.A Comparative Study on installation of Solar PV System for Grid and Non Grid Rural Areas of Bangladesh. **2nd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET 2012)**, Dhaka, pp. 1-5, 2012

INEE. Instituto Nacional de Eficiência Energética. **Notas sobre Geração Distribuída: Fórum de Cogeração**. Brasil. 2001.

\_\_\_\_\_. Instituto Nacional de Eficiência Energética. O que é geração distribuída?. Disponível em: <[www.inee.org.br](http://www.inee.org.br)>. Acesso em: 06 jul. 2018.

KEBEDE, K. Y. Viability study of grid-connected solar PV system in Ethiopia. **Sustainable Energy Technologies and Assessments Journal**, v.10, p. 63-70, 2015

- LIMA, L.A. BEZERRA FILHO, C. R. Wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo – Pernambuco, Brazil. **Renewable Energy Journal**. v. 35, p. 2705-2713, 2010.
- LOPES, J. C.. Manual de Tarifação da Energia Elétrica. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, PROCEL, 2002.
- LU , L.; IP, K.Y. Investigation on the feasibility and enhancement methods of wind power utilization in high-rise buildings of Hong Kong. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 450–461, 2009.
- MOHAMMADI K., MOSTAFAEIPOUR A. Economic feasibility of developing wind turbines in Aligoodarz, Iran. **Energy Conversion and Management Journal**, v. 76, p. 645–653, 2013.
- MOSTAFAEIPOUR A., *et al.* Wind energy feasibility study for city of Shahrabak in Iran. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, p. 2545–2556, 2011.
- PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos, SP: INPE, 2006.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.
- PRODROMIDIS, G.N.; COUTELIERIS F.A. A comparative feasibility study of stand-alone and grid connected RES-based systems in several Greek Islands. **Renewable Energy Journal**, v. 36 p. 1957-1963, 2011.
- REN21 - Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. **Renewables 2015: Global Status Report**. 2015.
- RIBEIRO, V. D. **Análise técnico-econômica de um sistema híbrido de geração na rede elétrica da ilha do fundão**. 2014. Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014
- RIBEIRO, A. E. D. **Análise da influência da localização, área e forma de sítios no potencial de geração de energia elétrica de pequena escala no brasil: um método para as fontes solar e eólica**. 2015, Tese Doutorado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2015
- RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Editora UFSC / LABSOLAR, Florianópolis, 2004. 114p.

SALAMONI, I. T. **Metodologia para cálculo de geração fotovoltaica em áreas urbanas aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SHAFIULLAH, G.M. *et al.* Prospects of renewable energy – a feasibility study in the Australian context. **Renewable Energy Journal**, v. 39, p. 183-197, 2012.

TAKENAKA, F. A. **Avaliação do potencial de geração de energia solar fotovoltaica na cobertura das edificações do campus I- CEFET- MG, interligado à rede elétrica**. 2010. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010

TARIGANA, E. *et al.* Techno-economic Simulation of a Grid-connected PV System Design as Specifically Applied to Residential in Surabaya, Indonesia. **Energy Procedia Journal**, v. 65, p. 90-99, 2015.

TEIXEIRA, A.C. *et al.* Viability analysis of a grid-connected photovoltaic system in IFRN, campus João Câmara. **Revista Holos**, vol. 1, p 285-294, 2016.

TOMALSQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro Interciência, 2003.

\_\_\_\_\_. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE: Rio de Janeiro, 2016.

TIBA, C. **Atlas Solarimétrico do Brasil**. Recife, 2000.

UENF. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. **Relatório Eólico de Macaé**. Macaé, RJ. 2016. 99p.

## ARTIGO CIENTÍFICO 2

### ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA HÍBRIDO SOLAR-ÉOLICO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO PÚBLICA

*FEASIBILITY STUDY OF SOLAR-AEOLIC HYBRID DISTRIBUTED MINIGENERATION SYSTEM  
IN A PUBLIC EDUCATIONAL INSTITUTION*

Diego Fernando Garcia – IFFluminense/PPEA  
Marcos Antônio Cruz Moreira – IFFluminense/PPEA  
Augusto Eduardo Miranda Pinto – IFFluminense/PPEA

#### RESUMO

Diante à crise econômica atual do Brasil e às diversas ações do governo federal de redução do orçamento público, é necessário estudar alternativas e propostas que colaborem para a diminuir os gastos neste orçamento. O objetivo principal deste trabalho foi realizar um estudo de viabilidade da melhor configuração de um sistema de minigeração distribuída, através de módulos fotovoltaicos e aerogeradores, do ponto de vista técnico e econômico. O projeto foi realizado com aplicação para uma instituição de ensino da esfera federal localizado na cidade de Macaé no Rio de Janeiro, Brasil visando contribuir para a redução dos gastos com energia elétrica. Para o desenvolvimento do projeto, foi utilizado o software Homer Pro Energy que possui um modelo de otimização que ajuda na tarefa de avaliar a viabilidade de projetos de sistemas de geração distribuída. O sistema de minigeração distribuída sugerido pelo software Homer foi de 210 kW de energia eólica e 120 kW de energia fotovoltaica resultando num investimento inicial de R\$ 1.665.472,94 e um retorno de investimento de 3,15 anos.

**Palavras chave:** Geração Distribuída, Homer, Energia Solar, Energia Eólica.

### ***ABSTRACT***

*Given the current economic crisis in Brazil and the various actions of the federal government to reduce the public budget, it is necessary to study alternatives and proposals that collaborate to reduce spending in this budget. The main objective of this work was to carry out a feasibility study of the best configuration of a distributed minigeration system, through photovoltaic modules and aerogenerators, from a technical and economic point of view. The project was carried out with application to a federal education institution located in the city of Macaé in Rio de Janeiro, Brazil, aiming to contribute to the reduction of electric energy expenditures. For the development of the project, we used the software Homer Pro Energy that has an optimization model that helps in the task of evaluating the feasibility of projects of distributed generation systems. The distributed minigeration system suggested by the Homer software was 210 kW of wind energy and 120 kW of photovoltaic energy resulting in an initial investment of R \$ 1,665,472.94 and a return of investment of 3.15 years.*

**Keywords:** *Distributed Generation, Homer, Solar Energy, Wind Energy*



## 1. INTRODUÇÃO

As fontes renováveis na Matriz Energética Brasileira, segundo o Balanço Energético Nacional de 2017, mantiveram sua participação entre as mais altas do mundo em 2016, com pequeno crescimento devido à queda da disponibilidade interna de petróleo e à expansão da geração hidráulica. A Matriz Energética é composta pela energia hidráulica com 68,1 % de participação, seguido do gás natural, com 9,1%, biomassa, com 8,2%, eólica com 5,4%, derivados do petróleo com 3,7%, carvão e derivados com 2,9%, nuclear com 2,6% e por último da energia solar (0,01%) (BRASIL, 2017).

Freitas e Dathein (2013) constataram que a expansão da utilização de fontes renováveis na matriz contribui para o alcance de melhores níveis de desenvolvimento. Uma das formas de utilizar as fontes renováveis de energia é através de sistemas de geração distribuída. Segundo IEA (2002), a geração distribuída é definida como a produção de energia localizada próxima à unidade consumidora proveniente de geradores à combustíveis fósseis e das energias renováveis.

No Brasil, a micro e a minigeração distribuída tem sido pouco utilizada pelos órgãos e entidades públicas. As classes de consumidor Serviço Público e Poder público representam 1,03% do total de conexões ao sistema elétrico brasileiro (ANEEL, 2018).

Durante a pesquisa, foram encontrados poucos estudos de avaliação de viabilidade técnico-econômico de sistemas híbridos de geração distribuída para órgãos públicos comparado aos estudos de órgãos privados. Um estudo realizado na Universidade Federal do Rio de Janeiro feito por Ribeiro (2014) sobre implantação de um sistema híbrido evidenciou que não é viável devido à baixa velocidade do vento do sítio e ao alto preço dos módulos fotovoltaicos da época.

Em relação aos estudos de órgãos privados, o estudo de Dalton *et al* (2009) mostrou que a implantação de um sistemas híbrido de um hotel de grande porte é viável tanto tecnicamente como economicamente. No artigo de Ajao, Oladosu e Popoola (2011) o estudo não se mostrou viável economicamente em função do tempo do retorno do investimento de trinta e três anos. Chaicha (2016) avaliou positivamente um sistema híbrido para uso em iluminação de avenidas.

Diante desses estudos, as seguintes questões orientaram a presente pesquisa:

1. Um sistema geração distribuída híbrido pode fornecer energia elétrica ao Instituto Federal Fluminense Campus Macaé?
2. Qual a quantidade de módulos fotovoltaicos e aerogeradores proverá a melhor solução técnico-econômica usando o Valor Presente de Custo (VPC)?
3. Qual é o tempo de retorno do investimento?

Para examinar essas questões um estudo de caso foi conduzido usando os dados de consumo e carga do Instituto Federal Fluminense Campus Macaé do ano de 2017 e um software de modelagem de viabilidade técnica e econômica de sistemas de geração distribuída.

Um programa de modelagem foi pesquisado para ajudar na solução das questões levantadas. O *software* Homer Pro Energy foi escolhido pois é utilizado extensivamente em estudos de caso semelhante ao proposto neste trabalho. Através deste *software*, os trabalhos de Dalton (2009), Ajao, Oladosu e Popoola (2011), Shiroudi (2012), Chaicha (2016) dimensionaram sistemas híbridos com viabilidade técnica e econômica. O *software* Homer Pro Energy simula e otimiza diversas configurações quanto à tecnologia e ao dimensionamento dos sistemas de geração distribuída e também avalia as questões econômicas do empreendimento.

Diante à crise econômica atual do Brasil e às diversas ações do governo federal de redução do orçamento público, é necessário estudar alternativas e propostas que colaborem para reduzir as despesas neste orçamento. O presente trabalho visa avaliar a viabilidade técnica e econômica de um projeto de um sistema de minigeração distribuída através de fontes renováveis numa instituição federal de ensino.

## **2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

A Geração Distribuída (GD) é uma expressão utilizada para caracterizar a geração de eletricidade próxima ou junto do consumidor sem restrições de potência, tecnologia ou de fonte de energia (INEE, 2018). A GD é definida pela implantação de pequenos geradores instalados juntos aos consumidores de energia elétrica que utilizam fontes renováveis ou combustíveis fósseis (ANEEL, 2016).

Em geral, os microgeradores e minigeradores instalados próximos aos consumidores podem possibilitar benefícios para o sistema de distribuição de energia sendo que os principais são: protelar os investimentos na construção de novos sistemas de distribuição e transmissão, minimizar o impacto ambiental, melhorar a estabilização da tensão da rede no período de pico diário e diversificar a matriz nacional de energia. (ANEEL, 2014)

A conexão de sistemas de GD podem ser feitas de duas maneiras: a primeira é a geração conectada ao sistema elétrico atendendo à carga paralelamente e a segunda é através de um sistema de geração isolado do sistema elétrico (SEVERINO, 2008).

Os sistemas híbridos de geração distribuída são concebidos para superar as limitações de disponibilidade de geração de energia entre os sistemas eólico e fotovoltaico proporcionando a complementariedade em relação aos horários do dia e às estações do ano (SIQUEIRA, 2005).

A Tabela 1 ilustra o panorama no Brasil das classes consumidoras com Geração Distribuída no Brasil. A classe de consumo Poder Público, ao qual o Instituto Federal Fluminense pertence, representa apenas 0,883% do total de unidades com geração distribuída até abril de 2018.

**Tabela 1:** Unidades Consumidoras com Geração Distribuída.

<b>Classe de Consumo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Instalada (kW)</b>
<b>Comercial</b>	4.262	146.010,05
<b>Iluminação pública</b>	8	84,90
<b>Industrial</b>	643	40.049,50
<b>Poder Público</b>	234	9.284,97
<b>Residencial</b>	20.415	93.008,77
<b>Rural</b>	891	26.908,03
<b>Serviço Público</b>	40	1.231,07
<b>Total</b>	<b>26.493</b>	<b>316.577,29</b>

Fonte: ANEEL (2018)

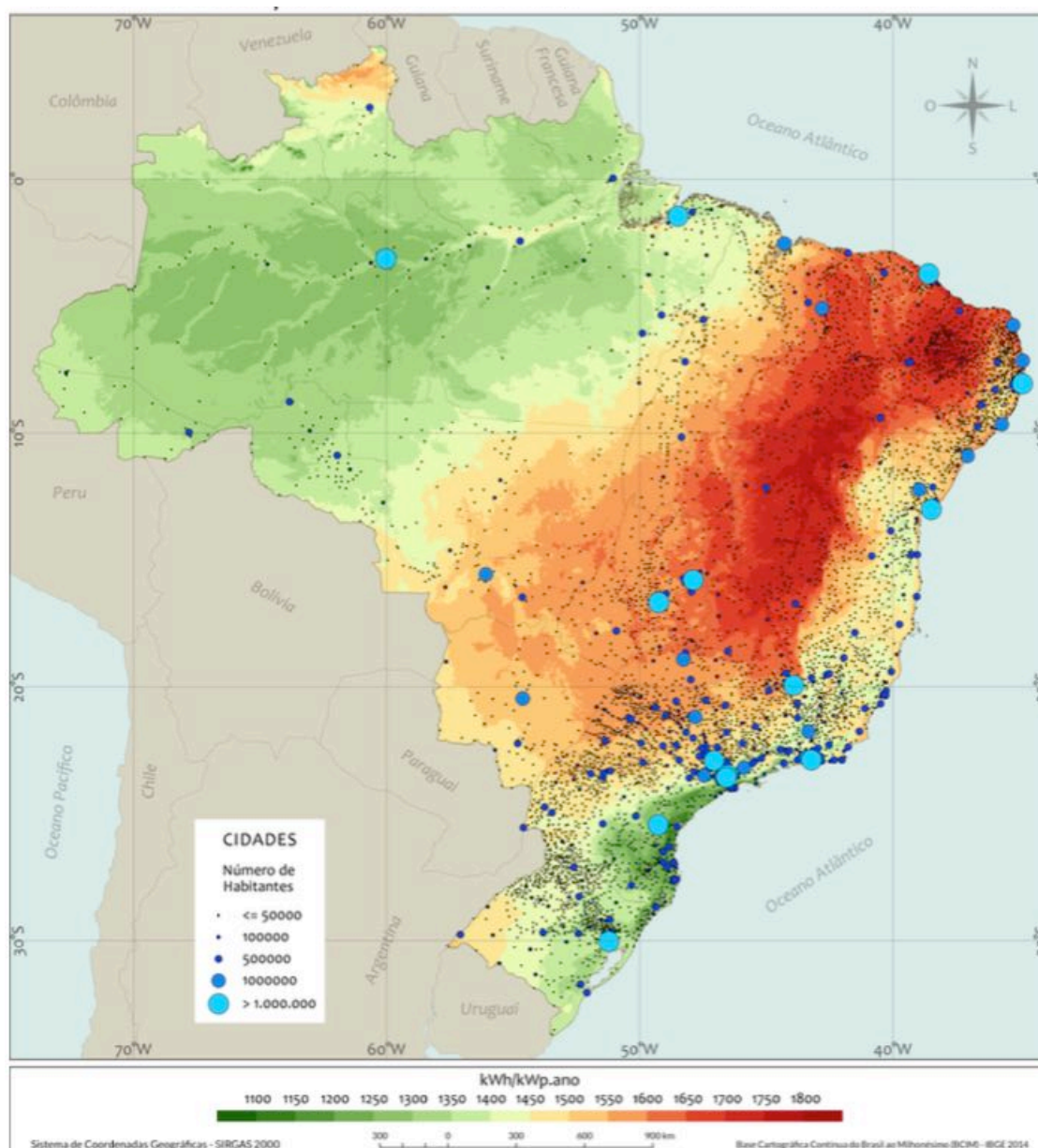
Esse é um dos pontos que o presente trabalho pretende contribuir, tornar o Instituto Federal Fluminense Campus Macaé uma unidade consumidora de geração distribuída aumentando a participação da classe de consumo ao qual pertence.

Segundo ANEEL (2017), as principais fontes renováveis dos micro e minigeradores sistemas distribuídos instalados no Brasil são a fonte solar e a eólica, correspondendo, respectivamente, a 70% e 9% do total de 114.7 MW instalados.

A Figura 1 apresenta o mapa eólico do Rio de Janeiro, evidenciando que a região Norte Fluminense possui o maior potencial eólico do Estado, juntamente com a região do Lagos.



**Figura 2:** Potencial de Geração Fotovoltaica.



Fonte: PEREIRA *et al* (2017)

### 3. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica e econômica de um sistema geração distribuída híbrido solar-eólico, levantando hipóteses de possíveis combinações de sistemas solar e eólico para geração de energia elétrica no Instituto Federal Fluminense Campus Macaé.

Os objetivos específicos são dimensionar a quantidade de módulos fotovoltaicos e aerogeradores através de Valor Presente de Custos (VPC) e calcular o tempo de retorno do investimento (*payback* simples).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia a ser utilizada neste trabalho pode ser caracterizada como um estudo de caso, onde será adotado como caso base o Instituto Federal Fluminense do Campus Macaé . Dentre os propósitos apontados por Gil (2009) para se utilizar o estudo de caso, destacam-se: explorar situações reais dos quais os limites não são claramente definidos; preservar o caráter unitário do objeto estudado; descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação; formular hipóteses e testá-las.

Para o desenvolvimento do estudo de caso mencionado foi necessário 4 etapas:

- 1.. Estudo do Software Homer Pro Energy;
2. Levantamento dos dados da instituição de ensino;
3. Levantamento dos dados dos equipamentos do sistema de geração distribuída;
4. Simulação do sistema de geração distribuída.

### 4.1 Estudo do Software Homer Pro Energy

O *software* Homer, sigla para *Hybrid Optimization Model for Electric Renewable*, é um sistema computacional que possibilita a modelagem, otimização e avaliação de sistemas de geração distribuída desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos (NREL). Ele auxilia de diversas formas: no dimensionamento do projeto, na escolha de qual tecnologia utilizar, na comparação técnica e econômica entre essas tecnologias, e também aos problemas relacionados a variabilidade e inconstância dos recursos naturais.

Os principais dados de entrada no *software* são: comportamento da carga do sistema (demanda e consumo), localização geográfica, dados técnicos dos equipamentos que se deseja utilizar, custos dos equipamentos e manutenções, tempo de vida útil e os dados de possíveis restrições ao projeto.

Os principais dados de saída do *software* são: o dimensionamento ideal do sistema geração de energia, o valor do custo da energia elétrica com o sistema em uso, o valor presente de custos do projeto, o custo operacional anual, o investimento inicial e tempo de retorno do investimento.

A primeira etapa que o *software* Homer processa é a simulação. A simulação consiste em modelar de hora em hora o desempenho do sistema procurando determinar se o projeto é viável tecnicamente e seu custo de funcionamento e instalação durante sua vida útil. A segunda etapa é a otimização, ao qual, o *software* processa as configurações possíveis do sistema buscando a solução

de menor custo e que atenda as restrições técnicas. Na última etapa, o programa faz a análise de sensibilidade que compara os resultados das diversas otimizações avaliando as incertezas do projeto.

Para o cálculo do Valor Presente de Custo (VPC), no software chamado em inglês de *total net present cost* (NPC), é utilizado a taxa de juros real, os fluxos de caixa e o seu período de duração. O VPC é a soma de todos o custo de projeto contabilizando o fluxo de caixa futuro descontado no presente, possibilitando avaliar a viabilidade de cada projeto. O menor valor de VPC é considerado o projeto ideal para o sistema. Com a equação 1, o NPC é calculado (NREL, 2011):

$$NPC = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

Em que,

*NPC* – valor presente de custos (*total net present cost*);

*CF* – fluxo de caixa (*cash flow*);

*i* – taxa de juro real;

*t* – tempo.

Portanto, o Homer necessita que o usuário informe a taxa de juros nominal e a taxa de inflação para que seja calculada a taxa de juros real. Com a equação 2, a taxa é calculada (NREL, 2011):

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \cong i' - f \quad (1)$$

Em que:

*i* – taxa de juros real;

*i'* – taxa de juros nominal;

*f* – taxa de inflação.

Segundo Banco Central do Brasil, para o período de janeiro a dezembro de 2017 a taxa de inflação foi de 2,947% e a taxa de juros nominal foi de 9,939%.

O retorno do investimento (*payback*) é o número de anos necessários para que valor economizado após a instalação do sistemas seja igual ao valor do investimento inicial. Outro cálculo que o HOMER realiza é o Custo da Energia (*Cost of Energy - COE*) que se refere à média de custo por kWh de energia elétrica produzida pelo sistema. Outro termo calculado é o Custo Operacional (*Operating Cost*) que é a soma dos custos de operação e manutenção, substituição e compras de energia e de demanda da concessionária. Por fim, o *software* calcula o Investimento Inicial (*Initial Capital*) referente ao custo total instalado do sistema no início do projeto.

## 4.2 Levantamento dos dados da Instituição de Ensino

A Instituição de ensino é o Instituto Federal Fluminense Campus Macaé situado na cidade de Macaé ao Norte do Estado do Rio de Janeiro, latitude Sul 22,405833° e longitude Oeste 41,843889° com área total de 46.214 m<sup>2</sup>. A instituição é alimentada em alta tensão através da Concessionária ENEL e está classificada na Modalidade Tarifária Verde A4 Classe Poder Público. A instalação é classificada no grupo A4 (faixa de 2,3kV a 25kV), pois recebe energia através da tensão de 13,8 kV.

O Campus Macaé possui uma potência de 1.615 kW referente aos 211 condicionadores de ar instalados e uma potência de 173,9 kW referente à iluminação instalada além de vários outros equipamentos elétricos e eletrônicos.

A Tabela 1 ilustra os valores do consumo mensal do ano de 2017. Destaque para o mês de Abril que obteve o maior consumo total do ano (73.517 kWh) e, também para o mês de Agosto que obteve o menor consumo do ano (41.289 kWh).

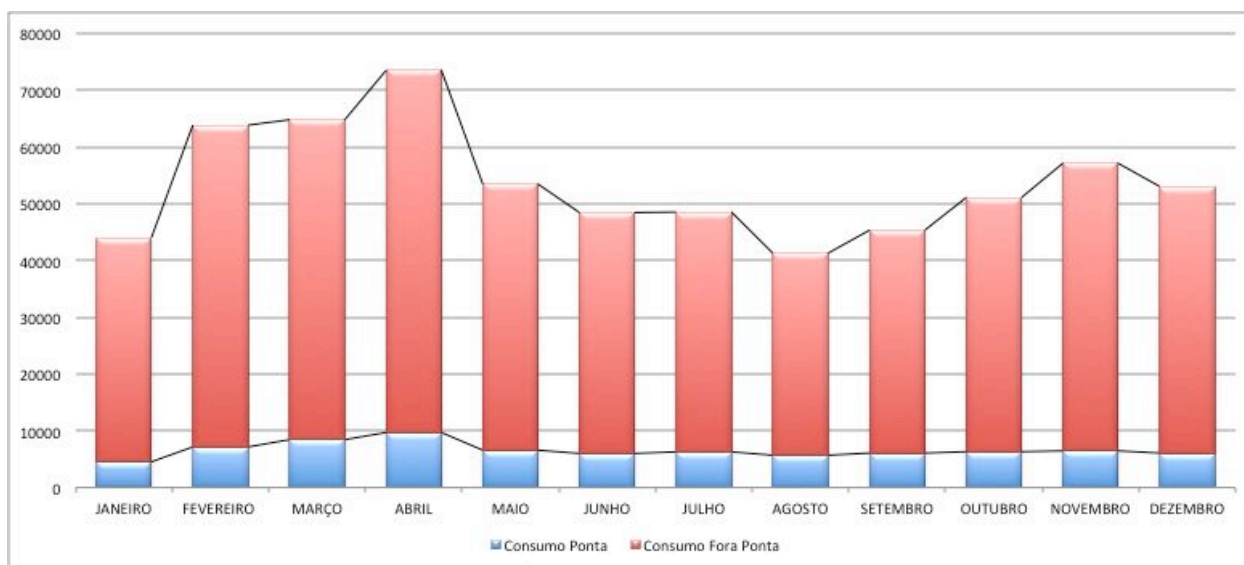
**Tabela 2:** Levantamento do consumo de energia elétrica.

<b>Mês</b>	<b>Consumo Ponta (kWh)</b>	<b>Consumo Fora Ponta (kWh)</b>	<b>Consumo Total (kWh)</b>
<b>Janeiro</b>	4.525	39.501	44.027
<b>Fevereiro</b>	7.154	56.700	63.854
<b>Março</b>	8.435	56.364	64.799
<b>Abril</b>	9.698	63.819	73.517
<b>Mai</b>	6.575	46.872	53.447
<b>Junho</b>	6.010	42.441	48.451
<b>Julho</b>	6.286	42.252	48.538
<b>Agosto</b>	5.694	35.595	41.289
<b>Setembro</b>	6.074	39.270	45.344
<b>Outubro</b>	6.317	44.772	51.089
<b>Novembro</b>	6.459	50.673	57.132
<b>Dezembro</b>	6.081	46.977	53.058
<b>Média</b>	<b>6.609</b>	<b>47.103</b>	<b>53.712</b>

Fonte: AUTORES (2018)

A Figura 3 ilustra o comportamento dos consumos de ponta e fora ponta ao longo do ano de 2017.



**Figura 3:** Consumo Ponta e Fora Ponta em 2017.

Fonte: AUTORES (2018)

A Tabela 3 ilustra as médias de todos os meses do ano de 2017 e suas respectivas tarifas médias e a composição dos valores médios pagos a concessionária.

**Tabela 3:** Média das faturas de energia elétrica.

Descrição	Quantidade	Tarifa Média	Total
<b>Consumo Ponta (kWh)</b>	6.609,08	R\$ 2,603	R\$ 17.201,23
<b>Consumo Fora Ponta (kWh)</b>	47.103,00	R\$ 0,5262	R\$ 24.818,56
<b>Consumo Reativo Ponta (kVAr)</b>	62,08	R\$ 0,3902	R\$ 24,87
<b>Consumo Reativo Fora Ponta (kVAr)</b>	2.070,25	R\$ 0,39	R\$ 809,75
<b>Demanda Faturada Fora Ponta (kW)</b>	269,66	R\$ 29,96	R\$ 8.065,69
<b>Demanda Ultrapassada Fora Ponta (kW)</b>	5,58	R\$ 14,81	R\$ 325,60
<b>Demanda Contratada (kW)</b>	263		R\$ 7.871,59
<b>Total</b>			<b>R\$ 59.117,29</b>

Fonte: AUTORES (2018)

Para o projeto em questão, o *software* possibilita a inserção de quatro tarifas em dois tipos de período. As duas primeiras tarifas referem-se ao período úmido (dezembro a abril) cujo horário de fora de ponta é denominado *Wet-off Peak* e o horário de ponta é denominado *Wet-Peak*. As duas últimas tarifas referem-se ao período seco (maio a novembro) cujo horário de fora de ponta é chamado de *Dry-off Peak* e o horário de ponta sendo denominado de *Dry-Peak*.

A Tabela 4 ilustra os valores referentes as tarifas de energia elétrica utilizados no projeto, sendo a demanda fixa contratada de 263 kW pela concessionária ENEL.

**Tabela 4:** Tarifas utilizadas no projeto.

Grupo	Demanda (R\$/kW)	Consumo R\$/kWh			
		Ponta		Fora de Ponta	
		Seca	Úmida	Seca	Úmida
A4	30,96	2,619	2,581	0,514	0,544

Fonte: AUTORES (2018)

Para obter os dados de radiação solar e velocidades dos ventos, o *software* Homer acessa através da internet, a base de dados da NASA, na medida em que dados relativos à latitude e à longitude local são inseridos.

### 4.3 Levantamento dos dados dos equipamentos do sistema de geração distribuída

Para a instalação de um sistema geração distribuída eólico-solar conectado à rede são necessários, basicamente, módulos fotovoltaicos, aerogeradores, conversores, baterias, cabos e estrutura para fixação. Dentre eles, módulos fotovoltaicos, aerogeradores, conversores e as baterias demandam grande parte dos custos do projeto.

Para o projeto foi escolhido o módulo fotovoltaico do fabricante Canadian Solar o modelo CSP6 com potência nominal de 265 W, eficiência de 16,47% e área do módulo de 1,61 m<sup>2</sup> por estar disponível no mercado nacional e possuir uma boa eficiência operacional. Segundo PV Magazine (2018), os preços dos módulos fotovoltaicos tem variado em 2018 de 0,26 €/Wp a 0,47 €/Wp. Visando considerar o pior cenário adotou-se o maior valor. Utilizando a cotação do euro de 2 de janeiro de 2018, o preço final do módulo fotovoltaico de 265 W é de R\$ 686,49.

O aerogerador selecionado para o dimensionamento foi o modelo WT15000 com potência nominal de 15 kW do fabricante Proven Energy pois apresentou o melhor fator de capacidade de acordo com o regime de ventos. Segundo Statista (2018), o preço do aerogerador em 2018 é de 1,03 US\$/MW. Utilizando a cotação do dólar de 2 de janeiro de 2018, o preço do aerogerador é de R\$ 70.723,61 por unidade.

Para o Conversor de corrente contínua em corrente alternada foi utilizado um equipamento genérico de 1kW disponibilizado no Homer e considerado o preço, segundo PV Magazine (2018), de 0,11 €/W, totalizando R\$ 606,30 por conversor de 1kW.

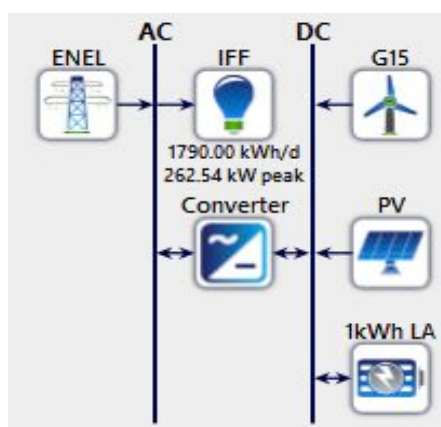
Em relação a Bateria, também foi utilizado um equipamento genérico de 1kWh e pesquisando o preço médio no mercado nacional considerou-se o valor R\$ 400,00 por bateria.

#### 4.4 Simulação do Sistema de Geração Distribuída

O sistema foi simulado com dois barramentos: um barramento de corrente contínua onde estão conectados os aerogeradores, os módulos fotovoltaicos e as baterias e um barramento de corrente alternada onde estão conectados a carga da instituição e a concessionária. A conexão entre os dois barramentos é feita através do conversor de corrente contínua em corrente alternada.

Na Figura 4, “ENEL” representa a concessionária de Energia Elétrica, “IFF” é referente à carga do Sistema Elétrico do Campus Macaé com 1790 kWh/dia de consumo médio e 262,54 kW de demanda máxima; “Converter” simboliza o Conversor; “G15” representa o aerogerador de 15kW; “PV” representa o módulo fotovoltaico; e, por fim, “1 kWh LA” é a nomenclatura utilizada para a bateria.

**Figura 4:** Sistema de Geração Distribuída proposto para o IFF.



Fonte: Homer Energy (2018)

Em função da vida útil dos aerogeradores e módulos fotovoltaicos foi considerado o período de 25 anos de durabilidade do projeto.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a inserção dos dados de entrada no Homer, o programa foi simulado e encontrou-se a melhor proposta para o sistema de minigeração distribuída. Por meio das simulações realizadas, foi possível verificar que uma solução é apontada apenas quando o sistema consegue suprir a demanda especificada. O *software* realizou 9216 simulações buscando as melhores e possíveis combinações. A Tabela 5 ilustra a melhor solução encontrada pelo *software* para o sistema baseado no Valor Presente de Custos.

**Tabela 5:** Solução ideal calculada.

<b>SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA</b>	
<b>Módulos Fotovoltaicos</b>	453 módulos (120 kW)
<b>Aerogeradores</b>	14 (210 kW)
<b>Baterias 1kWh</b>	411
<b>Conversor</b>	330 kW
<b>Custo da Energia (COE)</b>	R\$ 0,3913
<b>Valor Presente de Custos (NPC)</b>	R\$ 3.035.941,41
<b>Custo Operacional por Ano</b>	R\$ 115.414,10
<b>Investimento Inicial</b>	R\$ 1.665.472,94

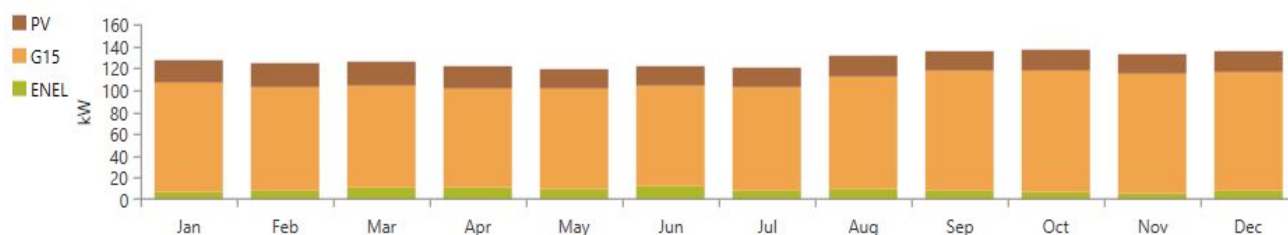
Fonte: Homer Energy (2018)

O menor Valor Presente de Custos (NPC) estimado pelo *software* foi de R\$ 3.035.941,41. Para este NPC, a solução ideal sugere que sejam utilizados 14 aerogeradores de 15 kW e 453 módulos de 265 W para suprir a necessidade do Instituto Federal Fluminense. O número de baterias ideal é de 411, resultando em uma autonomia do sistema de aproximadamente 3,31 horas, ou seja, caso haja alguma falha no sistema da concessionária e a geração seja comprometida. O conversor projetado possui potência de 330 kW. O custo médio da energia gerada (“COE”) é de R\$ 0,3913 por kWh e o sistema é capaz de fornecer 1.118.226 kWh/ano, referente a uma geração diária média de 3.063,63 kWh. Sendo assim, pode-se concluir que o sistema é capaz de suprir a demanda da Instituição (1.790 kWh/dia) e gerar um excedente suficiente para obter créditos diante a concessionária e também realizar o carregamento das baterias garantindo uma excelente confiabilidade.

O sistema eólico é responsável por 77,9 % da energia total gerada, enquanto o sistema fotovoltaico fornece 15,2 % e a concessionária, 6,9 %. Essa parcela de energia comprada da concessionária é devido a intermitência do regime dos ventos e da radiação solar. Tal informação

pode ser comprovada na Figura 5, que mostra a produção de energia mensal referente a cada geração. Cada coluna representa a produção mensal total dos três sistemas de geração, sendo que a coluna verde indica a geração do sistema da concessionária, a coluna laranja, a geração do sistema eólico e a coluna marrom, a geração do sistema solar.

**Figura 5:** Potência dos três sistemas.



Fonte: Homer Energy (2018)

A Tabela 6 ilustra os resultados obtidos na simulação para o sistema fotovoltaico. A capacidade do sistema fotovoltaico é de 120 kW, e o maior valor de potência obtido na saída é de 114 kW. A geração diária é de 465 kWh, o que representa 26% do consumo diário médio solicitado.

**Tabela 6:** Desempenho dos Módulos Fotovoltaicos.

Desempenho do Sistema Fotovoltaico	
Potência Nominal	120 kW
Potência Média	19,4 kW
Potência Máxima	114 kW
Geração de Energia média por dia	465 kWh/dia
Geração de Energia por Ano	169.747 kWh

Fonte: Homer Energy (2018)

Conforme a Tabela 7, a potência instalada do sistema eólico é de 210 kW, fornecendo o equivalente a 2.386 kWh/dia. Com isso, este sistema é capaz de fornecer um excedente de 33% da energia utilizada no Campus diariamente. Como a geração fotovoltaica fica comprometida em determinados períodos, o sistema eólico é capaz de atender grande parte da demanda durante estes intervalos.

**Tabela 7:** Desempenho do sistema eólico.

<b>Desempenho do Sistema Eólico</b>	
Potência Nominal	210 kW
Potência Média	99,4 kW
Potência Máxima	210 kW
Fator de Capacidade	71 %
Geração de Energia média por dia	2.386 kWh/dia
Geração de Energia por Ano	871.102 kWh

Fonte: Homer Energy (2018)

Em relação ao conversor, a energia que entra nele é de 606.288 kWh/ano, enquanto na saída tem-se 575.973 kWh/ano. Portanto, o total de perdas no conversor é de 5%, conforme dados da Tabela 8.

**Tabela 8:** Desempenho do Conversor.

<b>Desempenho do Conversor</b>	
Potência Nominal	330 kW
Potência Média	65,8 kW
Fator de Capacidade	19,9 %
Entrada de Energia por ano	606.288 kWh
Saída de Energia por Ano	575.973 kWh

Fonte: Homer Energy (2018)

A utilização do sistema de armazenamento contendo baterias é importante para que a confiabilidade no fornecimento de energia elétrica seja garantida. Sendo assim, quando a geração proveniente das fontes renováveis não for suficiente para atender à demanda, as baterias serão utilizadas. Quanto maior o número de baterias, maior será a autonomia do sistema e, conseqüentemente, o custo se tornará mais elevado. Conforme Tabela 9, utilizando-se um total de 411 baterias, tem-se uma autonomia de quase 3,3 horas. Além disso, a energia recebida pelas baterias foi de 31.761 kWh/ano, e a fornecida à carga foi 25.435 kWh/ano. Portanto, o total de perdas obtido no sistema de armazenamento foi de 19,9%.

**Tabela 9:** Desempenho do banco de baterias.

<b>Desempenho do Banco de Baterias</b>	
Capacidade Nominal	411 kWh
Potência Média	65,8 kW
Autonomia do Sistema	3,31 horas
Entrada de Energia por ano	31.761 kWh
Saída de Energia por Ano	25.435 kWh

Fonte: Homer Energy (2018)

Como pode ser visto na Tabela 5, o investimento inicial do projeto é de aproximadamente R\$ 1.665.472,94. Com a finalidade de estimar o tempo de retorno de investimento (*payback* simples) do projeto, o Homer realizou o cálculo aproximado de quanto tempo o Instituto Federal Fluminense pagaria de faturamento de energia elétrica caso a energia necessária fosse contratada junto à concessionária ENEL resultando no valor anual de R\$ 634.483,00. Assim, o Instituto pagaria aproximadamente uma quantia mensal de R\$ 52.873,58. Com estes dados, tem-se uma estimativa do valor de tempo de retorno de investimento (*payback* simples) de 3,15 anos, para os custos dos equipamentos obtidos por meio do dimensionamento proposto.

Em relação aos aspectos de emissões de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e Óxido de Nitrogênio (NO), a Tabela 10 ilustra o comparativo entre as emissões do sistema projetado e sem o sistema, ou sejam, utilizando somente a concessionária como fornecedora de energia. Observa-se que com a geração distribuída implementada haverá uma redução de aproximadamente de 88% de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO.

**Tabela 10:** Emissões do Sistema.

<b>Emissão</b>	<b>Com Sistema GD Kg/ano</b>	<b>Sem Sistema GD Kg/ano</b>
Dióxido de Carbono	48.902	412.917
Dióxido de Enxofre	212	1.790
Óxido de Nitrogênio	104	875

Fonte: Homer Energy (2018)

## 6. CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho foi realizar um estudo de viabilidade técnico-econômico um sistema de minigeração distribuída, através de módulos fotovoltaicos e aerogeradores. O projeto foi realizado com aplicação para uma instituição de ensino da esfera federal localizado na cidade de Macaé no Rio Janeiro.

O sistema de minigeração distribuída proposto pelo software Homer foi de 14 aerogeradores de 15 kW, totalizando 210 kW, e 453 módulos fotovoltaicos de 265 W, totalizando 120 kW, com conversores de capacidade de 330 kW e 411 baterias de 1 kWh. O Valor Presente de Custos para esse sistema foi de R\$ 3.035.941,41. Os resultados indicaram um excedente na produção de energia de 38,3% ao ano. Considerando que o sistema projetado pode operar paralelamente à rede elétrica convencional, esse excedente pode ser injetado na rede e gerar créditos, diminuindo o faturamento de energia, de acordo com a Resolução Normativa da ANEEL nº 482.

Um importante resultado obtido foi o retorno do investimento de 3,15 anos. Levando em consideração todos os benefícios envolvidos na utilização das fontes renováveis em sistemas de geração, o período de tempo do retorno de investimento é relativamente muito baixo, uma vez que o sistema contribui para uma geração de energia de forma mais limpa, além de apresentar alta confiabilidade.

Através da simulação, percebeu-se que a topologia considerada ideal para o sistema de geração projetado considera uma compra de energia da concessionária de 6,9% em função da intermitência das fontes renováveis. Caso o sistema gere o excedente de energia conforme projetado o tempo de retorno do investimento poderá ser reduzido.

Portanto, conclui-se que o sistema analisado é considerado viável de implantação, pois é possível suprir a demanda de energia elétrica necessária para atender a instituição, oferecendo uma maior confiabilidade no abastecimento devido a sua autonomia de aproximadamente de 3 horas e principalmente evidenciando a possibilidade de redução dos gastos de energia elétrica. Além disso, a utilização de um sistema de minigeração distribuída utilizando fontes de energia solar e eólica contribuem para uma geração mais limpa de energia, aproveitando o potencial disponível das fontes renováveis.

Sob a perspectiva do meio ambiente, a geração distribuída com fontes renováveis auxilia na redução das emissões de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO em comparação com a geração centralizada fornecida pela concessionária de energia elétrica.



## 7. REFERÊNCIAS

AJAO, K.R., OLADOSU, O.A, POPOOLA, O.T. Using HOMER power optimization software for cost benefit analysis of hybrid-solar power generation relative to utility cost in Nigeria. **International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences**. v. 7, p. 96-102, 2011.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e minigeração distribuída**. Cadernos temáticos. Brasília, 2014.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída - Classes de Consumo**. Disponível em: < [http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD\\_Classe.asp](http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Classe.asp)> . Acesso em 14 de abril 2018.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> . Acesso em 22 de maio 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Balço Energético Nacional (BEN) 2017**. Relatório Síntese. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE).2017

CHAICHA, M. T. *et al.* Optimal Sizing of a Hybrid System of Renewable Energy for Lighting Street in Salalah-Oman using Homer software. **International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)**, v. 2, Issue-5, May, 2016.

DALTON, G.J.; LOCKINGTON, D.A.; BALDOCK, T.E. Feasibility analysis of renewable energy supply options for a grid-connected large hotel. **Renewable Energy Journal**, v. 34, p. 955–964, 2009.

FREITAS, G. S.; DATHEIN, R. **AS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL**: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. *Nexus Econômicos*, v.7, p. 71–94, 2013. Disponível em: <<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/revnexeco/article/view/8359/9549>>.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 175 p

IEA. International Energy Agency. **Distributed Generation in Liberalized Electricity Markets**. OECD/IEA. Paris, France, 2002.

INEE. INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Notas sobre Geração Distribuída: Fórum de Cogeração**. Brasil. 2001.

NREL. NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. Getting started guide for HOMER legacy. Colorado, 2011.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2a. ed. São José dos Campos, SP: INPE, 2017.

PHOTON. **Photon-newsletter**. Disponível em: <<https://goo.gl/INQubx>>. Acesso em: 23 maio 2018.

PV MAGAZINE. **Module price index**. Disponível em: <<https://goo.gl/t4MNcg>>. Acesso em: 23 maio 2018.

SEVERINO, M. M.; CAMARGO, I. M. T.; OLIVEIRA, M. A. G.. **Geração distribuída: discussão conceitual e nova definição**. Revista Brasileira de Energia, v.14, n.1, p.47-69, 2008.

SHIROUDI, A. *et al.* Case study: Simulation and optimization of photovoltaic-wind-battery hybrid energy system in Taleghan-Iran using homer software. **Journal of Renewable and Sustainable, Energy 4**, 053111, 2012.

SIQUEIRA, J.A.C. **Desempenho de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico de pequeno porte para energização rural**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho. Botucatu, SP. 2005

STATISTA. **Price index for wind turbines in the U.S. from 2008 to 2018**. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/499491/us-wind-turbine-price-index/>>. Acesso em: 23 maio 2018.

## REFERÊNCIAS DA DISSERTAÇÃO

AMARANTE, O. A.; SILVA, F. J. L.; RIOS FILHO, L. G. **Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2002.

ANEEL. **Geração distribuída**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 30/06/2018.

AJAO, K.R., OLADOSU, O.A, POPOOLA, O.T. Using HOMER power optimization software for cost benefit analysis of hybrid-solar power generation relative to utility cost in Nigeria. **International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences**. v. 7, p. 96-102, 2011.

CHAICHA, M. T. *et al.* Optimal Sizing of a Hybrid System of Renewable Energy for Lighting Street in Salalah-Oman using Homer software. **International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)**, v. 2, Issue-5, May, 2016.

CRUZ, J. L. C.. Geração Distribuída. **Revista O Setor Elétrico**, São Paulo, 93.ed, out. 2013.

DALTON, G.J. ; LOCKINGTON, D.A.; BALDOCK, T.E. Case study feasibility analysis of renewable energy supply options for small to medium-sized tourist accommodations. **Renewable Energy Journal**, v. 34, p. 1134–1144, 2009.

DALTON, G.J.; LOCKINGTON, D.A.; BALDOCK, T.E. Feasibility analysis of renewable energy supply options for a grid-connected large hotel. **Renewable Energy Journal**, v. 34, p. 955–964, 2009.

DASSI, J. A. *et al.* Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. **XXII Congresso Brasileiro de Custos**, nov. 2015

EL-TOUS, Y. A Study of a Grid-connected PV Household System in Amman and the Effect of the Incentive Tariff on the Economic Feasibility. **International Journal of Applied Science and Technology**, v. 2, n. 2, 2012

HASAN,M. , Khan F.A Comparative Study on installation of Solar PV System for Grid and Non Grid Rural Areas of Bangladesh. **2nd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET 2012)**, Dhaka, pp. 1-5, 2012

INEE. INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Notas sobre Geração Distribuída: Fórum de Cogeração**. Brasil. 2001.

KEBEDE, K. Y. Viability study of grid-connected solar PV system in Ethiopia. **Sustainable Energy Technologies and Assessments Journal**, v.10, p. 63-70, 2015

LANDEIRA, J. L. F. **Análise técnico-econômica sobre a viabilidade de implantação de sistemas de geração fotovoltaica distribuída no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), COPPE, Universidade Federal Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LIMA, L.A. BEZERRA FILHO, C. R. Wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo – Pernambuco, Brazil. **Renewable Energy Journal**. v. 35, p. 2705-2713, 2010.

LIU, G. *et al.* Techno-economic simulation and optimization of residential grid-connected PV system for the Queensland climate. **Renewable Energy Journal**, Australia, v.45, p 146-155, 2012

LU , L.; IP, K.Y. Investigation on the feasibility and enhancement methods of wind power utilization in high-rise buildings of Hong Kong. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 450–461, 2009.

MOHAMMADI K., MOSTAFAEIPOUR A. Using different methods for comprehensive study of wind turbine utilization in Zarrineh, Iran. **Energy Conversion and Management Journal**, v. 65, p. 463–470, 2013.

MOHAMMADI K., MOSTAFAEIPOUR A. Economic feasibility of developing wind turbines in Aligoodarz, Iran. **Energy Conversion and Management Journal**, v. 76, p. 645–653, 2013.

MOSTAFAEIPOUR A., *et al.* Wind energy feasibility study for city of Shahrabak in Iran. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, p. 2545–2556, 2011.

MOSTAFAEIPOUR, A. Economic evaluation of small wind turbine utilization in Kerman, Iran. **Energy Conversion and Management Journal**, v. 73, p. 214–225, 2013.

NASCIMENTO, L. C. **A avaliação de longo prazo de um sistema fotovoltaico integrado à edificação urbana e conectado à rede elétrica pública**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos, SP: INPE, 2006.

PRODROMIDIS, G.N.; COUTELIERIS F.A. A comparative feasibility study of stand-alone and grid connected RES-based systems in several Greek Islands. **Renewable Energy Journal**, v. 36 p. 1957-1963, 2011.

SALAMONI, I. T. **Metodologia para cálculo de geração fotovoltaica em áreas urbanas aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SHAFIULLAH, G.M. *et al.* Prospects of renewable energy – a feasibility study in the Australian context. **Renewable Energy Journal**, v. 39, p. 183-197, 2012.

SHIROUDI, A. *et al.* Case study: Simulation and optimization of photovoltaic-wind-battery hybrid energy system in Taleghan-Iran using homer software. **Journal of Renewable and Sustainable, Energy 4**, 053111, 2012.

TARIGANA, E. *et al.* Techno-economic Simulation of a Grid-connected PV System Design as Specifically Applied to Residential in Surabaya, Indonesia. **Energy Procedia Journal**, v. 65, p. 90-99, 2015.

THOMÉ, A. M. T.; SCAVARDA, L. F.; SCAVARDA, A. J. **Conducting systematic literature review in operations management**. Revista Production Planning & Control, Vol. 27, No.5, 408-420. 2016

TOMALSQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro. Interciência, 2003.