

Viabilidade de Implantação de um Sistema de Geração de Energia Fotovoltaica no Município de São Luiz Gonzaga – RS

Émerson Feix Vaz, Taís Rieger Lucchese
Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio
Grande do Sul - UNIJUÍ
feixvaz@hotmail.com, taisrl2007@hotmail.com

Anderson Weber Schenkel, Sandi da Costa Gehm
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
anderson.wschenkel@hotmail.com,
sandigehm@hotmail.com

Resumo — As células fotovoltaicas fazem a conversão da radiação solar em energia elétrica de forma direta, apresentando-se como uma das principais fontes de energias renováveis para os atuais dias. O Brasil possui uma enorme capacidade de gerar energia elétrica a partir da radiação solar, na pior região de incidência solar o País possui uma capacidade de produzir anualmente 1500 kWh/m², a Alemanha, líder mundial na produção de energia elétrica a partir do efeito fotovoltaico apresenta uma capacidade de produção na melhor região de 1200 kWh/m². No Brasil as normas são recentes, somente em 2012 a Aneel publicou a Resolução Normativa 482/2012 que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica.

Palavras-chaves — Energia fotovoltaica, viabilidade técnica, dimensionamento, conectado à rede.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente pode-se relacionar a qualidade de vida de uma nação pela relação de consumo de energia elétrica por habitante, desta forma, quanto maior o consumo de energia melhor será a qualidade de vida daquela nação. Destaca-se o consumo de energia elétrica dos países das Nações Unidas com elevado índice de desenvolvimento humano, onde o consumo é de 6000 kWh/hab/ano, e no Brasil o consumo é de apenas 2200 kWh/hab/ano, ou seja, o Brasil possui um longo caminho a ser percorrido para chegar ao patamar dos países das Nações Unidas com elevado índice de desenvolvimento humano [1].

O Brasil com seu esplendor territorial tem uma das matrizes energéticas mundiais com maior potencial para investimentos futuros, seu modelo atual de produção de energia elétrica é baseado na hidroenergia, ou seja, energia produzida pela força da queda de água nas usinas hidroelétricas. Segundo a Aneel [2] cerca de 61,339% de toda a energia elétrica produzida no País é de origem hídrica, 5,5824% de origem eólica e somente 0,0148% de toda a energia produzida no País é de origem solar.

Segundo a Resolução Normativa 482/2012 [3], atualizada para a Resolução Normativa 687/2015 da Aneel [4] a micro e minigeração consistem na geração de energia elétrica a partir de pequenas centrais utilizando como fonte a energia hidráulica, solar, eólica, biomassa, entre outros. Esses sistemas de geração são conectados à rede de distribuição das concessionárias locais por meio da entrada de energia da edificação, ou local onde o sistema esteja instalado. Para a

simples distinção, um sistema de microgeração consiste em uma central de geração de potência menor ou igual a 75 kWp e um sistema de minigeração consiste em uma central de geração de potência maior que 75 kWp e menor ou igual a 3 MWp para fontes hídricas, ou menor e igual a 5 MWp para cogeração qualificada.

Em um estudo realizado pela Cresesb [5] estima-se que a radiação que o sol emite para terra seja na ordem de $1,5 \times 10^{18}$ kWh por ano, o que representa cerca de 10.000 vezes o consumo mundial de energia elétrica no mesmo período.

No Brasil o potencial disponível de energia solar em média, supera os 1.825 kWh/m², ou seja, em cada metro quadrado há diariamente uma disponibilidade de 5 kWh de energia [6].

Portanto, com esses níveis de radiação solar torna-se viável à implantação de um sistema de conversão da radiação solar em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico. Porém, devido ao grande custo da aquisição do sistema fotovoltaico, está tecnologia ainda não é muito disseminada no Brasil.

II. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

O sistema fotovoltaico conectado à rede é um sistema de geração descentralizado de energia elétrica, ou seja, produzem a energia próximo ou no próprio centro de consumo, utilizando a radiação solar como matéria prima para a geração de energia elétrica. O sistema fotovoltaico conectado à rede pode ser dimensionado conforme a necessidade ou solicitação do consumidor.

As primeiras aplicações dos sistemas fotovoltaicos foram com os sistemas fotovoltaicos isolados, ou seja, sistema fotovoltaico não conectado à rede de energia elétrica das concessionárias. Esse sistema tem como seu principal uso locais onde é inviável a construção de rede de transmissão ou fisicamente impossíveis. No Brasil os principais usuários do sistema fotovoltaico isolado estão na zona rural.

O sistema fotovoltaico isolado é baseado na captação da radiação solar por meio das placas fotovoltaicas. Posteriormente é realizado o carregamento do banco de baterias, utiliza-se um controlador de carga para não exceder o limite do banco de baterias. Para o consumo da energia armazenada é utilizado um inversor DC-AC, com potência que pode variar com a quantidade da carga. O sistema consiste na produção e armazenamento de energia elétrica durante o período em que há radiação solar, para o consumo durante o

período em que não há radiação solar para a produção de energia elétrica.

Diferentemente do sistema fotovoltaico isolado tem-se o sistema fotovoltaico conectado à rede. Esse sistema tem como principal característica a inserção da energia elétrica gerada na rede da concessionária local, trabalhando de forma paralela com a rede da concessionária de energia, ou seja, tudo que for produzido em excesso pelo sistema fotovoltaico será injetado na rede elétrica da concessionária onde a edificação está conectada. Neste sistema não existe nenhum dispositivo de armazenamento de energia, portanto, o excesso da energia produzida será injetado na própria rede de distribuição.

III. RADIAÇÃO SOLAR

O nosso planeta em seu movimento anual em torno do sol, transcorre em uma trajetória elíptica, com um plano inclinado em relação ao eixo equatorial em $23,5^\circ$. Esta inclinação é responsável pelas variações da incidência solar para uma certa localidade, formando assim as estações do ano [7], como pode ser observado na Fig. 1.

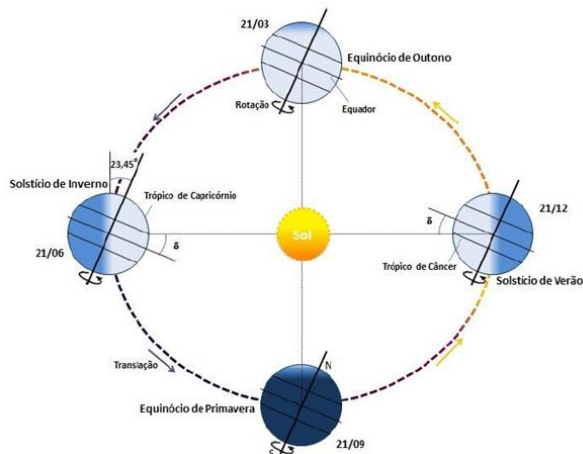


Fig. 1. Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado de um ângulo de $23,45^\circ$, indicando as estações do ano no hemisfério Sul. [7]

ENERGIA SOLAR

Se fosse possível a conversão de uma pequena parte da energia solar que incide sobre a terra diariamente, os problemas energéticos globais estariam resolvidos. Em apenas uma hora o sol emite radiação superior ao consumo mundial de um ano inteiro [8]. A energia que o sol emite, pode ser utilizada de diversas formas, entre elas estão a energia térmica e a geração de eletricidade.

A conversão da energia solar, em energia utilizável pode ser feita de duas formas: a primeira a conversão direta da radiação solar para o aquecimento térmico, ou seja, o aquecimento térmico solar, muito aproveitado como aquecimento de água para residências, onde se utiliza um sistema de coletores de temperatura e reservatório. O segundo processo é a conversão direta da radiação solar em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico.

PANORAMA BRASILEIRO PARA APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR

No Brasil, segundo a SolarGis [9], a pior região em incidência solar possui a capacidade de produzir anualmente cerca de 1500 kWh/m^2 conforme Fig. 2. A Alemanha, líder mundial na produção de energia elétrica a partir do efeito fotovoltaico, a sua melhor região de produção de energia é de 1200 kWh/m^2 conforme Fig. 3, ou seja, a melhor região do maior produtor global de energia elétrica a partir do efeito fotovoltaico é inferior à pior região de incidência solar do Brasil. Atualmente a Alemanha produz cerca de 32,3 GWp de energia fotovoltaica, muito afrente do segundo maior produtor mundial que é a Itália, que produz cerca de 16 GWp [7]. O Brasil produz atualmente cerca de 23,76 MWp [2].

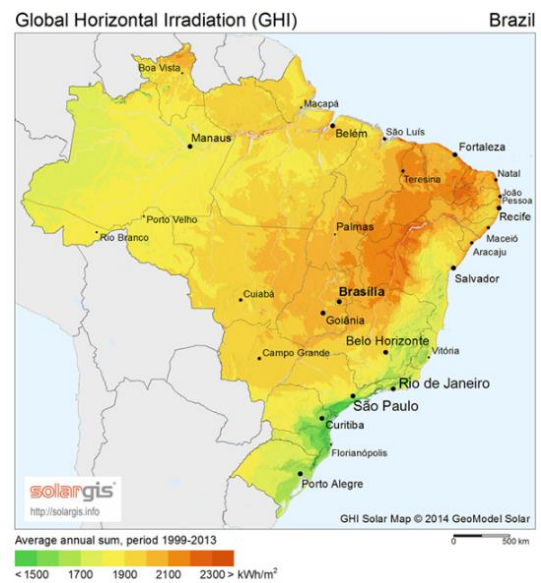


Fig. 2. Incidência Solar no Brasil. [9]



Fig. 3. Incidência Solar na Alemanha. [9]

IV. RADIAÇÃO SOLAR NO MUNICÍPIO DE SÃO LUIZ GONZAGA – RS

Segundo dados coletados no Software Google Earth, a coordenada geográfica do local onde vai ser projetado o sistema fotovoltaico conectado à rede é a seguinte: latitude 28°24'09,54"S e longitude 54°57'42,37"O

Com o Software SunData [10] da Cresesb, pode-se extrair dados precisos em relação a radiação solar em cada ponto do território brasileiro, serve como um software de apoio aos dimensionadores de sistemas fotovoltaicos [10].

Utilizando a coordenada geográfica exposta anteriormente, pode-se utilizar o Software SunData para a retirada de dados da radiação solar diária média mensal (kWh/m².dia) em quatro ângulos de inclinação diferentes, conforme Tabela I.

TABELA I. IRRADIAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SÃO LUIZ GONZAGA CONFORME PROGRAMA SUNDATA. [10]

Mês	Plano Horizontal 0° N	Ângulo igual a latitude 28° N	Maior média anual 23° N	Maior mínimo mensal 48° N
Janeiro	5,72	5,12	5,29	4,26
Fevereiro	5,42	5,19	5,29	4,51
Março	4,81	5,06	5,08	4,70
Abril	4,11	4,90	4,82	4,93
Mai	3,17	4,21	4,08	4,49
Junho	2,47	3,40	3,27	3,69
Julho	2,89	3,95	3,81	4,27
Agosto	3,36	4,14	4,05	4,24
Setembro	4,17	4,56	4,55	4,37
Outubro	5,28	5,20	5,28	4,62
Novembro	6,03	5,48	5,64	4,58
Dezembro	6,11	5,36	5,56	4,38
Média	4,46	4,72	4,73	4,42

Esses valores de inclinação apresentados na Tabela I, são valores sugestivos para a instalação dos painéis fotovoltaicos, a escolha final da inclinação do sistema fica a cargo do projetista do sistema fotovoltaico.

Para uma fundamentação maior dos níveis de radiação solar no município de São Luiz Gonzaga – RS, utiliza-se o Software RadiaSol 2, esse software foi desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Na simulação realizada, os resultados foram semelhantes ao software SunData, conforme pode ser observado na Tabela II.

TABELA II. ADAPTADO DO PROGRAMA RADIASOL 2 – UFRGS

Mês	Radiação Global	Radiação Direta	Radiação difusa	Radiação inclinada (23°)
Janeiro	5,71	2,47	3,03	5,54
Fevereiro	5,41	2,8	2,64	5,48
Março	4,8	2,78	2,45	5,26
Abril	4,1	2,6	2,24	4,86
Mai	3,16	2,32	1,71	4,05
Junho	2,46	1,71	1,56	3,28

Julho	2,88	2,13	1,65	3,8
Agosto	3,35	2,03	2,04	4,09
Setembro	4,16	2,53	2,15	4,7
Outubro	5,27	2,68	2,82	5,53
Novembro	6,02	3,09	2,7	5,83
Dezembro	6,1	2,9	2,82	5,77
Média	4,45	2,50	2,32	4,85

RECURSO SOLAR

Conforme Cresesb [7], para a produção de energia elétrica se ignora a variação da radiação a cada instante, ou seja, imagina-se que a radiação solar é a totalidade de energia produzida em intervalos de tempo. Essa totalidade de energia convertida pode ser explicada pelo HSP (Horas de Sol Pleno), grandeza que implica nas horas que a radiação solar é igual a 1.000 W/m².

Conforme Cresesb [7], nem sempre os dados que necessita-se estarão disponíveis do modo em que se precisa para utilizá-los no dimensionamento do sistema. Deste modo, é necessário utilizar métodos para dimensionar os valores dessas grandezas.

Um gerador fotovoltaico tem suas características elétricas relacionados basicamente da radiação solar e da temperatura nos módulos. Sendo que a influência da radiação solar é muito mais significativa do que a da temperatura. A radiação pode variar significativamente em curtos intervalos de tempo (na ordem de segundos), especialmente em dias com nuvens, mas a variação da temperatura é amortecida pela capacidade térmica dos módulos [7].

Segundo o Software RadiaSol 2, no município de São Luiz Gonzaga tem a média anual de HSP de 4,85 horas. Na Fig. 4 há um exemplo de perfil de radiação solar para a ajuda da compreensão da grandeza de HSP.

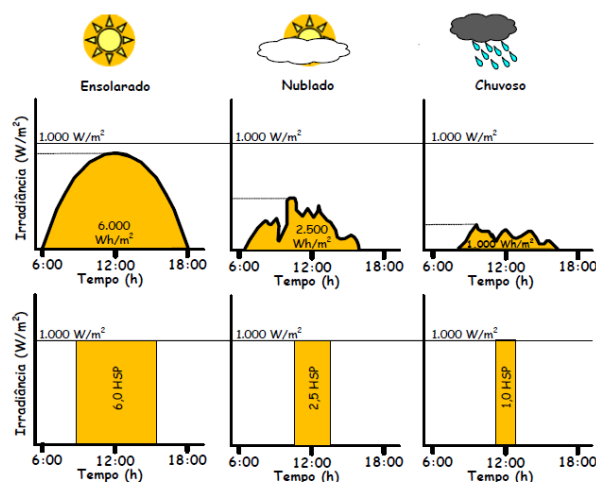


Fig. 4. Exemplos De Perfis De Radiação Solar Diária Com Valores Em HSP.

V. DIMENSIONAMENTO

DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

A estimativa da potência (kWp) dos painéis fotovoltaicos é dado pelas relações do consumo médio diário da edificação “(1)”, com as horas de sol pleno da localidade. É orientado que

a taxa de geração em relação ao consumo da edificação seja de 90% para o cálculo da potência máxima do gerador fotovoltaico “(2)”.

É importante frisar que se a energia produzida for maior que a energia consumida, a concessionária de energia poderá cobrar um valor mínimo do custo da disponibilidade da energia para o consumidor da edificação. No caso do grupo B (baixa tensão) monofásico o custo da disponibilidade é de 30 kW mensal.

$$MD = \frac{MM}{30} \quad (1)$$

$$P_{ger} = \frac{MD * TG}{HSP} \quad (2)$$

Onde:

MD= Consumo médio de energia diário;

MM= Média mensal;

HSP= Horas de sol pleno;

TG= Taxa de geração;

P_{ger}= Potência máxima do gerador fotovoltaico.

Conforme Cresesb [7], deve-se considerar um desempenho de 70% a 80% do sistema de geração fotovoltaica, para que se tenha a potência necessária nos painéis fotovoltaicos “(3)”, para posterior quantificar os módulos fotovoltaicos.

$$P_{pf} = \frac{P_{ger}}{n\%} \quad (3)$$

Onde:

P_{pf}= Potência do gerador fotovoltaico;

n%= Rendimento do sistema de geração fotovoltaica.

DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Considerando a potência do gerador fotovoltaico (P_{pf}) calculado anteriormente, que possui uma potência de ‘X’ kWp e utilizando um fator de dimensionamento de inversor, FDI, entre 75% a 85% [7], obtém-se a potência necessária do inversor “(4)”.

$$P_{iv} = P_{pf} * FDI \quad (4)$$

Onde:

P_{iv}= Potencia do inversor;

FDI= Fator de dimensionamento do inversor.

VI. LEVANTAMENTO DE CUSTO E VIABILIDADE FINANCEIRA

Para exemplificar o levantamento do custo e da viabilidade financeira de implantação do sistema fotovoltaico conectado à rede, será utilizado como exemplo uma edificação com o consumo médio mensal de 300 kW. Para este exemplo será necessário um sistema com potência de 2,324 kWp. O custo dos equipamentos para o sistema proposto é exposto na Tabela III.

TABELA III. CUSTO DOS EQUIPAMENTOS PARA O SISTEMA

Equipamento	Quantidades	Custo (R\$)
Módulos Fotovoltaicos 315 Wp	8	6.264,48
Inversor 2,5 kWp	1	5.402,37
String Box	1	1.571,83
Sistema de fixação	-	1.634,94
Outros itens	-	247,32
Medidor de Energia Bidirecional	1	472,65
Frete dos Equipamentos	1	633,39
Total	-	16.226,98

Nesse levantamento de custo do sistema fotovoltaico foi desprezado os valores com contratação de Engenheiro Eletricista, mão de obra para instalação, todos os custos adicionais para a sua instalação. Esses valores foram orçados da empresa Minha Casa Solar [11].

CÁLCULO VIABILIDADE FINANCEIRA – MÉTODO PAYBACK SIMPLES

Para a utilização do método PayBack Simples foi considerado o custo médio da energia elétrica pago por kW no ano de 2016 para concessionária Rio Grande Energia - RGE, possuindo um valor final de R\$ 0,7355, esse valor inclui os todos os encargos. Pode-se calcular o valor que será deixado de ser pago anualmente “(5)” para a concessionária e o tempo de retorno do investimento conforme método PayBack Simples “(6)”.

$$X_j = C.kW * (MM * TG) * 12 \quad (5)$$

$$X_j = 0,7355 * (300 * 0,9) * 12 = 2.383,02$$

$$PBs = \frac{X_o}{X_j} = \frac{16.226,98}{2.383,02} = 6,81 \text{ anos} \quad (6)$$

Onde:

C.kW= Custo do kW de energia pago a concessionária;

X_j= Valor não pago de energia anual (receitas líquidas);

PBs= Tempo do retorno pelo modelo PayBack Simples;

X_o= Custo do sistema fotovoltaico.

Utilizando o método PayBack Simples o sistema fotovoltaico conectado à rede renderá lucros a partir de 6 anos e 10 meses de operação.

CÁLCULO VIABILIDADE FINANCEIRA – VALOR PRESENTE LÍQUIDO

Para o cálculo do método Valor Presente Líquido “(7)”, foi adaptada a forma original para que fosse possível o incremento do valor de reajuste de tarifas anuais e a taxa de manutenção anual “(8)”. Desta forma, foi considerado uma taxa mínima de atratividade de 8% ao ano, o valor de reajuste da tarifa anual do custo da energia elétrica é de 5,05% ao ano e a vida útil do sistema de 25 anos.

Conforme Nakabayashi [12], deve-se considerar o valor de 1% ao ano sobre o valor do sistema para custos de operação e manutenção anual.

$$VPL = -(Xo(1 + TM)^j) + \sum_{j=1}^N \frac{(Xj(1 + RTA)^j)}{(1 + i)^j} \quad (7)$$

$$VPL = -(16.226,98(1 + 0,01)^{25}) + \sum_{j=1}^{25} \frac{2.387,79(1+0,0505)^j}{(1+0,08)^j} \quad (8)$$

$$VPL = 21.617,75$$

Onde:

N= Vida útil do sistema;

i= Taxa mínima de atratividade;

RTA= Reajuste tarifário anual;

TM= Taxa de manutenção anual.

Utilizando o método Valor Presente Líquido, adaptado para inserir o valor de reajuste tarifário anual ao cálculo, o sistema fotovoltaico conectado à rede apresentará um lucro de R\$ 21.617,75 ao final dos 25 anos de sua vida útil.

VII. CONCLUSÃO

Motivado pelo bom mercado em que as fontes de energias renováveis se encontram, este trabalho teve o intuito de apresentar que o aproveitamento da radiação solar pode ser um bom investimento a longo prazo, além do mais, o consumidor fica desta forma, isento dos aumentos que a energia elétrica vem sofrendo anualmente no país.

A utilização do potencial energético solar para obtenção de energia elétrica se apresenta como uma alternativa sustentável para a matriz energética mundial. Por se tratar de uma fonte de energia considerada inesgotável em comparação com as fontes energéticas convencionais.

A energia solar no Brasil ainda é pouco utilizada para a geração de energia elétrica a partir do efeito fotovoltaico, mas esse dado tem tudo para se inverter, desta forma, tornando o País um grande gerador de energia fotovoltaica. Mostrou ainda, que a região missioneira do estado do Rio Grande do Sul possui um ótimo potencial de geração de energia elétrica a partir da radiação solar.

O custo de cada módulo fotovoltaico é de R\$ 783,06, com um custo total de R\$ 6.264,48, o custo do inversor é de R\$ 5.402,37, o restante dos equipamentos necessários para a instalação do sistema é de R\$ 3.926,74, custo do frete de R\$ 633,39, ou seja, o custo total do sistema fotovoltaico conectado à rede para instalação no município de São Luiz Gonzaga - RS é de R\$ 16.226,98. Neste levantamento de custo do sistema fotovoltaico foi desprezado os valores com contratação de Engenheiro Eletricista, mão de obra para instalação e todos os custos adicionais para a sua instalação.

Utilizando os métodos PayBack Simples (PBs) e Valor Presente Líquido (VPL) foi realizado o levantamento da viabilidade financeira para o sistema fotovoltaico em questão, tendo como resultado para o método PayBack Simples um retorno em 6 anos e 10 meses, para o método Valor Presente Líquido foi considerado uma taxa mínima de atratividade de 8% ao ano, reajuste tarifário anual de 5,05% ao ano, taxa de manutenção anual de 1% ao ano e vida útil do sistema de 25

anos, o investimento terá um bom retorno, possuindo como resultado o valor de R\$ 21.617,75.

Apesar disso, na atualidade, os sistemas fotovoltaicos apresentam elevados custos em função do uso de alta tecnologia, mas que em um futuro próximo, com a redução dos custos da tecnologia, avanços tecnológicos, incentivos governamentais face a necessidade energética, à redução dos impactos ambientais na geração de energia elétrica e ao desenvolvimento sustentável, as possibilidades de viabilidade econômica para a opção serão maximizadas.

Deve-se destacar que a edificação ou empreendimento que que possuir um sistema fotovoltaico instalado agregará valor em seu patrimônio

VIII. REFERÊNCIAS

- [1] C. H. Mariz, "A Oferta de Energia e o IDH," 2013. Disponível em: <<http://jornalggm.com.br/blog/luisnassif/a-oferta-de-energia-e-o-idh>>. Acesso em: 19 mar. 2017.
- [2] Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL), "Matriz de Energia Elétrica." Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 15 mar. 2017.
- [3] Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL), "Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012: Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências." Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2016.
- [4] Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL), "Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015: Altera a Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012, e os módulos 1 e 3." Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2016.
- [5] Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica Sérgio De Salvo Brito (CRESESB), "Energia solar princípios e aplicações," 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. Acesso em: 24 set. 2016.
- [6] R. ZILLES, "Energia Solar Fotovoltaica," Ed. São Paulo: Oficina de Textos. Vol. 1, p. 208, 2012.
- [7] Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica Sérgio De Salvo Brito (CRESESB), "Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos," 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 24 set. 2016.
- [8] R. Demonti, "Sistema de Co-Geração de Energia a partir de Painéis Fotovoltaicos," Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
- [9] SolarGis, "Global horizontal irradiation (GHI)," 2015. Disponível em: <<http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI>>. Acesso em: 19 mar. 2017.
- [10] Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica Sérgio De Salvo Brito (CRESESB), "Potencial solar - SunData," 2016. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 19 mar. 2017.
- [11] Minha Casa Solar, "Produtos," Disponível em: <<https://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/>>. Acesso em: 16 mar. 2017.
- [12] R. Nakabayashi, "Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica," Dissertação (Programa de pós-graduação em energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.