

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

WILLIAN LUCRECIO

DIMENSIONAMENTO E RETORNO DE INVESTIMENTO DE
GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL: UM ESTUDO DE
CASO NO MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ - SC

CURITIBA

2015

WILLIAN LUCRECIO

DIMENSIONAMENTO E RETORNO DE INVESTIMENTO DE
GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL: UM ESTUDO DE
CASO NO MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ - SC

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso especialização em projetos sustentáveis, mudanças climáticas e gestão corporativa de carbono do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. Ms. Alexandre Dullius

CURITBA

2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela oportunidade de poder viver, realizando estudos e aprimoramentos no decorrer de minha existência.

Aos meus pais, Abedeno Lucrécio e Neiva Corrêa Lucrécio, que sempre me apoiam e incentivam a seguir em frente, seja nos estudos ou na vida profissional.

Ao meu irmão Cristian Lucrécio e esposa Silvia Yoshie Kawai Lucrécio, que também sempre estão me ajudando no crescimento como irmão e amigo, seja nos momentos difíceis ou fáceis.

A minha namorada Priscila Ikeda Ushimaru que também não mede esforços para me apoiar e ajudar naquilo que for preciso.

Aos meus amigos e colegas do curso de projetos sustentáveis que sempre juntos estamos nos auxiliando.

Aos professores da especialização que não medem esforços para passar aos seus alunos todos os conhecimentos até então adquiridos.

Ao meu professor orientador Alexandre Dullius que está sempre pronto a me auxiliar, e incentivar no desenvolvimento do meu trabalho de conclusão do curso.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. MATERIAIS E MÉTODOS	14
2.1 Local de estudo	14
2.2 Incidência solar	15
2.3 Eficiência das células e dos painéis	16
2.4 Escolha dos equipamentos	17
2.5 Quantificação da redução das emissões de gases efeito estufa	20
2.6 Economia de energia	21
2.7 Período de retorno	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
3.1 Dimensionamento do sistema	23
3.1.1 Dados de Irradiação Solar Mensal	23
3.1.2 Energia Elétrica Consumida Por Mês	24
3.1.3 Seleção de Equipamento	24
3.1.4 Energia elétrica gerada pelo sistema	25
3.2 Comparativo entre energia consumida e energia gerada	28
3.3 Reduções das emissões de gases efeito estufa	30
3.4 Viabilidade do sistema	31
4. CONCLUSÕES	33
5. REFERÊNCIAS	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificações painel solar – tipo A	18
Tabela 2: Especificações painel solar – tipo B	19
Tabela 3: Especificações Inversor.....	20
Tabela 4: Fatores de emissão de construção e da margem de operação.....	31
Tabela 5: Custos de aquisição do sistema	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vista local de estudo	15
Figura 2: Dados irradiação solar	16

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Irradiação média do mês (em kWh)	23
Gráfico 2: Energia consumida (em kWh).....	24
Gráfico 3: Energia gerada pelo sistema - Módulo A.....	27
Gráfico 4: Energia gerada pelo sistema - Módulo B.....	28
Gráfico 5: Energia consumida x Energia gerada.....	30

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
CLACS	Conferência Latinoamericana de Construção Sustentável
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CONGIC	Congresso de Iniciação Científica do IFRN
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
ENTAC	Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ICMS	Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LED	Light Emitting Diode
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MCTI	Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME	Ministério de Minas e Energia
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NREL	National Renewable Energy Laboratory
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROINFRA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change

DIMENSIONAMENTO E RETORNO DE INVESTIMENTO DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL: UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ - SC

Willian Lucrecio¹

Orientador: Alexandre Dullius

¹Engenheiro Agrônomo, lucreciow@gmail.com

Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UEDESC, Av. Luiz de Camões, 2090, CEP: 88520-000, www.cav.udesc.br, (49) 2101-9100.

RESUMO

Na busca pela redução da dependência energética nas hidrelétricas, o governo brasileiro tem centrado seus esforços em novas fontes de geração de energia. Um exemplo disto é a Resolução Normativa 482, de 2012, em que se criou o sistema de compensação para a microgeração, no qual a energia gerada excedente é fornecida às distribuidoras, mediante o pagamento de bônus em faturas posteriores. De acordo com o Balanço Energético Nacional (2013), a matriz elétrica brasileira pode ser dita como um exemplo de baixa emissão, que para produzir 1 TWh, o setor elétrico brasileiro emite seis vezes menos que o europeu, sete vezes menos do que o americano e onze vezes menos que o chinês, podendo a geração fotovoltaica, uma fonte livre de emissões em sua operação, contribuir com a manutenção deste status frente ao aumento da demanda elétrica nacional. O presente estudo realizou uma avaliação financeira da microgeração de energia por meio de um sistema solar (com dois tipos de placas A e B) e suas reduções de emissões de gases efeito estufa em uma residência do município de Araranguá – SC. Verificou-se que através da utilização de placas de 250 W, pode-se gerar um total de 5454 kWh/ano e média mensal de 455 kWh/mês. Quanto aos efeitos de economia para o consumidor final, o sistema fotovoltaico em que se utilizou as placas do tipo A, totalizaram um valor de R\$2.399,76. Com a utilização de 13 placas solares para a sua implementação indicada, seria necessário um investimento de R\$26.077,00 para aquisição dos equipamentos, custos com mão-de-obra e elaboração do projeto. Considerando o investimento inicial, com cálculo do *payback time*, obtem-se o retorno do

investimento em 16 anos, em que seria pago o investimento inicial, conciliando os interesses de viabilidade econômica com um projeto sustentável. Além disso, poderia proporcionar a não-emissão de poluentes para a atmosfera, mesmo que ainda representem baixas quantidades, cujas reduções de emissões de gases efeito estufa neste estudo foram de: 2,79 tCO₂ para o sistema em que utilizou as placas do tipo A, e 2,73 tCO₂ para as placas do tipo B.

PALAVRAS-CHAVE: energia renovável, microgeração, sistema fotovoltaico, gases efeito estufa

ABSTRACT

A quest for reducing energy dependence on hydropower, the Brazilian government has focused its efforts on new sources of power generation. An example of this is the Normative Resolution 482 of 2012, in which it created the compensation system for microgeneration, in which the surplus generated power is supplied to the distributors, by bonus payments in subsequent invoices. According to the Nacional Energy Balance (2013), the Brazilian energy matrix could represent an example of low-emission, to produce 1 TWh, the Brazilian electricity sector emits six times less than the European one, seven times less than the US one and eleven times less than the Chinese one then, the photovoltaic generation, a source of emission-free in its operation, could contribute to maintaining this status against the increase in national electricity demand. This study conducted a financial evaluation of energy microgeneration by using a solar system (with two plates types A and B) and their reductions of greenhouse gas emissions on a residence in the city of Araranguá - SC. It was verified that the use of the plates 250 W could generate a total of 5454 kWh/year and a monthly average of 455 kWh/month. In relation to the effects of savings to the final consumer, the photovoltaic system which used the plates of the type A, amounted to a value of R\$ 2,399.76. With the use of 13 solar plates for its implementation indicated, would require an investment of R \$ 26,077.00 for the purchase of equipment, the cost of labor work and the engineering design project. Considering the initial investment, with payback time calculation, it could be returned on investment in 16 years, which would be paid for the initial investment, reconciling the economic

viability interests with sustainable project. Furthermore, it could provide the non-emission of pollutants into the atmosphere, even if it still represents low amounts, whose emission reductions of greenhouse gases in this study were: 2.79 tCO₂ for the system that used the plates of type A and 2.73 tCO₂ for the plates type B.

KEY-WORDS: renewable energy, microgeneration, photovoltaic system, greenhouse gases

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que a demanda por energia elétrica vem aumentando continuamente e devido a isso, a busca por fontes renováveis de geração de energia, como a de origem solar, dos ventos e de biomassa, tem sido amplamente discutida a fim de complementar as fontes que compõem hoje a matriz energética brasileira.

Atualmente a energia hidrelétrica é a principal fonte de energia no Brasil, com participação de 85,4%, seguido pela biomassa 3,7%, gás natural 3,2%, derivados do petróleo 2,8%, nuclear 2,6%, carvão mineral 1,4% e gás industrial 0,9%. (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, 2008). Apesar de ser considerada uma fonte renovável e limpa, as usinas hidrelétricas causam um impacto sobre o meio ambiente, principalmente por meio de inundações de vastas áreas entre os danos ambientais. Além disso, devido a diminuição dos níveis dos reservatórios ocasionado por longos períodos de estiagem, é verificada uma dificuldade na geração de energia elétrica por parte das hidrelétricas, ocasionando redução em sua produção.

A energia nuclear é citada como uma fonte limpa de energia elétrica por não provocar emissão de gases de efeito estufa, sendo apontada como uma alternativa para cobrir o déficit de energia. O Brasil conta com a sexta maior reserva de urânio do mundo, contudo, a energia nuclear não tem sido bem aceita pela sociedade civil, muito disto deve-se a não solução do lixo atômico. (PEREIRA et al, 2006).

Dentre as fontes renováveis de energia elétrica, a eólica é a que vem recebendo maior volume de investimentos por fazer parte do Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA. Pelo fato da maior área do Brasil estar localizada na região inter-tropical, o país possui grande potencial de aproveitamento de energia solar durante todo o ano (PEREIRA et al, 2006).

Atualmente grande parte da energia mundial utilizada é proveniente de fontes não-renováveis, como por exemplo petróleo, gás natural, carvão mineral, combustíveis nucleares em grande escala, embora é previsto em esgotamento dessas fontes. Devido a este fato, esforços vêm sendo realizados na busca de novas alternativas para a geração de energia a um nível sustentável. Uma das

tecnologias renováveis mais recentes e que vem sendo cada vez mais utilizada nos países desenvolvidos é a energia solar fotovoltaica (RUTHER et al, 2004).

Além disso, para esta geração de energia, o Brasil tem a vantagem de estar localizado na zona inter-tropical, registrando altos índices de irradiação solar durante todo o ano, quando comparado seu potencial com outros países do mundo, que já fazem uso desta tecnologia (TORRES, 2012).

No Brasil, desde 17 de abril de 2012, a Resolução Normativa nº482 está em vigor, a qual estabelece as condições gerais para o acesso da microgeração e da minigeração, sendo fornecido para os sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação, e dá outras providências. Trata-se da geração distribuída, ou micro-geração, no qual o sistema vai estar interligado com a rede elétrica, e no momento em que houver uma maior quantidade de energia gerada, vai ocasionar o acúmulo de créditos para os meses seguintes, podendo ser utilizado no prazo de até 36 meses (ANEEL, 2012).

Até 2024, o país prevê que cerca de 700 mil consumidores residenciais e comerciais deverão ter instalado painéis fotovoltaicos em seus telhados e coberturas, que transformarão a luz solar em energia elétrica (MME, 2015). Tudo isto faz parte de um novo esforço do governo brasileiro, que busca através de novas medidas, incentivar a geração de energia solar no país.

Dentre as medidas incentivadoras pelo Ministério de Minas e Energia, estão: a simplificação nas regras para a geração em casas e prédios comerciais; mudança na tributação da energia produzida; e fomento ao investimento industrial no setor (MME, 2015). Outro exemplo de incentivo está no recente convênio levado ao Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), e já firmado pelos estados de São Paulo, Goiás e Pernambuco, no qual prevê que o consumidor não pagará o tributo estadual (ICMS) sobre a energia que ele próprio gerar, mas apenas sobre o excedente que ele consumir da rede de distribuidoras. Por exemplo, uma família que consome 200 kWh ao mês e que produza 120 kWh, recolherá ICMS apenas sobre 80 kWh (MME, 2015).

Nos sistemas fotovoltaicos algumas tecnologias, tipos de células fotovoltaicas estão disponíveis, que segundo ALMEIDA (2013) podem ser classificadas como de primeira geração (silício mono e policristalino), segunda geração (silício amorfo e filme fino) ou terceira geração (concentrador fotovoltaico). O silício cristalino

historicamente é a forma mais utilizada e comercializada representando 80% do mercado.

Bem como a eficiência desses módulos comerciais também sofrem variações, temos o silício cristalino: monocristalino (13 a 19%) e policristalino (11 a 15%), os filmes finos: silício amorfo (4 a 8%), telureto de cadmio (10 a 11%) e disseleneto de cobre-índio-gálio CIGS (7 a 12%). Por fim o concentrador fotovoltaico com aproximadamente 25% (ALMEIDA, 2013).

Devido ao profundo conhecimento adquirido nos últimos anos na tecnologia fotovoltaica, a qualidade dos materiais e equipamentos, o design utilizado na captura da radiação solar, a eficiências das células, tudo isso combinado com a otimização dos processos de fabricação, conduzem para uma melhoria contínua desta tecnologia (ALMEIDA, 2013).

Desta forma, o presente estudo realizou uma avaliação financeira da microgeração de energia por meio de um sistema solar e suas reduções de emissões de gases efeito estufa em uma residência do município de Araranguá – SC.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local de estudo

O presente estudo foi realizado no município de Araranguá, no estado de Santa Catarina, em uma residência de médio porte, que está localizada na região central da cidade, no bairro Alto Feliz, cujas coordenadas geográficas são: latitude 28°56'05" S e longitude 49°29'09" W.



Figura 1: Vista local de estudo
Fonte: Adaptado de Google Maps

2.2 Incidência solar

Utilizou-se o software Solar and Wind Energy Resource Assesment (SWERA) para obter os valores de irradiação solar, que serão usados nos cálculos de eficiência e energia gerada pelo sistema. O software compreende dados tanto de energia solar como de energia eólica, de várias organizações internacionais como National Aeronautics and Space Administration (NASA), National Renewable Energy Laboratory (NREL) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), dos quais, dados podem ser retirados de qualquer região do globo terrestre. Para o nosso estudo, foram utilizados os valores do banco de dados do INPE, retirou-se a quantidade em kWh para cada mês do período, bem como sua média, todos da região de Araranguá – SC.

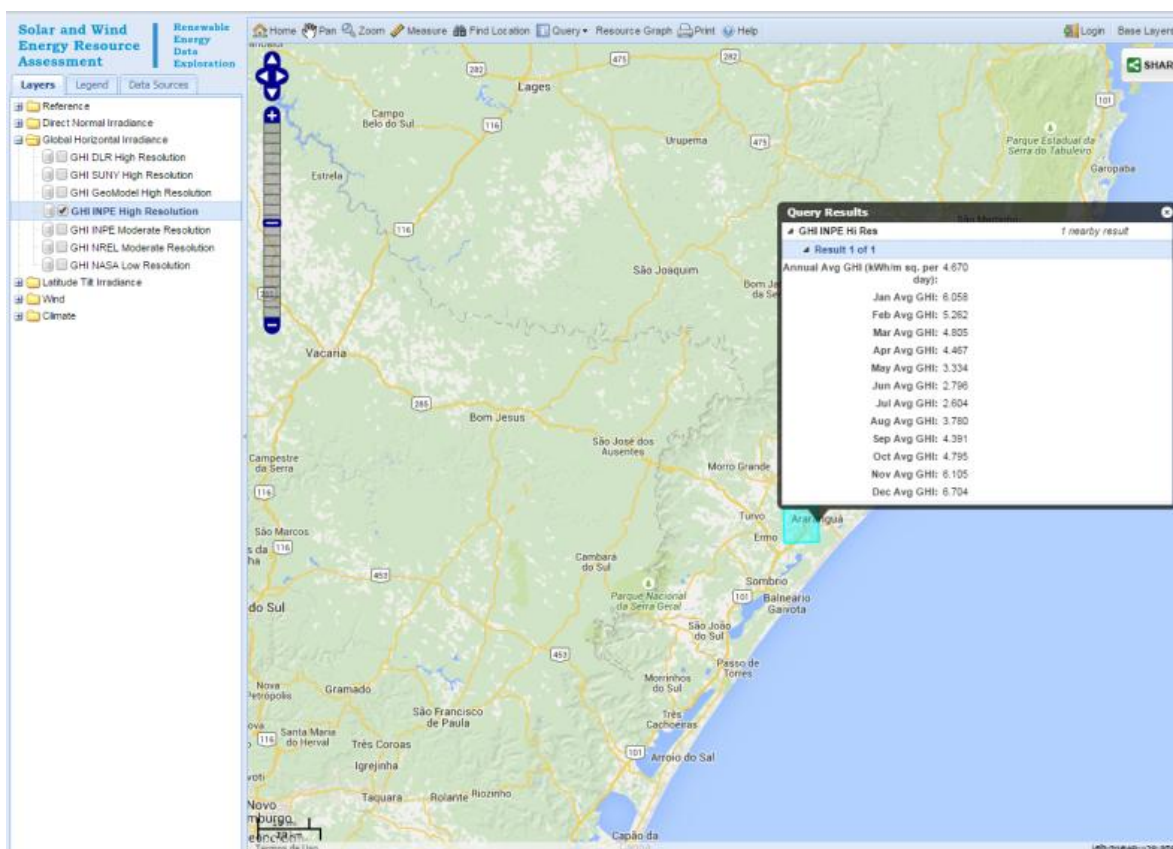


Figura 2: Dados irradiação solar
Fonte: Software SWERA

2.3 Eficiência das células e dos painéis

A termodinâmica impõe um limite máximo à taxa da eficiência da conversão fotovoltaica (como de resto a todos os processos de transformação de energia) e a própria arquitetura das células fotovoltaicas reduz ainda mais a eficiência máxima das células (BRITO et al, 2009).

No Brasil, o órgão responsável para aferir e certificar a eficiência desses módulos solares fotovoltaicos é o Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia (INMETRO), em conjunto com o selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).

A área de ocupação do módulo fotovoltaico para uma mesma potência instalada está relacionada à sua eficiência. Os módulos de filme finos ocupam uma área maior que os de silício cristalino. Dentre os filmes finos, o silício amorfo é o que apresenta uma menor densidade de potência kW/m^2 (ALMEIDA, 2013).

Segundo MARQUES et al (2013), esta eficiência pode ser definida pela relação entre a potência gerada pelo módulo (deve sempre funcionar no seu máximo ponto de potência - Pmpp) e área do módulo, conforme segue abaixo:

$$Eficiência = \frac{P_{mpp}}{\frac{\text{área do módulo}}{1000 \text{ W/m}^2}} \quad (1)$$

E assim teremos a energia gerada (MARQUES et al, 2013):

$$E_{gerada} = \text{insolação} \left(\frac{\text{Wh/m}^2}{\text{dia}} \right) \times \text{área do módulo (m}^2) \times \text{período (dias)} \times \text{eficiência} \quad (2)$$

2.4 Escolha dos equipamentos

Para a devida aquisição de um sistema fotovoltaico, alguns passos básicos devem ser seguidos e verificados, a fim de buscar qualidade do sistema, adequação tecnológica e de investimento. Assim, os pontos gerais são:

1. levantamento do consumo médio anual de energia elétrica da unidade residencial;
2. quanto de energia deseja produzir com o sistema em relação ao consumo médio; parcial ou total;
3. dados solarimétricos disponíveis para o local da instalação; espaço físico,
4. localização e orientação dos módulos;
5. eficiência da célula e material usado na célula;
6. dimensionamento do sistema (especificação do módulo, quantidade de módulos, forma de arranjo dos módulos, especificação do inversor e outros componentes);
7. limite de investimento que o consumidor deseja realizar no sistema (MARQUES et al, 2013).

Para a escolha da quantidade dos módulos solares, foi feita uma relação entre o consumo médio de energia elétrica dividido pela energia produzida pelo módulo. O consumo médio foi obtido a partir das contas de energia elétrica da residência durante o período de um ano, em seguida, realizou-se uma média simples mais um acréscimo de 15%.

Para efeito de comparação, dois módulos foram testados, modelo A com 250 W e modelo B com 245 W, calculou-se a eficiência e energia gerada por ambos os modelos, com finalidade de obter aquele de maior eficiência e energia gerada para assim dimensionarmos o sistema. Conforme segue especificações abaixo:

Tabela 1: Especificações painel solar – tipo A

Yingli YL250P 29b (250Wp)	
Máxima Potência (Pm)	250 Watts
Voltagem de Máxima Potência (Vm)	30,4 Volts
Corrente de Máxima Potência (Im)	8,24 Amps
Voltagem de Circuito Aberto (Voc)	38,4 Volts
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	8,79 Amps
Voltagem Máxima do Sistema	1000 Volts
Dimensões do painel	(1650 x 990 x 40) mm
Peso do módulo	19,1 kg
Número de células e tipo	60, Silício Policristalino

Fonte: Neosolar

Tabela 2: Especificações painel solar – tipo B

Yingli YL245P 29b (245Wp)	
Máxima Potência (Pm)	245 Watts
Voltagem de Máxima Potência (Vm)	30,2 Volts
Corrente de Máxima Potência (Im)	8,11 Amps
Voltagem de Circuito Aberto (Voc)	37,8 Volts
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	8,63 Amps
Voltagem Máxima do Sistema	1000 Volts
Dimensões do painel	(1650 x 990 x 40) mm
Peso do módulo	19,1 kg
Número de células e tipo	60, Silício Policristalino

Fonte: Neosolar

A escolha do inversor, que tem como função a conversão de corrente contínua produzida pelos painéis em corrente alternada em sincronia com a rede elétrica, pode ser definido pela tensão de trabalho na entrada dos painéis solares e pela tensão de saída em 110 volts ou 220 volts. O qual foi calculado pela seguinte relação: máxima potência do módulo multiplicado pela quantidade de módulos. As especificações seguem abaixo:

Tabela 3: Especificações Inversor

Inversor Fronius Galvo 3.0 - 1 (3.000 W)	
Entrada	
Potência Máxima de Entrada	3210 W
Voltagem Máxima de Entrada	550 Vcc
Faixa de Voltagem do MPP	165 Vcc a 440 Vcc
Corrente Máxima de Entrada	19,8 A
Voltagem Mínima de Entrada	165 Vcc
Saída AC	
Potência Nominal de Saída	3000 W
Voltagem de Saída (faixa)	180 Vca a 270 Vca
Frequência de Saída	60 Hz
Corrente Máxima de Saída	14,5 A
Eficiência Máxima	96,1 %

Fonte: Neosolar

2.5 Quantificação da redução das emissões de gases efeito estufa

Para os cálculos da quantificação das reduções utilizaremos a metodologia de pequena escala AMS-ID, em virtude de a capacidade instalada ser menor que 15 MW, de acordo com a BATISTA (2007). E estaremos considerando nulas as emissões pelo projeto, devido a energia renovável ser uma fonte neutra de emissão, como também serão nulas as fugas, pois a tecnologia de energia renovável utilizada não será transferida de outra atividade. (MCT, 2005)

Segundo BATISTA (2007) os projetos de pequena escala podem fazer uso de metodologias simplificadas para o cálculo da sua linha de base. Em geral, estas metodologias são menos conservadoras no que tange a demonstração da adicionalidade do projeto. Uma vez que a quantidade de energia produzida por

este tipo de projeto é muito pequena quando comparada à produção total do parque gerador. Este tipo de procedimento é permitido por entender-se que esses projetos terão pouca ou nenhuma influência sobre as decisões de novos investimentos. A metodologia AMS-I.D é um exemplo de metodologia simplificada

As reduções foram quantificadas pela seguinte relação: eletricidade anual gerada pelo projeto multiplicado pelo fator de emissão da linha de base. Os fatores de emissão de CO₂ pela compra de energia elétrica proveniente do Sistema Interligado Nacional (SIN) são publicados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), e são calculados de acordo com a ferramenta metodológica aprovada pelo Conselho Executivo do MDL.

Para o cálculo do fator de emissão da linha de base utilizamos da seguinte equação abaixo, conforme BATISTA (2007):

$$EF_y = (EF_{OM,y} \times w_{OM}) + (EF_{BM,y} \times w_{BM}) \quad (3)$$

Onde:

$EF_{OM,y}$ = fator de emissão da margem de operação (MCT, 2015);

$EF_{BM,y}$ = fator de emissão da margem de construção (MCT, 2015);

w_{OM} = peso do fator de emissão da margem de operação igual a 0,75 (AMS-ID, 2007);

w_{BM} = fator de emissão da margem de construção igual a 0,25 (AMS-ID, 2007).

Em que projetos de energia solar e eólica são considerados de natureza intermitente e não-despachável.

2.6 Economia de energia

A economia de energia foi mensurada pela seguinte relação: quantidade de energia gerada pelo sistema multiplicado pelo preço da tarifa paga a concessionária que foi de R\$0,44/kWh (soma dos valores em reais de todas as faturas dividido pela soma de todos os consumos do período), valores disponibilizados nas faturas de energia elétrica da residência compreendidos

entre os meses de janeiro a dezembro de 2014 de acordo com a concessionária Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC).

2.7 Período de retorno

Para o período de retorno do investimento foi utilizado o cálculo do payback descontado (PD) conforme segue fórmula de acordo com FARIAS et al (2014):

$$PD = \text{mínimo } \{j\}, \text{ tal que } \sum_{j=1}^N \frac{B_j}{(1 + TMA)^j} \geq -FC_0$$

Onde:

PD = payback descontado;

j = período;

B = investimento inicial;

N = número de períodos;

FC₀ = fluxo de caixa inicial;

TMA = taxa mínima de atratividade.

Esse método de payback descontado é mais vantajoso que o simples por apresentar uma análise de investimento onde considera o capital no tempo. Sendo determinado a partir do fluxo de caixa descontado, ou seja, com receitas e custos trazidos a valor presente e utiliza uma taxa mínima de atratividade (TMA) que para o nosso estudo foi de 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dimensionamento do sistema

3.1.1 Dados de Irradiação Solar Mensal

Os dados de irradiação obtidos foram descritos mês a mês, de janeiro até dezembro, mostrando em cada um deles sua média, bem como a média de todos, conforme gráfico abaixo. Ao comparar os meses de junho e julho, correspondente ao período de inverno, com os demais, que foram mais quentes nota-se uma diminuição nos raios solares ocorridos na região de Araranguá – SC. Podendo sugerir, dessa forma, que nesse período de menor irradiação também haverá uma menor energia gerada pelos painéis solares, podendo estar a residência consumindo mais energia do que aquela gerada pelo sistema.

Horas Sol/Dia (média do mês)

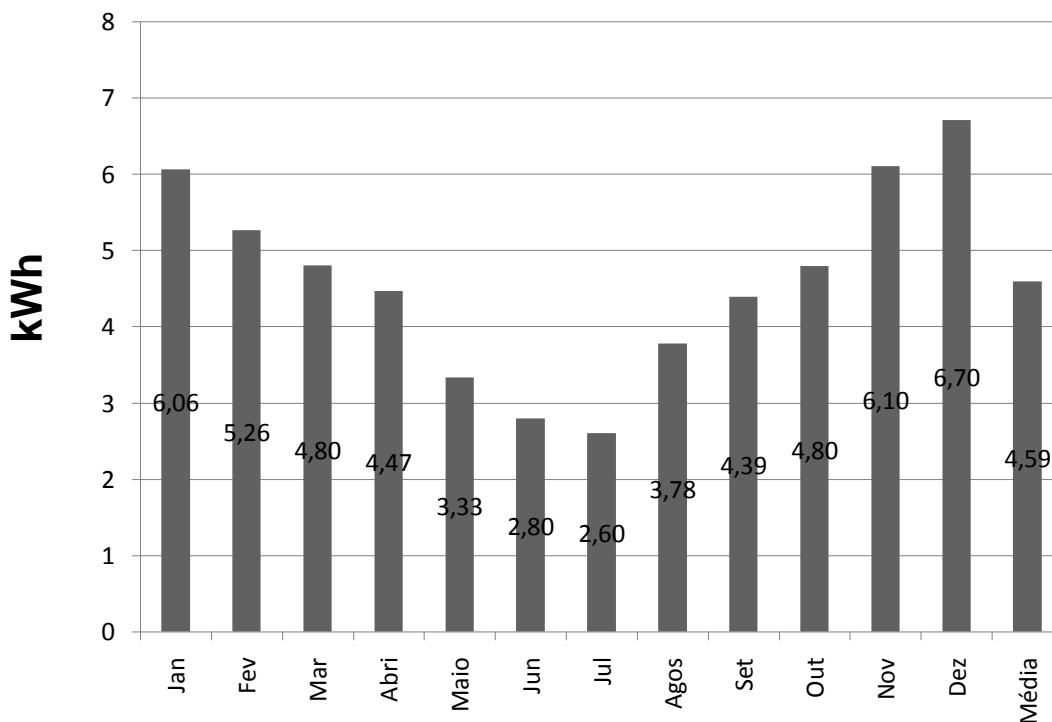


Gráfico 1: Irradiação média do mês (em kWh)

Fonte: Autor

3.1.2 Energia Elétrica Consumida Por Mês

Através das contas mensais de energia elétrica da residência de estudo foram obtidos os valores de consumo conforme expresso na tabela abaixo, compreendido entre os meses de janeiro de 2014 até dezembro de 2014, obtendo uma média de consumo de 385 kWh para uma residência em que moram três pessoas. CONSUMO MÉDIO ARARANGUÁ??

Energia Consumida

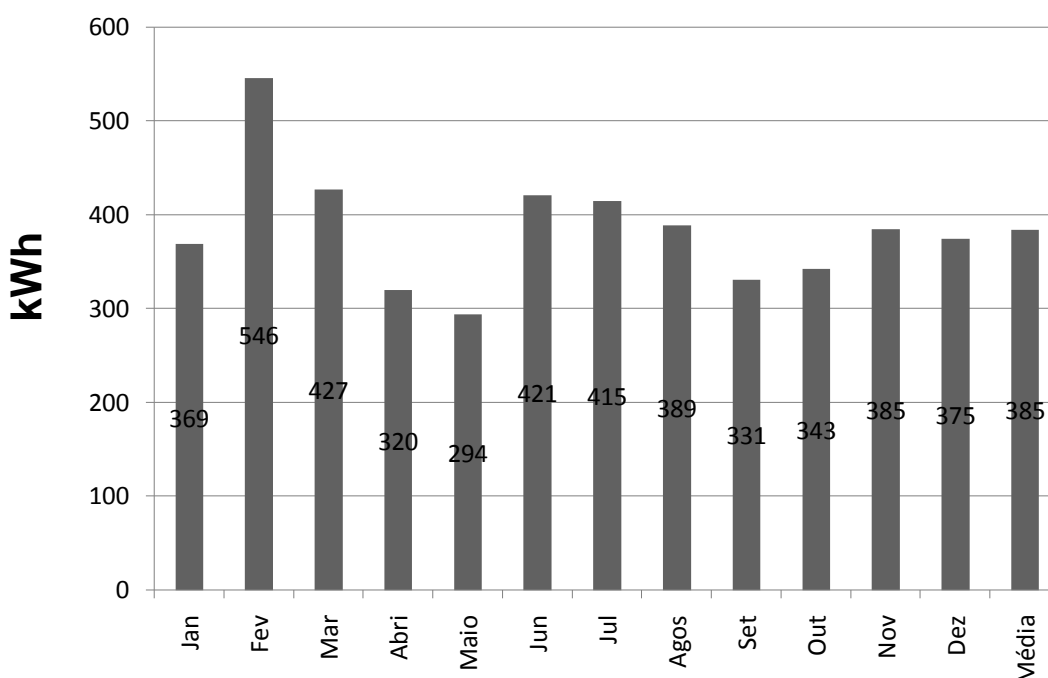


Gráfico 2: Energia consumida (em kWh)
Fonte: Autor

3.1.3 Seleção de Equipamento

Após calcular a média de consumo de energia da residência, que foi de 385 kWh mais um acréscimo de 15%, totalizando 442,75 kWh e relacionando com a energia gerada pelo módulo de maior eficiência (modelo A), de média 35 kWh, foi possível determinar a utilização de 13 módulos.

Para a implantação do sistema solar fotovoltaico na residência são necessários: módulos solares, inversor, cabos, estruturas de fixação para os painéis, proteções elétricas, porém as baterias e os controladores de carga não os utilizamos pois são para sistemas isolados.

O inversor que trouxe um melhor custo-benefício, ou seja, de uma potência entre 1,5 a 3,1 kW foi assim melhor otimizado para sistemas de auto-consumo. Que segundo o cálculo seria de uma potência instalada de 3250 W ou 3,25kW, mas sugeriu-se um inversor de 3000 W. Segundo recomendação do fabricante, este inversor é integrado a rede elétrica, trabalhando em sincronia reduzindo a conta de energia da unidade consumidora.

Através dos cálculos de eficiência efetuados para os dois módulos escolhidos, os módulos do tipo A totalizaram 5454 kWh e média mensal de 455 kWh/mês e os módulos do tipo B totalizaram 5333 kWh e média mensal de 444 kWh/mês.

Sugerindo dessa forma que, o uso de módulos do tipo A seria o mais indicado, devido a maior produção de energia gerada. Para efeitos de economia de energia elétrica para o consumidor final durante o período estudado, o sistema que utilizou os módulos do tipo A totalizou R\$ 2.399,76 de economia e para os módulos do tipo B totalizou R\$ 2.346,52. Mostrando assim que aquele do tipo A vai ser mais atrativo ao consumidor, devido a trazer uma economia final maior em comparação ao outro.

3.1.4 Energia elétrica gerada pelo sistema

Através dos cálculos de eficiência efetuados para os dois tipos de módulos sugeridos encontrou-se os valores de energia gerada para cada um dos sistemas.

Através da equação 1 temos que a eficiência foi para o módulo do tipo A de:

$$Eficiência = \frac{(30,4 \times 8,24)/1,6335}{1000} = 0,15334925$$

Pela equação 2 temos os valores de energia gerada, exemplificada conforme segue abaixo no mês de janeiro, e ao final do período de um ano esses valores de cada mês foram somados.

$$Energia Gerada (janeiro) = 6,06 \times 1,6335 \times 31 \times 0,15334925 = 47 kWh$$

$$Energia Gerada(janeiro) = 47 \times 13 \text{ módulos} = 612 kWh$$

$$Energia Gerada (anual) = 5454 kWh$$

Através da equação 1 temos que a eficiência foi para o módulo do tipo B de:

$$Eficiência = \frac{(30,2 \times 8,11)/1,6335}{1000} = 0,149936945$$

Pela equação 2 temos os valores de energia gerada, exemplificada conforme segue abaixo no mês de janeiro, e ao final do período de um ano esses valores de cada mês foram somados.

$$Energia Gerada (janeiro) = 6,06 \times 1,6335 \times 31 \times 0,149936945 = 46 kWh$$

$$Energia Gerada (janeiro) = 46 \times 13 \text{ módulos} = 598 kWh$$

$$Energia Gerada (anual) = 5333 kWh$$

A energia gerada segue abaixo, mostradas mês a mês:

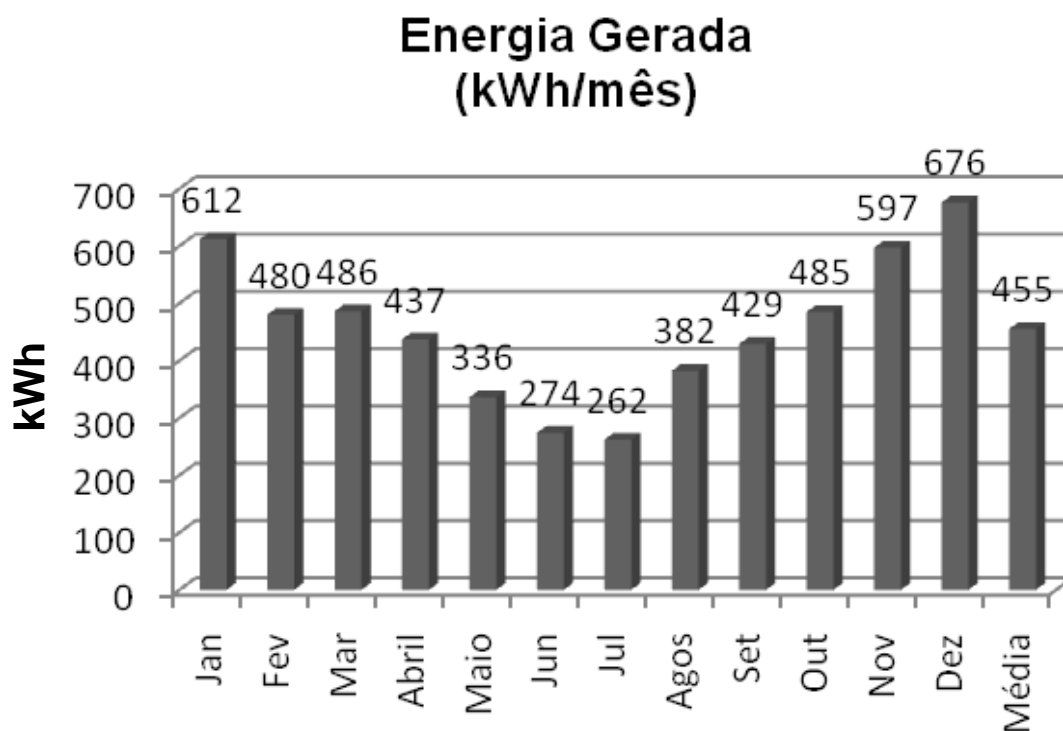


Gráfico 3: Energia gerada pelo sistema - Módulo A
Fonte: Autor

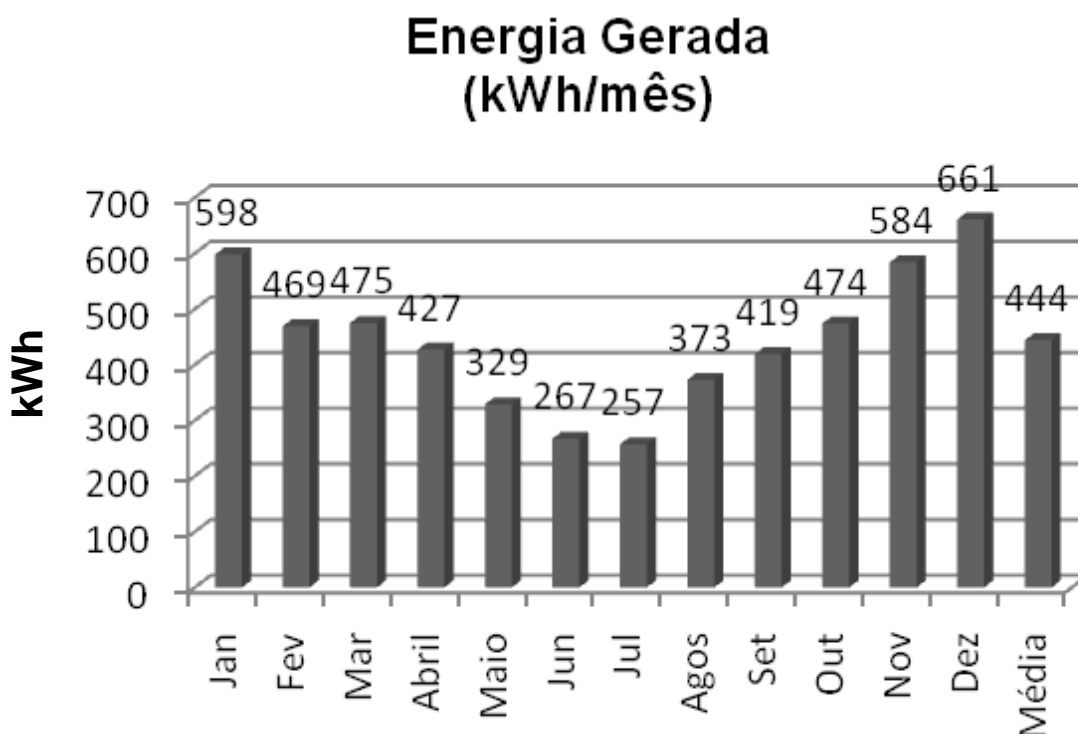


Gráfico 4: Energia gerada pelo sistema - Módulo B
Fonte: Autor

A energia gerada para o sistema em que utilizou os módulos de modelo A totalizaram 5454 kWh e para o sistema de módulos modelo B totalizaram 5333 kWh, sugerindo então para efeito de comparação com a energia consumida pela residência o sistema que utilizou os módulos do tipo A, por apresentarem uma maior energia gerada.

3.2 Comparativo entre energia consumida e energia gerada

Para o sistema solar deste estudo, em que apresentou uma maior energia produzida, possibilitou uma maior economia para o consumidor, quando comparado com o total de energia consumida pela residência. Observou-se que nos meses mais frios, compreendidos entre junho, julho e início de agosto, a energia consumida pela residência foi maior que aquela gerada pelo sistema. Podendo ser colocadas práticas, alternativas de educação de consumo, buscando

uma redução para esse período. Como nesse período a irradiação solar foi muito menor quando comparada com os demais meses mais quentes, em que a energia gerada foi maior, teve nesse período um acúmulo de créditos para o consumidor que poderá utilizar nos próximos 36 meses, segundo consta na Instrução Normativa nº482.

Com a implementação da Resolução nº482, o conceito de *Net Metering* foi implantado, no qual um medidor eletrônico registra a energia consumida na residência e a energia injetada na rede da distribuidora. Durante o dia, quando normalmente o consumo residencial de energia elétrica é menor, pode ocorrer o excedente de energia, uma vez que o sistema fotovoltaico produz mais energia do que a unidade consumidora demanda. Nesse caso, o consumidor residencial pode exportar energia para a rede de distribuição, tornando-se parte da geração distribuída. Como compensação pela exportação de energia, o proprietário do sistema fotovoltaico pagará apenas a diferença entre o que consumiu e o que gerou, ou receberá créditos pela energia exportada excedente, conforme (MARQUES et al, 2013).

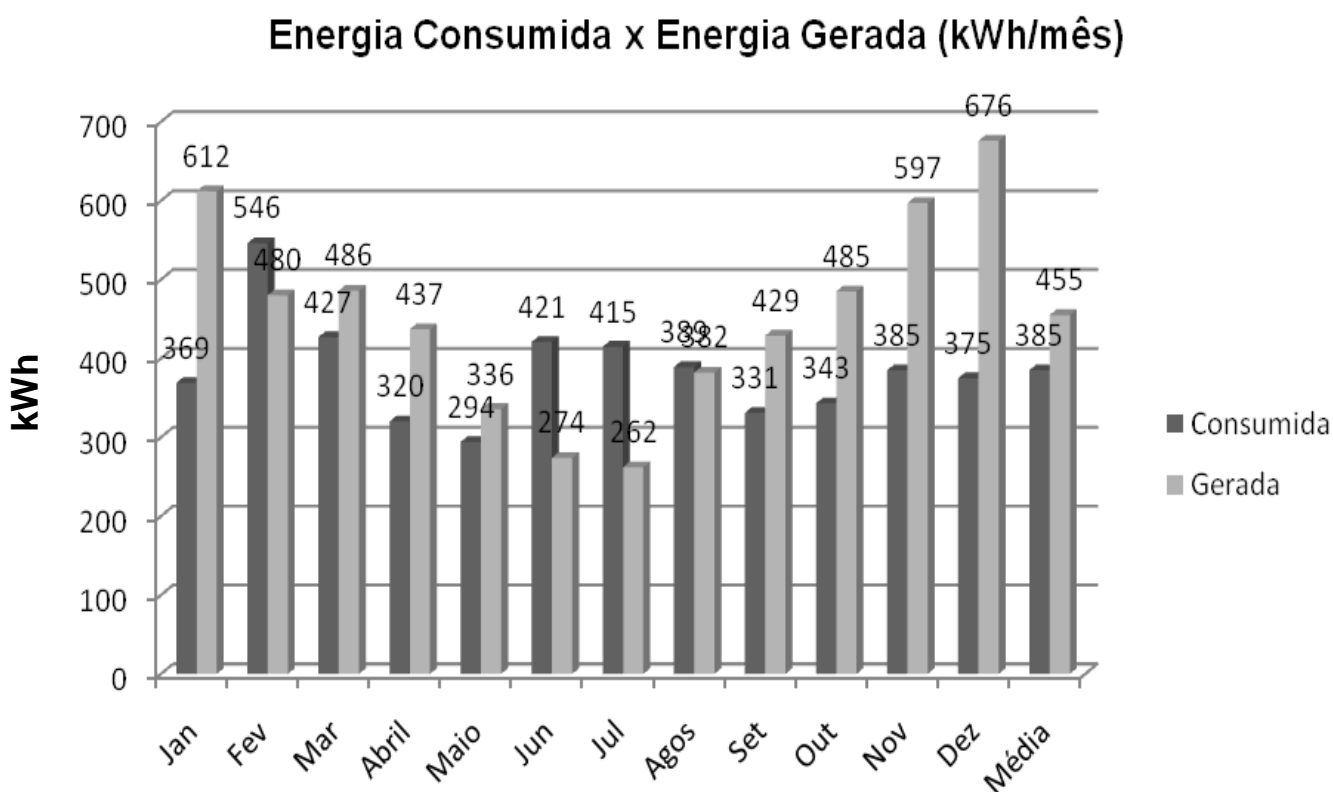


Gráfico 5: Energia consumida x Energia gerada

Fonte: Autor

No gráfico acima observou-se que na maioria dos meses do ano, a energia gerada pelo sistema foi maior que aquela consumida pela residência, chegando a valores de 676 kWh no mês de dezembro, e média anual de 455 kWh. Porém em meses mais frios, a energia gerada já foi menor, chegando a valores de 262 kWh. Quando comparados ao consumo de energia pela residência, nos meses de inverno ele foi maior, chegando a valores de 421 kWh, com média anual de 385 kWh.

3.3 Reduções das emissões de gases efeito estufa

Segundo o MCTI é publicado dois tipos de fatores de emissões de CO₂ para energia elétrica: um para ser usado em projetos de MDL e outro para ser usado em INVENTÁRIOS. Os fatores de emissões de CO₂ calculados de acordo

com a ferramenta metodológica: “Tool to calculate the emission factor for an electricity system” aprovada pelo Conselho Executivo do MDL têm como objetivo estimar a contribuição, em termos de redução de emissões de CO₂, de um projeto de MDL que gere eletricidade para a rede. No presente estudo de caso utilizaremos os fatores referentes aos projetos de MDL tendo como base o ano de 2014, conforme segue abaixo:

Tabela 4: Fatores de emissão de construção e da margem de operação

<u>Margem de Construção</u>											
Fator de emissão médio (tCO ₂ /MWh) – anual											
0,2963											
<u>Margem de Operação</u>											
Fator de emissão médio (tCO ₂ /MWh) – mensal											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,6155	0,5989	0,5699	0,5772	0,5605	0,5678	0,5674	0,5862	0,5994	0,5901	0,5885	0,5825
Média do ano = 0,5837											

Fonte: MCT, 2015

Através dos fatores de emissão da margem de construção e também da margem de operação, obteve-se dessa forma um fator de emissão elétrico de 0,51185 tCO₂/MWh. Totalizando a partir da relação da eletricidade anual gerada com o fator de emissão, 2,79 tCO₂ de emissões evitadas para o sistema em que utilizou os módulos do tipo A e 2,73 tCO₂ de emissões evitadas para os módulos do tipo B, mostrando que mesmo sendo uma quantidade ainda muito pequena tem evitado a emissão de gases efeito estufa.

3.4 Viabilidade do sistema

Para implantação do sistema de energia solar fotovoltaico, indica-se a utilização de 13 módulos de 250W, um inversor de 3000W, e custos com mão-de-obra e projeto, conforme segue abaixo:

Tabela 5: Custos de aquisição do sistema

Custos	
Total de Módulos (13)	R\$12.987,00
Inversor	R\$8.090,00
Mão-de-obra	R\$5.000,00
Total	R\$26.077,00

Fonte: Autor

Com uma economia de R\$ 2.399,76 para o período estudado, foi possível analisar a viabilidade do sistema, comparando com os custos de implantação. Dessa forma, o total foi de R\$ 26.077,00, e obteve-se um período de retorno de 16 anos. Os módulos utilizados possuem 10 anos de garantia contra defeito de fabricação e materiais, além de 25 anos contra perda de produção (80%) e o inversor possui 5 anos de garantia contra defeito de fabricação e materiais com uma vida útil estimada de 10 a 15 anos.

E também para que o sistema funcione perfeitamente é interessante realizar manutenções preventivas e preditivas respectivamente, em que consiste em um trabalho de antecipação dos possíveis problemas e em monitorar as condições ou os desempenhos do sistema. Onde a escolha do local e o modo de instalação desde que bem feitas possibilitará escoamento da água e a limpeza dos módulos. Além pode-se fazer uso de *loggers* equipamento onde vai nos proporcionar um monitoramento do sistema.

Para possibilitar o acesso desse sistema aos consumidores, para a micro e minigeração distribuída, a isenção da incidência do ICMS sobre a energia excedente injetada nas redes das distribuidoras foi removida pelo Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz).

4. CONCLUSÕES

O sistema solar fotovoltaico se torna economicamente viável, mesmo que o período de retorno ainda se apresente alto, de 16 anos, pelo fato de que o custo da energia elétrica vem aumentando de preço gradativamente. Com um total de R\$26.077,00 para instalação completa do sistema, é possível se obter uma economia de R\$2.399,76 durante o período de estudo, tornando interessante a sua implementação, pois diante dos valores pagos a concessionária, esse valor será recuperado ao longo do tempo.

A micro-geração proporcionaria uma redução das emissões de 2,79 tCO₂ para o sistema em que utilizou os módulos do tipo A e de 2,73 tCO₂ caso fosse utilizados os módulos do tipo B.

Dessa forma para os meses de menor geração de energia pelas placas solares algumas práticas, alternativas na redução do consumo seria importante. Começando pelo chuveiro, podendo ser desligado enquanto ensaboa, diminuindo o tempo de banho. O ferro de passar, juntando um grande número de peças para se passar apenas em uma vez, é uma atitude econômica e racional. A geladeira também, por possuir um motor que é acionado quando a temperatura interna ultrapassar um certo limite, quando da abertura da porta. Então o hábito de abrir/fechar a porta precisa ser diminuído para conseguir uma maior economia de energia. Como também a inserção das lâmpadas fluorescentes, e as de LED que tem um consumo muito menor que as incandescentes. E o ar-condicionado, que para um bom rendimento energético, recomenda-se manter limpos os filtros e dutos, e manter janela e portas fechadas. Mas claro que mesmo a família não colaborando com essas medidas não iram ficar sem energia elétrica.

Este estudo mostrou que a micro-geração é um importante avanço para a produção de energias renováveis em nosso país, favorecendo então o acesso dessas residências a uma produção de energia limpa. Trazendo como potenciais benefícios a modalidade ao sistema elétrico: o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a redução das perdas e a diversificação da matriz energética.

5. REFERÊNCIAS

ALESSANDRO FAEDO. **Viabilidade de um sistema de energia fotovoltaica residencial ligado a rede**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ALMEIDA, V. F. C. F. **Potencialidades e viabilidade da utilização de painéis fotovoltaicos nos edifícios e na sua vizinhança urbana**. 201 f. Dissertação (Tese de Mestrado – Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 2013.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Perguntas e Respostas sobre a aplicação da Resolução Normativa nº 482/2012. <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/faq_482_18-12-2012.pdf>. Acesso em 29 de maio de 2015.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Cadernos Temáticos ANEEL. Micro e Minigeração Distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, 2014. <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/caderno-tematico-microeminigeracao.pdf>>. Acesso em 23 de julho de 2015.

ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL 3ª EDIÇÃO. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Brasília, ANEEL, 2008.

BATISTA, F. R. S. **Estimação do valor incremental do mercado de carbono nos projetos de fontes renováveis de geração de energia elétrica no Brasil: Uma abordagem pela teoria das opções reais**. 199 f. Dissertação (Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2007.

BRASILECONOMICO. **Aneel propõe ampliar a geração distribuída**. Disponível em: <<http://brasileconomico.ig.com.br/brasil/2015-05-06/aneel-propoe-ampliar-a-geracao-distribuida.html>>. Acesso em 08 de maio de 2015.

BRITO, et al. **Energia Fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade**. 7 f. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Tutorial Energia Solar: Princípios e Aplicações**. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em 24 de maio de 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desenvolvimento conceitual de metodologia de medição e verificação de consumos de energéticos nas indústrias**. Brasília, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Inserção da geração fotovoltaica distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Nota Técnica DEA 19/14. Série: Recursos Energéticos. Rio de Janeiro, 2014.

FARIAS et al. **Contabilidade Gerencial Aplicada à Gestão de Investimentos: Um Estudo de Caso na Empresa Tecnofrio**. In: 5º Congresso UFSC de Controladoria e Finanças & Iniciação Científica em Contabilidade, 2014, Florianópolis – SC.

GNOATTO et al. **Eficiência de um conjunto fotovoltaico em condições reais de trabalho na região de Cascavel**. 5 f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2008.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<http://www.google.com/earth/index.html>>. Acesso em 16 de maio de 2015.

MARQUES et al. **Energia Solar Fotovoltaica em Unidades Residenciais: estudo de caso**. In: Congresso de Iniciação Científica do IFRN.; Tecnologia e Inovação para o Semiárido, 2013, Currais Novos – RN. IX CONGIC, 2013.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Mecanismo de desenvolvimento limpo – MDL. Documento de concepção do projeto de pequena escala (SSC-PDD). Projeto Cosipar de energia renovável, estado do Pará.** Setembro, 2005. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0009/9298.pdf>. Acesso em 05 de julho de 2015.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Arquivos dos fatores de emissões.** Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/354444.html#ancora>>. Acesso em 05 de julho de 2015.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Plano setorial de mitigação e adaptação à mudança do clima para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na indústria de transformação.** Brasília, DF, 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Governo prepara salto da energia solar em residências e empresas.** Maio/2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em 29 de maio de 2015.

NEOSOLARENERGIA. **Governo prepara salto da energia solar em residências e empresas.** Maio/2015. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/blog/tag/rn-482/>>. Acesso em 08 de maio de 2015.

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

Resolução Normativa n° 482. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 20 de fevereiro de 2015.

RUTHER, R. **Pré-dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de caso do edifício-sede do CREA – SC.** In: Conferência Latinoamericana de Construção Sustentável, 1.; Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10., 2004, São Paulo – SP. I CLACS; X ENTAC, 2009.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais.** 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE.
Disponível em: <<http://unfccc.int/2860.php>>. Acesso em 04 de julho de 2015.