

**FELIPE BEDENDO DE SOUZA
NICK REPETTO BABIO**

**ESTUDO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL CONECTADO À
REDE E SEU CUSTO/BENEFÍCIO**

Juiz de Fora
2018

**FELIPE BEDENDO DE SOUZA
NICK REPETTO BABIO**

**ESTUDO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL CONECTADO À
REDE E SEU CUSTO/BENEFÍCIO**

Monografia de Conclusão de Curso, apresentada ao curso de Engenharia Civil, Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^a. MSc Kamila Peres Rocha

Juiz de Fora

2018

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Faculdade Doctum/JF

SOUZA, Felipe Bedendo; BABIO, Nick Repetto.

Estudo de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede e seu custo/benefício.

Felipe Bedendo de Souza, Nick Repetto Babio.

Juiz de Fora, 2018. 65f.

Monografia (Curso de Engenharia Civil) – Faculdade Doctum Juiz de Fora.

**FELIPE BEDENDO DE SOUZA
NICK REPETTO BABIO**

**ESTUDO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL CONECTADO À
REDE E SEU CUSTO/BENEFÍCIO**

Monografia de Conclusão de Curso,
submetida à Faculdade Doctum de
Juiz de Fora, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil e aprovada pela
seguinte banca examinadora.

Prof. Kamila Peres Rocha

Docente da Faculdade Doctum-Unidade Juiz de Fora

Prof. Henrique Guilherme David Zacarias

Docente da Faculdade Doctum-Unidade Juiz de Fora

Prof. Marlon Lucas Gomes Salmento

Docente da Faculdade Doctum-Unidade Juiz de Fora

Examinado em: 10/12/2018

,

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos nossos pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Obrigado aos nossos respectivos irmãos e namoradas, que nos momentos de nossa ausência dedicados ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente!.

Agradecemos a nossa orientadora Kamila, pela atenção, dedicação e prontidão durante o desenvolvimento de nosso trabalho

Nossos agradecimentos aos amigos, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da nossa formação e que vão continuar presentes em nossas vidas com certeza.

“Para ser grande, às vezes é necessário correr riscos enormes.”

Bill Gates

RESUMO

SOUZA, Felipe Bedendo de; BABIO, Nick Repetto. **Estudo de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede e seu custo/benefício** 65f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2018.

Uma das maiores preocupações da atualidade é o suprimento da demanda energética cada vez maior devido ao crescimento populacional. O risco de uma crise energética culminou em desenvolvimento de tecnologias e formas de aproveitamento de recursos alternativos para geração de energia elétrica. Uma dessas formas é a utilização da energia solar para produção de eletricidade que promove uma geração limpa capaz de suprir a necessidade energética residencial, porém com custo elevado de investimento. Com isso, incentivos governamentais são ferramentas essenciais para impulsionar este mercado. Assim, esse trabalho tem a finalidade de apresentar noções elementares da energia fotovoltaica no Brasil e expor uma análise de viabilidade econômica, a longo prazo, para a instalação desta tecnologia em uma propriedade rural. Será realizado um estudo financeiro no qual será avaliado todos os custos para instaurar um sistema fotovoltaico considerando custo de investimento, operação, manutenção e substituição. O projeto foi realizado através de um estudo de caso em uma propriedade com um consumo médio mensal de 354,5 KW/mês de 258,4 m². Através de uma análise detalhada do projeto, considerando parâmetros relevantes como o custo da energia elétrica, os impostos e isenções concedidas pelos órgãos regulamentadores, ficou evidenciado a viabilidade do sistema proposto para as condições atuais.

Palavras-chave: Energia renovável. Sistema fotovoltaico. Geração de energia. Geração distribuída.

ABSTRACT

One of the major concerns of today is the supply of increasing energy demand due to population growth. The risk of an energy crisis culminated in the development of technologies and ways to take advantage of alternative resources for electric power generation. One of these forms is the use of solar energy for electricity generation that promotes a clean generation capable of meeting the residential energy needs but with a high investment cost. With this, government incentives are essential tools to boost this market. Thus, this work has the purpose of presenting elementary notions of photovoltaic energy in Brazil and exposing a long-term economic feasibility analysis for the installation of this technology in a rural property. A financial study will be carried out in which all the costs will be evaluated to establish a photovoltaic system considering the cost of investment, operation, maintenance and replacement. The project was carried out through a case study on a property with an average monthly consumption of 354.5 KW / month of 258.4 m². Through a detailed analysis of the project, considering relevant parameters such as the cost of electricity, taxes and exemptions granted by regulatory agencies, the feasibility of the proposed system for the current conditions was evidenced.

KEYWORDS: Renewable energy. Feasibility of photovoltaic system. Energy generation. Distributed generation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de radiação solar para diversas localidades do Mundo	25
Tabela 2 - Modelos de Inversores modernos	42
Tabela 3 - Cálculo de Perdas do Sistema	51
Tabela 4 - Investimento do Projeto.....	53
Tabela 5 - Planilha de lucros e dividendos.....	55
Tabela 6 - Planilha de lucros e dividendos para consumidor residencial em perímetro urbano	56

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Produção mundial de células fotovoltaicas	20
Figura 2 – Capacidade solar por região 2003-2016	21
Figura 3 - Matriz energética brasileira	23
Figura 4 - Média da radiação global e plano inclinado no país.....	24
Figura 5 - Esquema simplificado da junção p-n.....	27
Figura 6 - O Efeito Fotovoltaico na junção p-n	28
Figura 7 - Sistema Isolado.....	30
Figura 8 - Sistema Híbrido.....	31
Figura 9 - Sistema Interligado à Rede.....	32
Figura 10 - Sistema de compensação de energia elétrica	35
Figura 11 - Componentes de um Painel Fotovoltaico.....	40
Figura 12 - Estruturas de Fixação dos Módulos	41
Figura 13 - Quadro Geral	43
Figura 14 - Gráfico de Irradiação Solar de São João Nepomuceno	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
INMET	INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
ANEEL	AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
EPE	EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA
INEE	INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGETICA
GD	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
SIN	SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL
NREL	NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY
OMM	ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METROLOGIA
CRESESB	CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO
GTES	GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR
CEPEL	CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA
CCEE	CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
MPPT	PONTO DE MÁXIMA TRANSFERÊNCIA DE POTÊNCIA
MPP	PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA
PWM	MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO
INMETRO	INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA
SFV	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
SFCR	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

PRODIST	PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL
VRES	VALORES ANUAIS DE REFERÊNCIA ESPECÍFICOS
ICMS	IMPOSTO SOBRE CIRCULAÇÃO DE MERCADORIAS E SERVIÇOS
COFINS	CONTRIBUIÇÃO PARA O FINANCIAMENTO DA SEGURIDADE SOCIAL
PASEP	PROGRAMA DE FORMAÇÃO DO PATRIMÔNIO DO SERVIDOR PÚBLICO
PIS	PROGRAMA DE INTEGRAÇÃO SOCIAL
BNDES	BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL
ENERGISA	COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – DISTRIBUIÇÃO
PR	PERFORMANCE RATIO (RENDIMENTO GLOBAL DO SISTEMA)
TD	TAXA DE DESEMPENHO
FDI	FATOR DE DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR
TMA	TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE
SELIC	SISTEMA ESPECIAL DE LIQUIDAÇÃO E DE CUSTÓDIA
FCI	FLUXO DE CAIXA INCREMENTAL
VPL	VALOR PRESENTE LIQUIDO
TIR	TAXA INTERNA DE RETORNO
MME	MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
PROGD	PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA

HP

HORÁRIO DE PONTA

HFP

HORÁRIO FORA DE PONTA

FA

FATOR DE AJUSTE

INV

INVERSOR

LISTA DE SÍMBOLOS

N	Número de módulos
A_m	Área de Um Módulo
β	Coeficiente de Temperatura
T_r	Temperatura de Referência
T_c	Temperatura Instantânea
I_r	Irradiância instantânea
η_T	Eficiência Nominal do Painel
η_{SPMP}	Eficiência do Inversor
η_g	Eficiência Instantânea de Conversão
%	Por cento
δ	Declinação solar
Si	Silício
P	Fósforo
B	Boro
Ge	Germânio
GaAs	Arseneto de gálio
β	Angulação da placa fotovoltaica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS.....	19
1.1.1	Objetivo geral	19
1.1.2	Objetivos específicos	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	EVOLUÇÃO GLOBAL	19
2.2	O RECURSO SOLAR NO BRASIL.....	21
2.3	O POTENCIAL DO RECURSO SOLAR NO BRASIL	23
2.4	CONCEITOS BÁSICOS DE SOLARIMETRIA.....	26
2.5	EFEITO FOTOVOLTAICO	26
2.5.1	Sistemas fotovoltaicos	28
2.5.2	Configurações dos sistemas fotovoltaicos.....	29
2.5.3	Sistemas isolados	30
2.5.4	Sistemas Híbridos	31
2.5.5	Sistemas interligados à rede	32
2.5.6	Vantagens e desvantagens do sistema fotovoltaico.....	33
3	INSTALAÇÕES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	34
3.1	NORMAS TÉCNICAS E LEGISLAÇÕES	34
3.2	PROTEÇÕES DO SISTEMA.....	36
3.3	INCENTIVOS FISCAIS	37
4	ESTUDO DE CASO	39
4.1	EQUIPAMENTOS FOTOVOLTAICOS.....	39
4.2	PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	39
4.3	ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DOS MÓDULOS.....	40
4.4	INVERSORES	41
4.5	QUADROS GERAIS E CONEXÕES	43
4.6	CÁLCULO DE GERAÇÃO ENERGÉTICA	44
5	ANÁLISE DE INVESTIMENTO PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	44
5.1	MÉTODOS PARA ANÁLISE DE INVESTIMENTO	44
5.1.1	Fluxo de caixa.....	45
5.1.2	Método fluxo de caixa descontado	45

5.1.3	Método do valor presente líquido (VPL)	46
5.2	TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	46
5.3	PAYBACK	47
5.4	LCOE.....	48
5.5	INVESTIMENTOS EM EQUIPAMENTOS PARA INSTALAÇÃO E GERAÇÃO DE ENERGIA	49
6	RESULTADOS	54
7	CONCLUSÃO	57
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
8	REFERÊNCIAS	58
9	ANEXOS	62

1 INTRODUÇÃO

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e formas alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades. Dessa forma, a exaustão, escassez ou inconveniência de um dado recurso tendem a ser compensadas pelo surgimento de outro(s). Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões. (ANEEL, 2002).

Investir em novos projetos e alternativas em prol da economia, necessariamente, passam por um estudo de viabilidade econômica. A análise, em geral, é feita através índices de economicidade, que corroboram para a atratividade de um novo investimento. São diversos índices que podemos analisar, mas alguns se destacam, como o valor total do investimento, valor anual uniforme, taxas de retorno interna, e o tempo de retorno de capital.

No Brasil, aproximadamente 48% da energia elétrica é consumida por edificações residenciais, comerciais e públicas; sendo que o setor residencial responsável por 28,88% do total do consumo nacional e os setores comercial e público responsáveis por 19,21%, de acordo com a PROCEL (2016). Partindo dessa premissa atrelada ao aumento da demanda crescente, é evidente a necessidade de estudos acerca de formas alternativas de fornecimento de energia capaz de suprir a carga do setor residencial e comercial.

O modelo de geração elétrica através de placas de conversão fotovoltaica vem sendo utilizados como forma sustentável com baixa interferência ambiental em diversos países e no Brasil, em específico, encontra-se em fase de desenvolvimento e implantação (RELLA, 2017).

O trabalho visa apresentar uma análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede, demonstrando o projeto de locação dos painéis, orçamento e dimensionamento necessário do sistema com o intuito de suprir a demanda energética exigida no local e quantificar o tempo necessário para o retorno do investimento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Apresentar um projeto de usina fotovoltaica para suprir a demanda energética de uma residência rural próximo à São João Nepomuceno em Minas Gerais.

1.1.2 Objetivos específicos

Os seguintes tópicos foram definidos para o desenvolvimento do presente projeto:

- Estudo de trabalhos encontrados na literatura acerca do tema proposto;
- Estudo de normas e regulamentos estipulados pela ANEEL para o sistema de compensação de energia;
- Definição dos elementos e quantidade através de pesquisa com fornecedores encontrados no país;
- Estudo dos métodos de análises de investimento como: Cálculo de *Payback*, taxa de retorno de investimento, fluxo de caixa descontado através do valor presente líquido para verificar a implantação do sistema proposto.

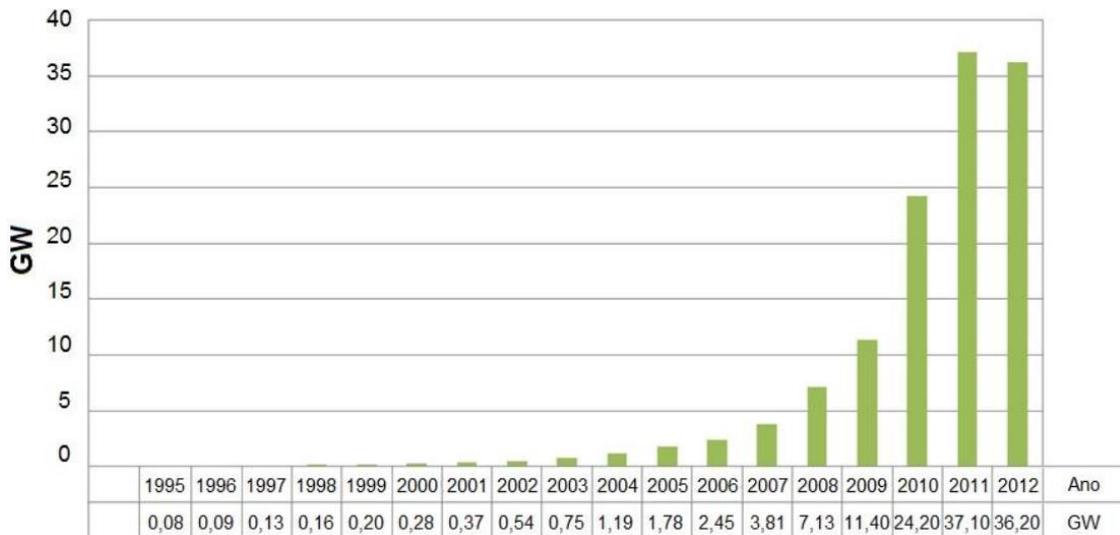
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Evolução global

Embora abundante na Terra, a energia solar para produção de energia elétrica ainda é pouco utilizada. Nos países desenvolvidos este cenário vem mudando, pois, fortes incentivos foram concedidos para a instalação de sistemas fotovoltaicos. A figura 1 apresenta a evolução da produção mundial de células fotovoltaicas (plano

decenal), tendo sido produzidos, em 2012, cerca de 36,2 GWp. Esta potência equivale a mais de duas vezes e meia a potência da usina hidroelétrica de Itaipu, a maior central de produção de energia elétrica do Brasil. Nos últimos onze anos, o crescimento anual médio da indústria de células e módulos fotovoltaicos foi de 54,2% (GTES, 2014).

Figura 1 - Produção mundial de células fotovoltaicas

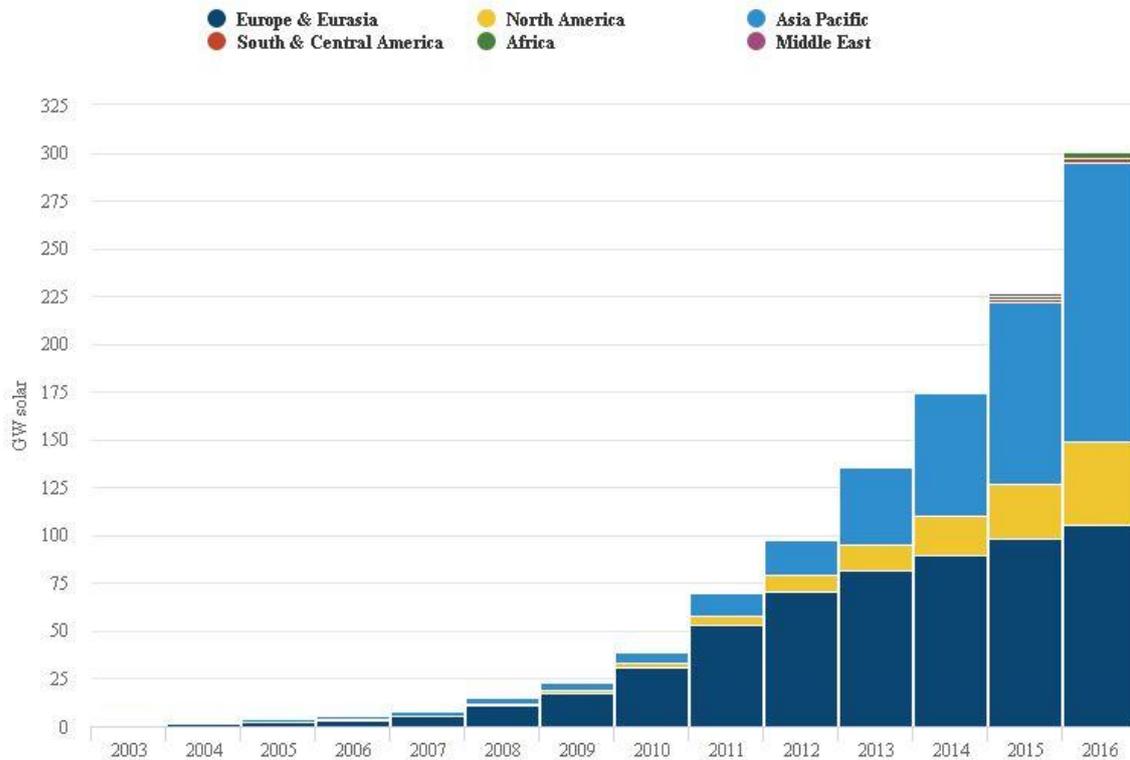


Fonte: Roney, 2013, *apud* GTES (2014)

Na última década, a capacidade solar aumentou exponencialmente, impulsionada pela queda dos preços dos módulos e compromissos nacionais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa ou expandir o acesso à eletricidade (Carboon Brief,2017).

Enquanto a Europa, os EUA e o Japão lideraram o caminho nas primeiras instalações solares, nos últimos anos a maior parte do crescimento foi impulsionada pelos países em desenvolvimento, com a China, em particular, começando a dominar o setor solar (Carboon Brief,2017).

A figura abaixo mostra a capacidade solar global total instalada a cada ano de 2003 a 2016 por região.

Figura 2 – Capacidade solar por região 2003-2016

Fonte: BNEF / Climatescope e da BP Statistical Review of World Energy, 2016, apud Carbon Brief (2017).

A Europa impulsionou grande parte do crescimento inicial da capacidade solar - e reduções de custo. Em 2016, no entanto, a Ásia se tornou a região dominante. A América do Norte também aumentou consideravelmente sua capacidade solar. Embora ainda relativamente pequena, a capacidade solar na África e na América do Sul e Central também registrou um rápido crescimento ano sobre ano a partir de 2013 (Carbon Brief, 2017).

2.2 O recurso solar no Brasil

No Brasil a irradiação global é relativamente bem distribuída pelas regiões do país. Por conta de sua localização, tendo a maior parte de seu território localizado na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todas as estações do ano. Como ordem de grandeza do potencial energético solar pode-se estimar que o consumo do sistema interligado – SIN verificado em 2011

seria totalmente atendido com o recobrimento de uma área de 2.400 km², pouco mais que a metade da área do município de Salvador, com painéis fotovoltaicos numa região com insolação média da ordem de 1.400 kWh/m²/ano (EPE, 2012).

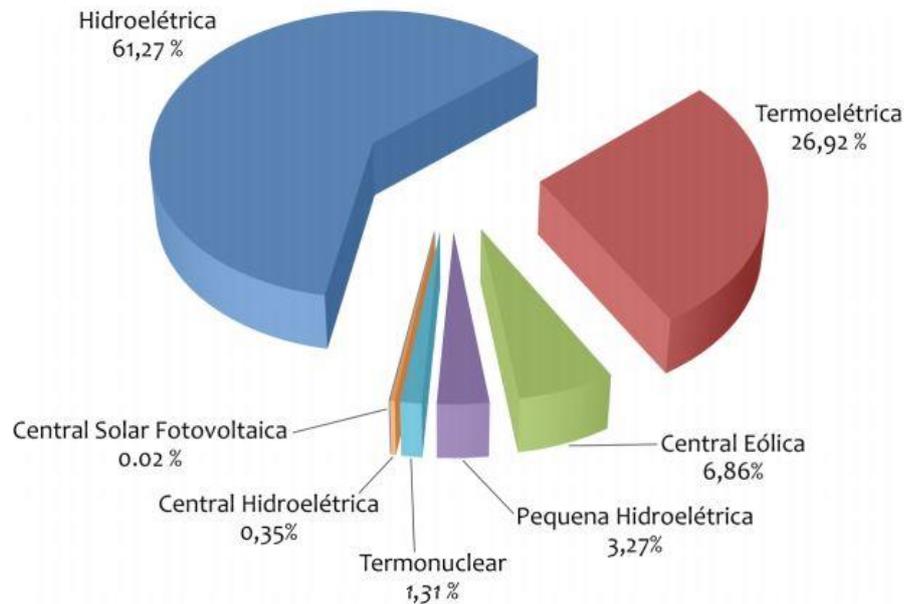
Apesar dessas condições favoráveis, o uso de energia solar para geração elétrica pode e tem as condições de ser considerado como uma opção para alimentar nossas indústrias, casas e edifícios. Como o país já possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, a melhor integração da energia solar FV vem sendo como fonte complementar, aproximando a geração do consumo e reduzindo assim perdas em transmissão (AMÉRICA DO SOL, 2018).

A publicação da Resolução Normativa 482 em abril de 2012, pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e sua revisão, a REN 687/2015, ampliou essas possibilidades, introduzindo o sistema *net metering* no Brasil, mais conhecido como Sistema de Compensação de Energia. Desta forma, reduziu as barreiras para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede de distribuição como a exigência de que as distribuidoras disponibilizem um processo *online* de solicitação da instalação junto à empresa, além do aumento do prazo para a utilização dos créditos dos consumidores referente ao excedente da fatura – de 36 meses para 60 meses (AMÉRICA DO SOL, 2018).

A utilização dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede no Brasil ainda é muito baixa, mas vem se desenvolvendo nestes últimos anos. As perspectivas para essa tecnologia são excelentes, aliada a incentivos governamentais é esperado uma grande difusão de energia solar na matriz energética brasileira.

Consequentemente, é preciso ter o conhecimento das técnicas de projeto para fazer o correto dimensionamento e instalação de sistema conectado à rede, para que as vantagens dessa tecnologia impulsionem esse tipo de geração de energia ao nosso país. (RÜTHER, 2004).

O sistema elétrico brasileiro apresenta-se como um sistema essencialmente hidrotérmico de grande porte com forte predominância de usinas hidroelétricas e com múltiplos proprietários, formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Em maio de 2017, a capacidade total de geração de energia elétrica no Brasil atingiu a marca aproximada de 152 GW com participação das diversas fontes de energia conforme ilustrado na Figura 3 (ANEEL, 2017).

Figura 3 - Matriz energética brasileira

Fonte:ANEEL (2017)

Enquanto as termoelétricas e as hidroelétricas são consideradas fontes firmes capazes de garantir o atendimento da demanda de carga típica do sistema, fontes renováveis como a eólica e a solar fotovoltaica são consideradas fontes intermitentes de energia devido à variabilidade temporal elevada associada às condições meteorológicas presentes no local da planta (INPE,2017).

2.3 O potencial do recurso solar no Brasil

Indiscutivelmente o sol é o recurso natural mais importante para os seres humanos e o ecossistema que os cerca. Além disso, é sem dúvida a maior fonte de energia de que dispõe o nosso planeta. Como fonte primária, a energia solar dá origem a quase todas as outras fontes de energia que conhecemos denominadas fontes secundárias (FELTRE, 2000).

A utilização dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede no Brasil ainda é muito baixa, mas vem se desenvolvendo nestes últimos anos. As perspectivas para essa tecnologia são excelentes, aliada a incentivos governamentais é esperado uma grande difusão de energia solar na matriz energética brasileira. Conseqüentemente,

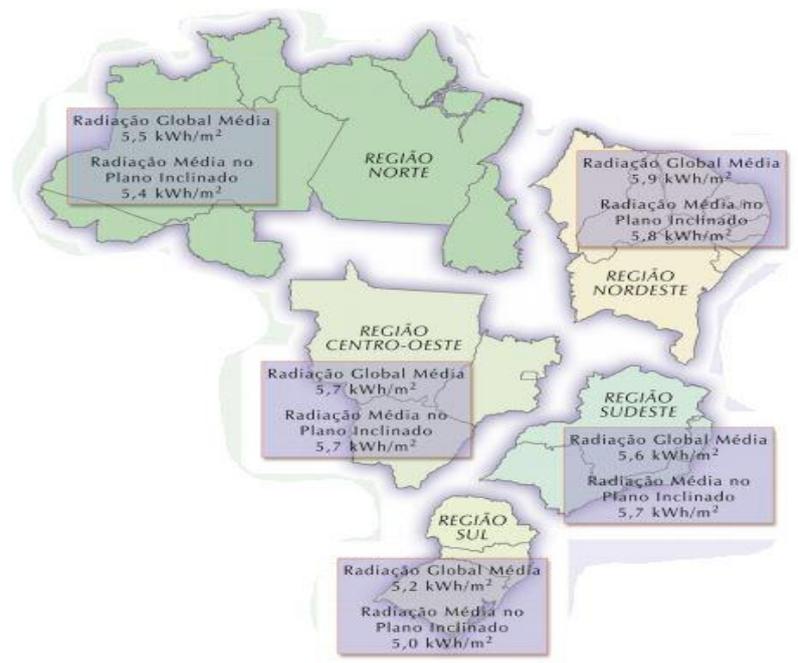
é preciso ter o conhecimento das técnicas de projeto para fazer o correto dimensionamento e instalação de sistema conectado à rede, para que as vantagens dessa tecnologia impulsionem esse tipo de geração de energia ao nosso país. (RÜTHER, 2004).

O país possui um grande potencial para gerar eletricidade a partir do sol. Só para se ter uma ideia, no local menos ensolarado no Brasil é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, que é um dos líderes no uso da energia fotovoltaica (AMÉRICA DO SOL, 2018).

No entanto, ainda existe um longo caminho a ser percorrer, a energia fotovoltaica nos próximos anos ainda continuará a ser uma margem minúscula de toda a energia necessária para cobrir os níveis de consumo mundial. Com isso, o crescimento em medidas de eficiência energética tende a crescer a cada ano, apresentando melhorias e benefícios a custos reduzidos. (SOEIRO, 2016).

A Figura 4 apresenta o potencial anual médio de energia solar para o período de 10 anos em que este estudo se baseia. A região Nordeste apresenta a maior disponibilidade energética, seguida pelas regiões Centro-Oeste e Sudeste. As características climáticas da região Norte reduzem seu potencial solar médio a valores próximos da região Sul (INPE, 2006).

Figura 4 - Média da radiação global e plano inclinado no país



Fonte: INPE (2006)

As regiões desérticas do mundo são as mais bem dotadas de recurso solar. Assim a região da cidade de Dongola, localizada no Deserto Árábico, no Sudão, e a região de Dagget no Deserto de Mojave, Califórnia, Estados Unidos, são exemplos de localidades excepcionalmente bem servidas de radiação solar. Para efeito de comparação, são mostradas na Tabela 1, os valores da radiação solar diária, médias mensais, máximas, mínimas e anuais para estas duas localidades e algumas outras do Brasil. Como pode ser visto nesta tabela, as áreas localizadas no Nordeste do Brasil, têm valores da radiação solar diária, média anual comparáveis às melhores regiões do mundo (CECRESB, 2000).

Tabela 1 - Dados de radiação solar para diversas localidades do Mundo

Localidade	Latitude	$H_{h(mínimo)}$ (MJ/m ²)	$H_{h(máximo)}$ (MJ/m ²)	$H_{h(anual)}$ (MJ/m ²)	$H_{h(max)}/H_{h(min)}$
Dongola-Sudão	19°10'	19,1(Dez)	27,7(Mai)	23,8	1,4
Dagget - USA	34°52'	7,8(Dez)	31,3(Jun)	20,9	4,0
Belém-PA-Brasil	1°27'	14,2(Fev)	19,9(Ago)	17,5	1,4
Floriano -PI-Brasil	6°46'	17,0(Fev)	22,5(Set)	19,7	1,3
Petrolina-PE-Brasil	9°23'	16,2(Jun)	22,7(Out)	19,7	1,4
B. J. da Lapa -BA-	13°15'	15,9(Jun)	21,1(Out)	19,7	1,3
Cuiabá-MT-Brasil	15°33'	14,7(Jun)	20,2(Out)	18,0	1,4
B. Horizonte-MG-Brasil	19°56'	13,8(Jun)	18,6(Out)	16,4	1,3
Curitiba-PR-Brasil	25°26'	9,7(Jun)	19,4(Jan)	14,2	2,0
P. Alegre-RS-Brasil	30°1'	8,3(Jun)	22,1(Dez)	15,0	2,7

Fonte: CECRESB (2000)

O silício, matéria prima para o desenvolvimento de placas solares, é encontrado em grande quantidade nas reservas situadas no Brasil. Isso faz com que o país seja um local privilegiado para desenvolver uma indústria local de produção de células solares, gerando empregos e retorno em impostos pagos. Para isso, seria preciso investir em pesquisas para desenvolver um conhecimento de purificação do silício até o chamado “grau solar”, que é superior ao do silício empregado na siderurgia (AMÉRICA DO SOL, 2018).

2.4 Conceitos básicos de solarimetria

A medição da radiação solar, tanto a componente direta como a componente difusa na superfície terrestre é de maior importância para o estudos das influências das condições climáticas e atmosféricas. Com um histórico dessas medidas, pode-se viabilizar a instalações de sistemas térmicos e fotovoltaicos em uma determinada região garantindo o máximo aproveitamento ao longo do ano onde, as variações da intensidade da radiação solar sofrem significativas alterações (CECRESB,2008).

O planeta Terra, anualmente, em seu movimento em torno do Sol, descreve em trajetória elíptica um plano que é inclinado de aproximadamente $23,5^\circ$ com relação ao plano equatorial. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte em relação à mesma hora, ao longo dos dias, dando origem às estações do ano e dificultando os cálculos da posição do Sol para uma determinada data (CRESESB, 2006).

2.5 Efeito Fotovoltaico

Descoberto por Edmond Becquerel em 1839, o efeito fotovoltaico consiste na geração de energia elétrica a partir da transformação da energia contida na radiação luminosa. Esse fenômeno sucede em determinados elementos semicondutores com predisposição de captar a energia trazida nos fótons existentes na radiação luminosa provocando, nos extremos da estrutura do material, uma diferença de potencial. Os materiais semicondutores caracterizam-se pela existência de bandas de energia, sendo elas a banda de valência, onde é concedida a presença de elétrons, e a banda de condução, sendo ela totalmente “vazia”.

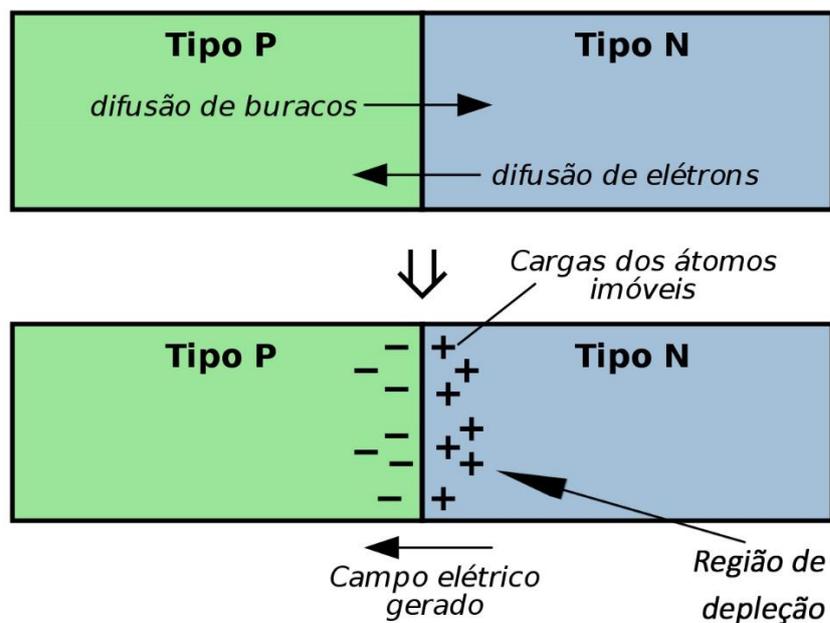
O material semicondutor usualmente utilizado é o silício (Si). Os átomos desse elemento possuem quatro elétrons que se acoplam aos vizinhos através de ligação covalente, estabelecendo uma rede cristalina. Ao agregar átomos com cinco elétrons de ligação, tal como o fósforo (P), “sobrará” um elétron que não será capaz de ser emparelhado e ficará com uma fraca ligação em seu átomo de origem. Portanto, este elétron se libera com pouca energia térmica e vai para a banda de condução. Dessa maneira, o fósforo denomina-se dopante doador de elétrons “n”. No entanto, ao

adicionar átomos com apenas três elétrons na última camada, como o boro (B), ocorrerá uma ligação com apenas sete elétrons e faltará um elétron para satisfazer a ligação com o silício.

Esta falta de elétron é denominada “buraco” ou “lacuna” e ocorre que, com pouca energia térmica, um elétron de um sítio vizinho pode passar a esta posição, fazendo com que o “buraco” se desloque. Diz-se, portanto, que o boro é um aceitador de elétrons ou um dopante “p” (CRESESB, 2006).

Logo, ao se adicionar átomos de boro e fósforo no silício puro, formará o que se denomina junção p-n. Nessa união, elétrons livres da parte n migram para o lado p onde deparam-se com buracos que os capturam; dessa maneira, há uma redução de elétrons do lado n, tornando-o eletricamente positivo e no lado p os elétrons aglutinam-se e o transformam em eletricamente negativo. Essas cargas confinadas criam um campo elétrico permanente que complica a transferência de elétrons do lado n para o p; este sistema atinge um equilíbrio no momento em que o campo elétrico gera uma barreira forte o suficiente para restringir os elétrons livres restantes no lado n, denominado região de depleção. Na figura 8 está sintetizado um esquema de como acontece a junção p-n em um material semiconductor.

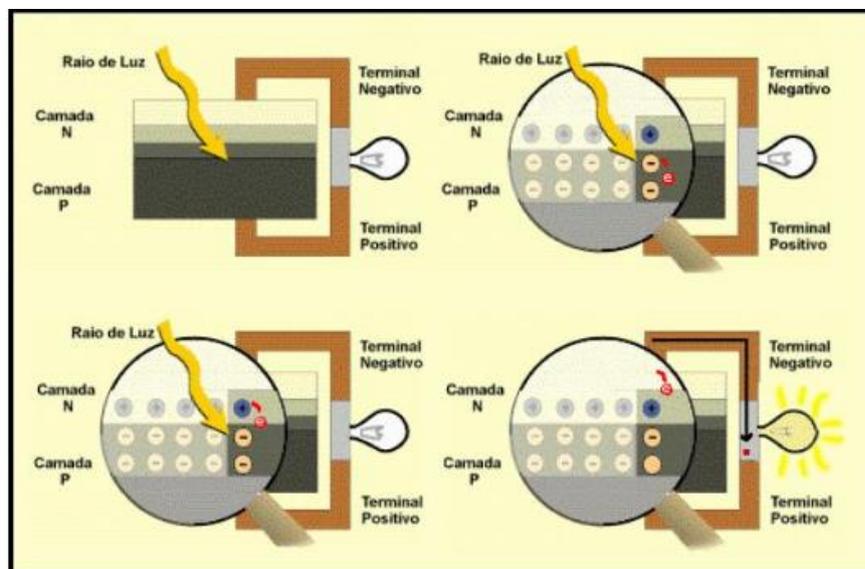
Figura 5 - Esquema simplificado da junção p-n



Fonte: www.electronica-pt.com (2018)

Para que os elétrons mudem de banda é necessária uma energia denominada *gap*. Dessa maneira, se a junção p-n for submetida a fótons com energia superior ao *gap* gerará pares elétron-lacuna; caso isto ocorra onde o campo elétrico difere de zero, ocorrerá uma aceleração das cargas, estabelecendo assim, uma corrente através da junção; esse deslocamento de cargas origina uma diferença de potencial nomeado de Efeito Fotovoltaico o que é exemplificado na figura 9 abaixo.

Figura 6 - O Efeito Fotovoltaico na junção p-n



Fonte: www.cresesb.cepel.br (2014)

Caso os dois extremos da ligação de silício forem acoplados por um fio, sucederá uma circulação de elétrons. Sendo este o fundamento de funcionamento das células fotovoltaicas.

2.5.1 Sistemas fotovoltaicos

De acordo com CRESEB (2006), define-se que os sistemas fotovoltaicos são sistemas que obtém energia única e diretamente da luz, transformando-a em eletricidade (célula fotovoltaica que é fabricado com material semicondutor). Sua

utilização vem desde pequenas residências, locais isolados de rede elétrica, até distribuição em lugares com grande demanda energética. Em média o sistema tende a durar cerca de 25 anos, podendo chegar até aos 30 anos.

Este modelo de sistema compõe-se, essencialmente, de um agrupamento de módulos solares interligados através de uma interface de conexão ao restante do sistema. O módulo ou painel solar, usualmente, abrange um conjunto de células fotovoltaicas conectadas em série ou paralelo, sendo esse o dispositivo primordial dos sistemas fotovoltaicos. Esta célula atua através do efeito fotoelétrico e possui diferentes composições e tecnologias. Os painéis solares mais utilizados atualmente são feitos de silício, no entanto existem módulos desenvolvidos em gálio, cobre, índio, titânio e cádmio, entre outros.

Devido à escassez de energias não renováveis, no início do século XXI até os dias atuais, por ser um método de energia sustentável e que a cada ano que passa sua tecnologia vem melhorando, houve um crescimento em grande escala na utilização de energia solar. Como consequência, seu custo vem abaixando gradualmente em uma média de 20% ao ano, tornando-o competitivo com outras fontes de energia. (ROPER, 2001)

Com o gradual crescimento em sua utilização, atualmente encontra-se como a terceira fonte de energia renovável mais utilizada do mundo inteiro, ficando atrás só das hidroelétricas e eólicas. (PORTAL SOLAR, 2016)

É preciso que o instalador tenha em mãos um levantamento de medições de radiação solar do local, para que seja possível realizar o estudo de viabilidade do projeto. Este levantamento pode ser feito através de programas online disponíveis, como o “Sun data” do CRESESB, para fornecer os dados corretos através da coordenada geográfica do local.

2.5.2 Configurações dos sistemas fotovoltaicos

Segundo Miranda (2014), existem três configurações de sistemas fotovoltaicos, são eles: Isolados, Híbridos e Conectados à rede elétrica. A seguir, segue a explicação do funcionamento de cada um deles, para comparação e definição do melhor sistema para este projeto.

2.5.3 Sistemas isolados

Sistemas isolados como mostra a Figura 7, são os sistemas que armazenam a energia extraída durante o dia em dispositivos, como baterias, por exemplo, mas também há sistemas isolados que não compartilham desse armazenamento, como os que são utilizados em sistemas de irrigação, que tem como finalidade o bombeamento da água diretamente para o consumo, ou armazenamento em reservatórios (CRESESB, 2006).

Figura 7 - Sistema Isolado



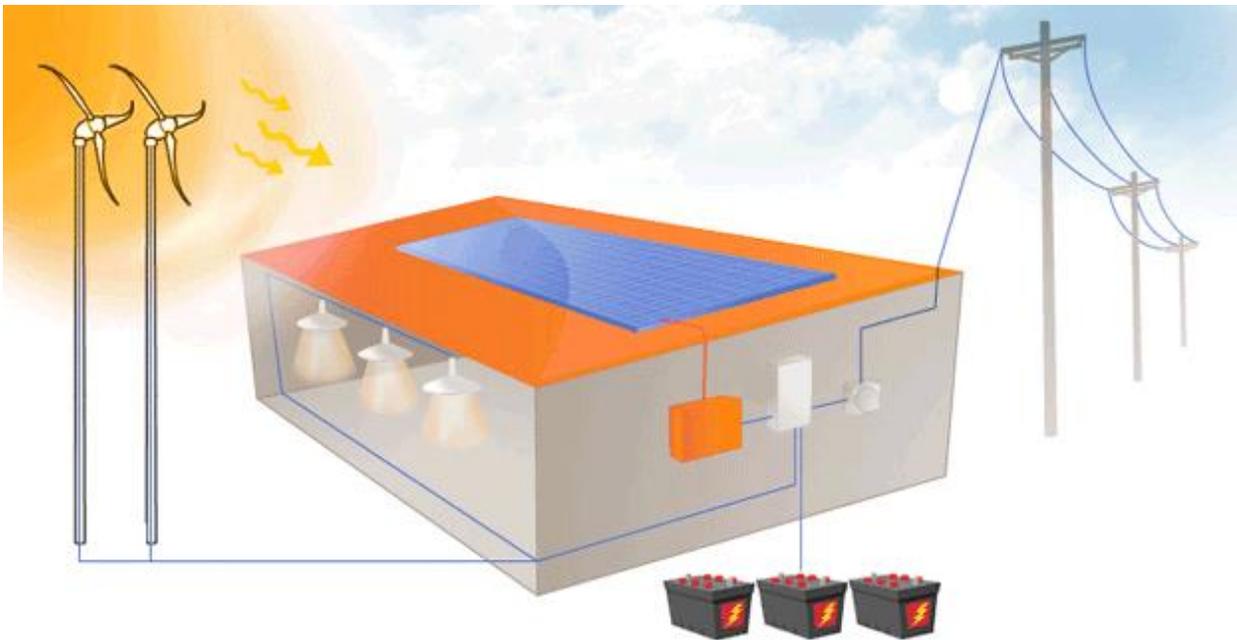
Fonte: <https://redimax.com.br> (2017)

Quando há necessidade de instalação de um sistema com armazenamento de energia em baterias, é utilizado um dispositivo para controlar a carga/descarga na bateria. Seu uso se dá em sistemas pequenos de baixa tensão e de Corrente Contínua (CC), como um exemplo, o uso em sistemas de bombeamento de água. Quando a corrente for alternada (CA), é obrigatória a instalação de um inversor (que será explicado mais à frente no item 2.2) (PORTAL ELETRICISTA, 2016).

2.5.4 Sistemas Híbridos

Desconectados ou não da rede elétrica convencional, sua extração de energia é devido ao uso de várias fontes. Havendo uma enorme complexidade na hora de obter uma otimização do uso das energias. Sendo obrigatório o controle de todas as fontes, para que seja possível uma máxima eficiência na hora de entregar a energia ao usuário. (CRESESB, 2006).

Figura 8 - Sistema Híbrido



Fonte: <http://energiahibrida.blogspot.com.br>

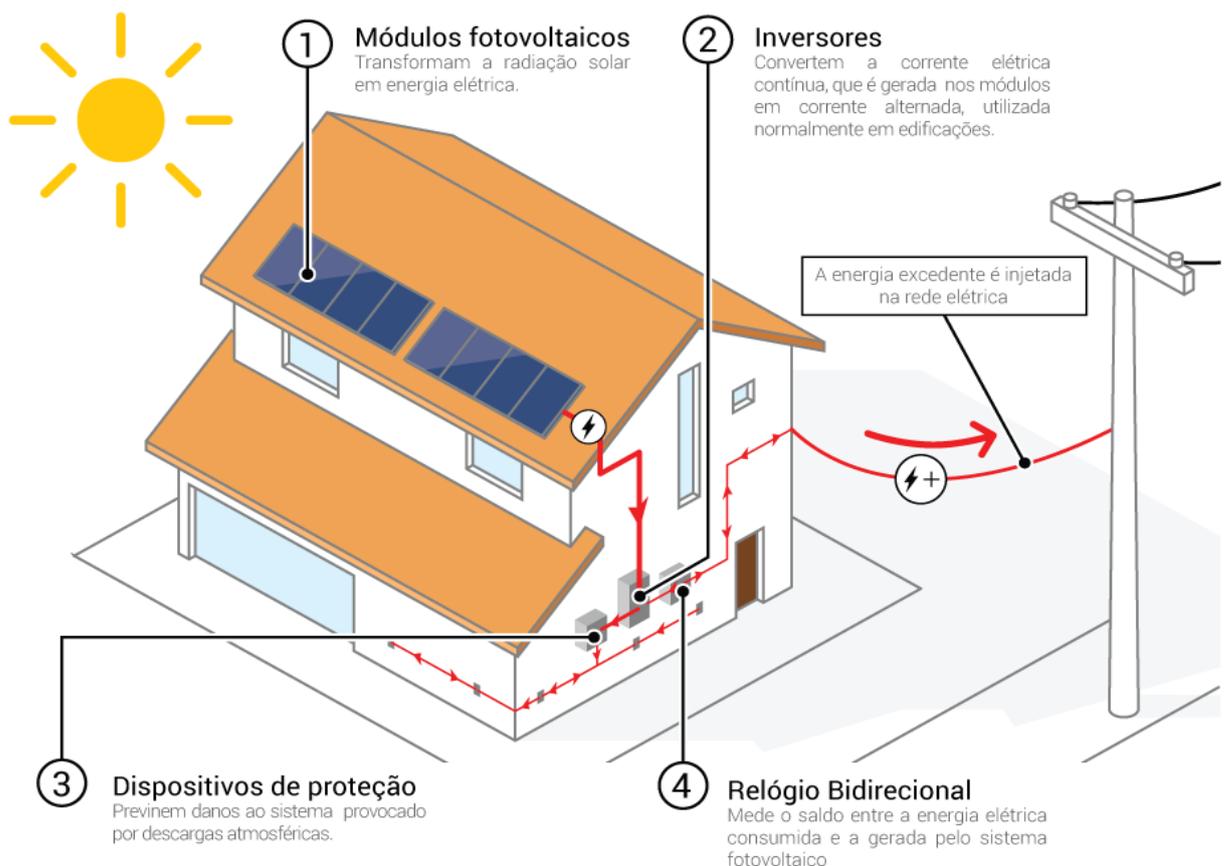
De acordo com CRESESB (2006), apresentam inversores, já que trabalham com corrente contínua. Por ser um sistema muito complexo, devido aos vários arranjos e opções múltiplas que existem, necessita de estudos detalhados em cada caso para obter a otimização ideal. Normalmente são utilizados em sistemas de médio para grande porte, chegando a fornecer uma maior quantidade de energia.

2.5.5 Sistemas interligados à rede

Segundo a CRESESB (2006), são os sistemas que necessitam de uma maior quantidade de painéis fotovoltaicos. Sua energia gerada é repassada diretamente para a rede convencional, então não existe um sistema interligado a rede que tenha baterias para armazenamento. São conectados em inversores para que a energia gerada possa chegar à rede da melhor forma possível.

É também o sistema com o melhor custo benefício, a qual o retorno do investimento é feito de forma mais rápida. Com isso, será o sistema implantado nesse estudo de caso.

Figura 9 - Sistema Interligado à Rede



Fonte: <http://www.ledlumen.com.br/>

Esse sistema possui um relógio bidirecional, que tem como função medir o saldo entre a energia elétrica consumida e a gerada pelo sistema fotovoltaico,

conforme citado no 4º item da figura 9, mostrando que quando o sistema necessitar de energia, a rede de distribuição irá fornecê-lo, e quando em excedente, será depositado novamente a rede.

2.5.6 Vantagens e desvantagens do sistema fotovoltaico

Segundo Pena (2016), a vantagem principal da energia fotovoltaica é por ser uma energia renovável e com disponibilidade gratuita do calor do sol, além de ser inesgotável, em que cada dia que passa sua geração é refeita.

Pena (2016) destaca também o fato de não precisar de nenhuma forma de adaptação, pois necessita apenas de uma área com forte intensidade solar durante o dia, sendo também uma alternativa como resolução de fonte energia para áreas de difícil acesso, e pelo fato de a única intervenção humana ser apenas o estudo do local estratégico para adquirir e otimizar a maior quantidade possível de energia diária.

Somando-se ao fato de não haver necessidade de manutenção em curtos períodos de tempo, pelo contrário, sendo uma manutenção anual mínima, pois os materiais utilizados são resistentes e de grande qualidade, tornando o custo de manutenção muito baixo (PENA, 2016).

Além de não necessitar de grandes áreas para instalação e nem de algum tipo de desmatamento, nem em casos de grandes usinas solares que atendam à uma grande demanda, onde a única exigência é que seja instalada em locais afastados por conta do alto calor gerado (PENA, 2016).

Um das desvantagens ficam por conta do alto custo das placas, que por ser uma tecnologia “nova”, mas que de acordo com os anos vem diminuindo cada vez mais com a “popularização” e o aumento de tecnologia e incentivos e também pelo fato das placas terem um nível de eficiência ainda baixo, outro fator que está mudando conforme o passar dos anos. Por ser uma energia que depende única e exclusivamente do sol, em dias nublados a geração de energia é prejudicada. Todas as formas de extração de energia apresentam o problema de não poderem ser usadas com o máximo de eficiência ao longo do ano inteiro (PENA, 2016).

Outro fator que impacta como desvantagem do sistema é na produção dos equipamentos, que devido ao alto valor da extração de minérios para a produção dos mesmos, como o zinco, por exemplo, causam-se prejuízos ambientais. Cita-se

também como um fator, o elevado calor gerado no local onde está instalado o sistema, as chamadas ilhas de calor, que pode ter como um exemplo de consequência, uma elevação do índice de mortalidade de várias espécies de aves. (PENA, 2016).

3 INSTALAÇÕES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

3.1 Normas técnicas e legislações

Em 17 de abril de 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 que estabeleceu os pilares da nossa primeira legislação sobre as condições gerais de acesso à rede, porém em 2015 que a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015, com início em 1º de março de 2016, onde houve a inovação em que o consumidor poderá gerar a própria energia a partir de qualquer fonte renovável ou também por cogeração qualificada, e quando for necessário fornecer o excedente de volta a rede de distribuição. Este processo é conhecido como micro ou minigeração distribuída de energia elétrica e já foi implantado em todos os estados do Brasil.

- A microgeração é denominada quando se possui uma central geradora com potência instalada de até 75 kW;
- A minigeração distribuída é aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW.

Um modelo de microgeração de sistema fotovoltaico ligado à rede pode funcionar de forma em que a sobra de energia gerada pela central, que ocorre durante o dia, seja passada para a rede, e à noite a rede devolve a energia para a central do consumidor. Portanto, a rede funcionará como uma bateria, armazenando a energia até que o consumidor necessite dela novamente. (ANEEL, 2015)

No mês em que houver excedente de energia, o consumidor receberá créditos com a distribuidora que poderão ser utilizados para diminuir faturas posteriores ou até segundo as novas regras, ser usados para abater o consumo de outras unidades do

titular, porém, tendo que estar dentro da mesma área de atendimento da distribuidora, este sistema de créditos foi denominado “autoconsumo remoto”. (ANEEL, 2015)

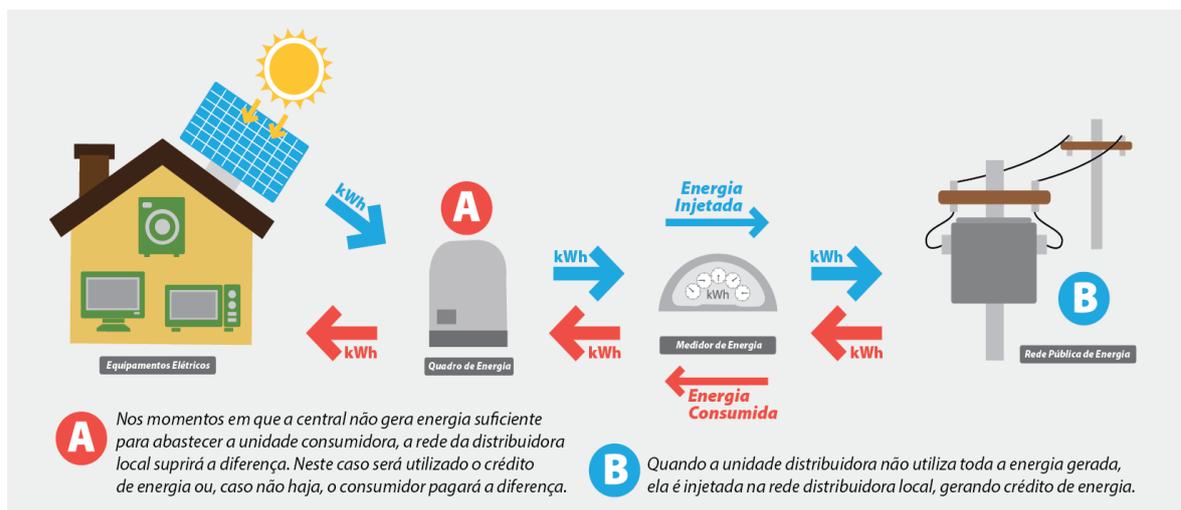
Vale ressaltar que as unidades conectadas à rede em baixa tensão mesmo que a energia produzida seja superior ao consumo, haverá o pagamento referente ao custo de disponibilidade. Porém para consumidores em alta tensão a cobrança poderá vir zerada, sendo que a parcela correspondente à demanda contratada será cobrada normalmente. (ANEEL, 2016)

O padrão de entrada, como foi apresentado na Figura 9, deve estar em acordo com as normas de baixa tensão e de geração distribuída que são exigidas para este projeto.

Na Legislação de cada Concessionária de Energia Elétrica é possível obter todos os detalhes do padrão, como o aterramento, postes e ramais de ligação, bem como altura de posicionamento da caixa do medidor e outras características próprias de cada concessionária.

O sistema de compensação de energia proposto pela ANEEL é mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Sistema de compensação de energia elétrica



Fonte: <http://www.kraaften.com/sistema-de-compensacao/>

3.2 Proteções do sistema

Em geral a proteção do sistema se divide em duas partes, a proteção das pessoas e a proteção individual do sistema. A proteção individual do sistema funciona por meio de equipamentos de corte para sobrecargas, sobre tensões, curto circuitos e contra descargas atmosféricas, já a proteção de pessoas contra contatos indiretos é tipicamente realizada por meio de aparelhos diferenciais com a sensibilidade adequada para cada instalação. (CRESESB, 2014)

Segundo o CRESESB (2014), como parte de sua proteção individual o sistema possui dispositivos que normalmente são instalados pelo fabricante, entre eles temos os diodos de bloqueio ou diodos de desvio, que quando associado em paralelos tem a função de desviar a corrente produzida pelos outros módulos, ficando assim inativo o módulo defeituoso, evitando correntes em sentido contrário.

Outros dispositivos presentes são os disjuntores eletromecânicos, que tem como finalidade proteger o circuito contra sobrecarga ou curtos-circuitos. Sua função é identificar valores de corrente elétrica que ultrapassem o limite da corrente de serviço admissível pelo sistema e pelos condutores. (CRESESB, 2014)

Ligado também ao sistema, os seccionadores são componentes que permitem fazer o ligamento ou desligamento de uma carga. Essencialmente é um dispositivo de manobra (mecânico) que assegura, na posição aberta, uma distância de isolamento que satisfaz requisitos de segurança especificados. (MIRANDA, 2014)

De acordo com as normas das Concessionárias de Energia Elétrica é necessária a conexão do sistema de aterramento da planta de geração ao sistema de aterramento já existente. Os painéis que normalmente são de um material metálico, deverão ser conectados ao sistema de aterramento. (MIRANDA, 2014)

Mesmo com uma ligação correta de terra, a corrente não impedirá de possivelmente atravessar elementos condutores estranhos à instalação elétrica, portanto tudo que estiver próximo a um raio de 3 metros da instalação deverá ser conectado à malha de condutores para proteção integral em caso de falha ou descarga elétrica. (CRESESB, 2014)

Também segundo o CRESESB (2014), o condutor de terra deve estar separado dos demais condutores, de forma a evitar descargas de indução e seu caminho de

conexão à haste deve possuir o menor caminho possível, sempre se possível em linha reta e vertical.

3.3 Incentivos fiscais

Segundo o MME (2016) estes são os principais incentivos fiscais para os projetos de energia fotovoltaica:

- ProGD – O Ministério de Minas e Energia lançou, em 15/12/2015, o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica, com o objetivo de aprofundar as ações de estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores (residencial, comercial, indústria e agropecuária), com base em fontes renováveis, em especial, a solar fotovoltaica. Chamada Pública (CP) ANEEL – De 2014 a 2016 entraram em operação as plantas FV da CP nº 013/2011 - Projetos Estratégicos: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira” (24,6 MW contratados, ao custo de R\$ 396 milhões).
- Isenção de IPI - De acordo com o Decreto nº 7.212, de 15/06/2010, são imunes à incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados, a energia elétrica, derivados de petróleo, combustíveis e minerais.
- Isenção de ICMS - Pelo Convênio ICMS 101/97, celebrado entre as secretarias de Fazenda de todos os estados, há isenção do imposto Sobre Circulação de Mercadorias (ICMS) para as operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica, válido até 31/12/2021.
- Desconto na TUST/TUSD - A RN ANEEL 481/2012, ampliou para 80% o desconto na tarifa de uso do sistema de transmissão/distribuição (TUST/TUSD) para empreendimentos com potência inferior a 30 MW.

- Isenção de ICMS, PIS e COFINS na Geração Distribuída – Os convênios ICMS 16, 44 e 52, 130 e 157, de 2015, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), firmados por AC, TO, MA, CE, RN, PE, AL, BA, MG, RJ, SP, RS, MS, MT, GO e DF, isentam o ICMS sobre a energia que o consumidor gerar. O tributo se aplica apenas sobre o excedente que ele consumir da rede, e para instalações inferiores a 1 MW. O mesmo vale para o PIS e Cofins (Lei 13.169, de 6/10/2015).
- Redução do Imposto de Importação – A Resolução CAMEX 64, de 22/08/2015, reduz de 14% para 2%, a alíquota incidente sobre bens de capital destinados à produção de equipamentos de geração solar fotovoltaica, vigente até 31/12/2016.
- Inclusão no programa “Mais Alimentos” - A partir de novembro de 2015, os equipamentos para produção de energia solar e eólica passaram a fazer parte do programa “Mais Alimentos”, o que possibilita financiamentos a juros mais baixos.
- Apoio BNDES: pela Lei 13.203, de 8/12/2015, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, foi autorizado a financiar, com taxas diferenciadas, os projetos de geração distribuída em hospitais e escolas públicas.
- Plano Inova Energia – Fundo de R\$ 3 bilhões, criado em 2013, pelo BNDES, Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ANEEL, com foco na empresa privada e com o objetivo de pesquisa e inovação tecnológica nas áreas de: redes inteligentes de energia elétrica, linhas de transmissão de longa distância em alta tensão; energias alternativas, como a solar; e eficiência de veículos elétricos.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Equipamentos fotovoltaicos

Ao longo do capítulo serão demonstrados apenas os equipamentos utilizados em um sistema fotovoltaico conectado à rede, levando ao leitor uma orientação na compra dos equipamentos e na instalação dos devidos. Vale ressaltar que os equipamentos possuem uma vida útil, tendendo a serem maiores do que o tempo de retorno do sistema, levando em conta que suas manutenções sejam feitas corretamente.

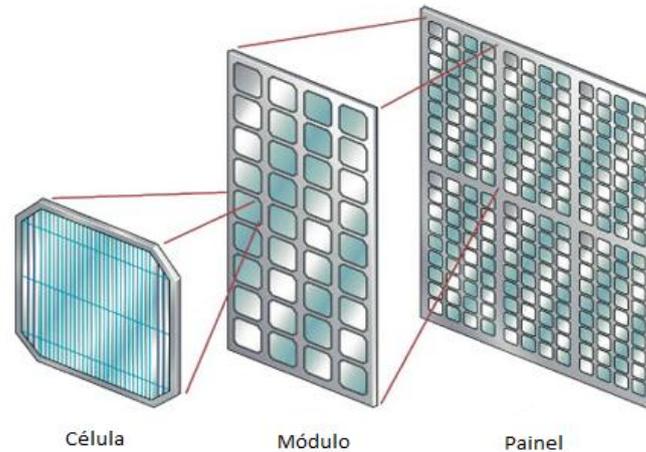
4.2 Painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são compostos de conjuntos de módulos e células fotovoltaicas conectadas para produzir tensões e correntes, visando à produção de energia, podendo ser as células conectadas em série ou paralelo (CRESESB, 2014).

Segundo Portal Solar (2016), devemos levar alguns dados em consideração para a escolha dos painéis solares dos sistemas fotovoltaicos, como a garantia de potência mínima após os seus 25 anos de vida útil garantida pela maioria dos fabricantes, eficiência, área, coeficiente de temperatura, e seu custo benefício.

Depois de conhecida a quantidade de horas e o consumo em watts necessários para a residência, à escolha do painel será feita conforme sua capacidade de geração em ampere, dividindo a potência exigida em watts pela tensão do sistema, logo teremos uma nova divisão pelo tempo médio de insolação. Sendo assim, com o valor encontrado, devemos escolher quantos e quais painéis solares deverão ter para que se chegue a potência desejada (PORTAL SOLAR, 2016).

Figura 11 - Componentes de um Painel Fotovoltaico



Fonte: [http://www.geopower.it/images/pagine/Aggiornamento_ottobre_09/FOTO-VOLTAICO/elementi%20fv\(2016\)](http://www.geopower.it/images/pagine/Aggiornamento_ottobre_09/FOTO-VOLTAICO/elementi%20fv(2016))

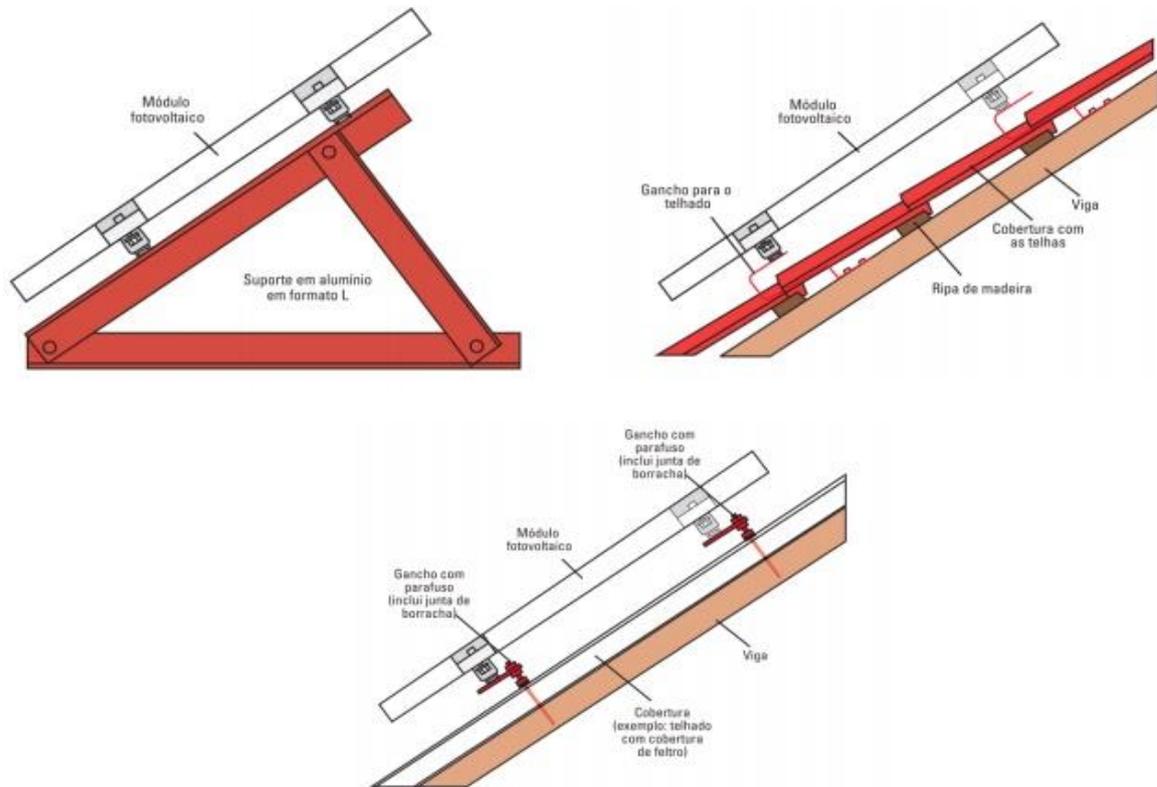
4.3 Estrutura de fixação dos módulos

A estrutura de fixação tem como princípio manter os painéis fora da influência do vento ou de algum esforço mecânico. Deve-se sempre comparar o valor especificado pelo fabricante e o valor medido no local, de forma a assegurar que maiores esforços encontrados no local sejam menores que os máximos especificados por ele (MIRANDA, 2014).

A posição ideal para a instalação dos painéis no Brasil é para o norte, e sua inclinação está em função da latitude do local, contudo, quando o ângulo de inclinação estiver igual ao da latitude do local é normalmente o melhor ângulo de instalação, devido ao fato de ter maior incidência solar e conseqüentemente mais produção de energia. Mesmo assim, recomenda-se uma inclinação mínima de 10° graus, para evitar o acúmulo de água e limpeza natural das placas com água da chuva (MIRANDA, 2014).

Além disso, é importante que o suporte não esteja sujeito a forças excessivas devido à expansão térmica de toda a estrutura. A Figura 12 demonstra exemplos de suportes encontrados no mercado.

Figura 12 - Estruturas de Fixação dos Módulos



Fonte: MIRANDA, Arthur. Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. 2014. 98 p

4.4 Inversores

Inversores são dispositivos que, a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua, nos fornece a energia em corrente alternada. Essa energia que é fornecida pode ser proveniente de vários sistemas, porém, para que se encaixe neste estudo, trataremos somente da energia obtida através de módulos fotovoltaicos conectados à rede. (CRESESB, 2014)

No Momento da escolha dos inversores é importante verificar o histórico do fabricante, a disponibilidade de fornecedores e o modelo do inversor para a escolha do mesmo, só assim pode-se garantir que terá uma compra tranquila. Os inversores possuem uma vida útil esperada de 10 a 15 anos, podendo ser trocados posteriormente. Em sistemas conectados à rede, devem-se utilizar inversores

confiáveis e já testados, pois é assim que é possível diferenciar os fabricantes deste produto que não apresentam a confiabilidade desejada. Na Tabela 2, seguem alguns dos modelos mais vistos no mercado de inversores e suas especificações. (CRESESB, 2014)

Tabela 2 - Modelos de Inversores modernos

Fabricante	Modelo	Potencia nominal	Potencia Wp Máxima gerador	Custo Relativo Estimado	Fases	V dc mín.	V dc máx.
Good We	GW4000L-DT	4000 W	4200 W	85%	3	150 V	600 V
Steca	STECA GRID	3600 W	4500 W	130%	1	350 V	845 V
Sun Grow	SG 4KTL-M	4000 W	4300 W	78%	1	150 V	550 V
SMA	SUNNY BOY4000TL	4000 W	4200 W	125%	1	120 V	750 V
Eltek	THEIA 3800TL	3800 W	4300 W	135%	3	150 V	780 V
Ominik	OMINISOL-3.0K-TL	3000 W	3300 W	100%	1	120 V	590 V
Sun Grow	SG 3KTL-M	3000 W	3200 W	97%	1	150 V	550 V
Samil Power	SOLAR RIVER 3000	3000 W	3000 W	95%	1	150 V	550 V
JFY Tech	JSI-3600TL	3000 W	3660 W	90%	1	100 V	500 V
Good We	GW2000L-SS	2000 W	2300 W	102%	1	125 V	500 V
Steca	STECA GRID 2020	2090 W	2400 W	150%	1	190 V	450 V
Samil Power	SOLAR RIVER 2300	2300 W	2300 W	97%	1	150 V	550 V
CHNT Powe	CPSSC2KTL	2000 W	2290 W	95%	1	120V	500 V

Fonte: CRESESB (2014)

Além disso, devem-se dar prioridades aos inversores modernos, conforme os citados acima na Tabela 2, já que possuem um custo de fabricação reduzido e uma eficiência na conversão de quase 99,5%. Se optarem pelos inversores nacionais, devem-se estar cientes de que os mesmos apresentam selo de comprovação de testes de qualidade do Inmetro fixado no equipamento. (CRESESB, 2014)

Após a escolha dos inversores, seu dimensionamento depende de fatores como as características dos módulos fotovoltaicos escolhidos, características ambientais do local e do tipo de instalação escolhida. Para dimensionarmos os inversores, deve-se ter em mente que este deve trabalhar de forma contínua sem ser sobrecarregado e tendo um custo de energia produzida dentro do esperado. (CRESESB, 2014)

Sabendo que a temperatura é uma forte fonte para a tensão de entrada, deve-se levar em conta ao dimensionarmos um inversor que seu funcionamento deverá ser realizado nas diferentes condições de temperatura, acontecendo uma máxima tensão

nos climas mais frios devido à baixa temperatura do gerador fotovoltaico, e essa nunca poderá ser ultrapassada evitando a danificação do equipamento (CRESESB, 2014).

4.5 Quadros gerais e conexões

Para se adequar aos padrões exigidos deverá ser analisado o tipo do sistema, notando primeiramente se é um circuito paralelo. O quadro geral é composto por chaves, disjuntores e fusíveis, onde se faz a distribuição dos circuitos elétricos do local, como mostra a Figura 13, é comercializado pronto pela empresa responsável pelo serviço, previamente equipados com os bornes, conexões e dispositivos de proteção direcionados ao tamanho da potência da instalação e as normas elétricas vigentes. Vale ressaltar que conveniente à ligação da estrutura do módulo ao aterramento.

Figura 13 - Quadro Geral



Fonte: MIRANDA, Arthur. Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. 2014. 98 p

Este modelo de sistema compõe-se, essencialmente, de um agrupamento de módulos solares interligados através de uma interface de conexão ao restante do sistema. O módulo ou painel solar, usualmente, abrange um conjunto de células fotovoltaicas conectadas em série ou paralelo, sendo esse o dispositivo primordial dos sistemas fotovoltaicos. Esta célula atua através do efeito fotoelétrico e possui diferentes composições e tecnologias. Apesar da maior parte dos painéis solares serem feitos de silício, existem módulos desenvolvidos em gálio, cobre, índio, titânio e cádmio, entre outros.

4.6 Cálculo de geração energética

O volume de energia elétrica produzida por um sistema fotovoltaico oscila de acordo com as condições onde operam, tais como o nível de irradiação solar, o posicionamento solar e a temperatura local. De acordo com PINZÓN (2015), a potência instantânea originada por um sistema fotovoltaico é explicada pela Equação (1), onde ηg é a eficiência instantânea, A_m a área de um módulo em m^2 , N quantidade de módulos que constituem o sistema solar e I_r a irradiância instantânea em W/m^2 .

De acordo com PINZÓN (2015), a Equação (2) exhibe a fórmula que resulta na eficiência instantânea de conversão (ηg), onde ηT é a eficiência nominal do painel em condições padrão, $\eta SPMP$ é a eficiência do inversor, β o coeficiente de temperatura, T_c a temperatura instantânea da célula e T_r a temperatura de referência em condições padrão.

$$PFV = \eta g * N * A_m * I_r \quad (1)$$

$$\eta g = \eta T * \eta SPMP * [1 - \beta * (T_c - T_r)] \quad (2)$$

5 ANÁLISE DE INVESTIMENTO PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

5.1 Métodos para análise de investimento

5.1.1 Fluxo de caixa

O fluxo de caixa é definido como uma previsão da quantidade de dinheiro que entrará nas receitas ou saída como custos, despesas e investimentos ao longo de todo o projeto.

Como o objetivo é analisar a viabilidade do projeto, deve-se comparar o fluxo de caixa com outro investimento disponível. Porém, um problema desse indicador é não considerar a variação monetária ao longo do tempo.

5.1.2 Método fluxo de caixa descontado

Para Damodaran (2002), qualquer análise de valor de um ativo tem como princípio a análise do fluxo de caixa descontado, que por sua vez, tem seu fundamento na regra do valor presente, onde o valor que qualquer ativo é o valor presente dos fluxos futuros esperado que esse ativo gera:

$$\text{Valor Presente} = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{FCL_t}{(1+r)^t} \quad (3)$$

Onde:

FCL_t: Fluxo de Caixa Livre no período t;

n: Vida do ativo;

r: Taxa de desconto refletindo o risco dos fluxos estimados.

A partir do cálculo do valor presente, Damodaran (2002) explicita três maneiras para a utilização do método do fluxo de caixa descontado: i) análise do valor patrimonial da firma (valor do acionista); ii) análise do valor da firma como um todo, o que inclui, além do valor patrimonial, o valor da dívida; e iii) análise do valor da firma em partes, começando com suas operações e adicionando os efeitos no valor da dívida e outras obrigações. Para cada uma das maneiras, consideram-se fluxos de caixa e taxas de desconto diferentes.

5.1.3 Método do valor presente líquido (VPL)

O VPL é o valor presente de fluxo de caixa já definido anteriormente, ou seja, é a soma algébrica dos valores presentes de todos os componentes do fluxo de caixa. Assim, é determinada a soma dos valores presentes das entradas de caixa abatida da soma dos valores presentes das saídas de caixa, como mostra a Equação 4 (PUCCINI, 2012).

Uma vantagem significativa do método do VPL é o fato de se usar a TMA (taxa mínima de atratividade, que é uma taxa de desconto utilizada nos métodos de análise de investimento que representa o mínimo de retorno que o executor do projeto de investimento no cálculo. Desta forma, considera-se o risco das estimativas futuras do fluxo de caixa como mostrado na Equação 4:

$$VPL = \sum_{k=1}^n \frac{PMT_j}{(1+i)^k} - (PV) \quad (4)$$

Onde:

PMT_j – são os fluxos esperados de entrada de caixa no período k (1 ≤ k ≤ n), ou seja, fluxos operacionais líquidos de caixa gerados pelo investimento;

PV – é a saída de caixa (investimento) na origem (t = 0); e

i – é a taxa de atratividade do investimento usada para atualizar o fluxo de caixa.

Para Moreira J.R.S (2017, p. 341) “se o VPL for maior ou igual a zero, aceita-se o projeto; caso contrário rejeita-se.”

5.2 Taxa interna de retorno (TIR)

A TIR é a taxa de desconto que torna nulo o valor presente líquido (VPL) de um fluxo de caixa. Ou seja, é a taxa de juros que iguala, em um dado momento, os valores

atualizados das entradas e saídas de caixa. O método da TIR retorna uma taxa de juros, o que torna fácil a compreensão da lucratividade (ou não) do investimento. Como a TIR é a taxa que torna o $VPL=0$, para um fluxo de caixa utilizamos também a Equação 4:

$$VPL = \sum_{k=1}^n \frac{PMT_j}{(1+i)^k} - (PV) \quad (4)$$

Onde:

PMT_j – são os fluxos esperados de entrada de caixa no período k ($1 \leq k \leq n$), ou seja, fluxos operacionais líquidos de caixa gerados pelo investimento;

PV – é a saída de caixa (investimento) na origem ($t = 0$); e

i – é a taxa de desconto da solução, isto é, a TIR.

De acordo com Moreira J.R.S (2017, p. 347) “se a TIR for maior que a taxa mínima de atratividade, o investimento é aceito; caso contrário rejeita-se”.

5.3 Payback

O método do payback é uma forma simples, fácil e direta, que estima o prazo necessário para se recuperar o investimento realizado” (BRUNI e FAMÁ, 2007).

Gitman (2010) afirma que payback é o tempo necessário para que a empresa recupere o investimento inicial em um projeto, calculado a partir das entradas de caixa. No caso de uma anuidade, o período de payback pode ser encontrado dividindo-se o investimento inicial pela entrada de caixa anual.

Conforme Braga (1995) quanto mais amplo for o horizonte de tempo considerado maior será o grau de incertezas nas previsões. Deste modo, propostas de investimento com menor tempo de retorno apresentam melhor liquidez e, conseqüentemente, menor risco.

Apesar de não oferecer uma medida absoluta do retorno do investimento, devido à simplicidade do método, o payback é muito utilizado para decisões rápidas

acerca de investimentos em organizações de pequeno porte. O motivo, é que ao não considerar os fluxos de caixa após o prazo em que se recupera o investimento inicial, de maneira intuitiva, alguns investidores consideram que os retornos financeiros futuros são incertos.

5.4 LCOE

Além dessas ferramentas, também pode ser aplicada na avaliação do investimento no sistema: o custo nivelado (em inglês, “*levelised cost of electricity*” - LCOE).

O LCOE é um parâmetro que compara o valor gasto pelo sistema durante toda a sua vida útil, ou seja, o OPEX (capital despendido com as ações de operação e manutenção) e o CAPEX (investimento inicial do sistema) - sendo o primeiro, adequadamente corrigido - com a energia produzida por este (*Egerada*). Assim, calcula-se o LCOE de maneira generalista, tal como observa-se em (6), sendo dada em R\$/kWh.

$$LCOE = \frac{(CAPEX+OPEX)}{Egerada} \quad (6)$$

O LCOE é muito empregado na comparação de diferentes sistemas de geração. Toda via, na esfera da microgeração fotovoltaica este pode ser utilizado para comparar o custo da energia gerada com o valor pago pela energia consumida da rede, a qual é dada pela tarifa real de energia, conforme mostrado anteriormente. Uma vez verificado que o custo da energia gerada é inferior ou ao menos se equipara ao valor pago de tarifa de energia elétrica, tem-se uma sólida sinalização positiva a respeito do investimento no SFCR.

No âmbito específico dos SFCR, é possível encontrar algumas formulações alternativas para o cálculo do LCOE. Dentre estas, destaca-se a apresentada por ZILLES e OLIVEIRA (1999), a qual é calculada conforme apresentado em (7):

$$LCOE = \left[\frac{r \times (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} + OM \right] \times \frac{Inv}{8,76 \times FC} \quad (7)$$

Onde:

LCOE (R\$/MWh) – Custo nivelado;

OM (adimensional) – Custos de operação e manutenção normalizados com valor do investimento inicial, isto é, a razão entre o OPEX e o CAPEX;

Inv (R\$/KWh) - Razão entre o CAPEX e a potência nominal do sistema;

FC - Fator de capacidade esperado do sistema;

r – Taxa de desconto;

n – Vida do ativo.

5.5 Investimentos em equipamentos para instalação e geração de energia

Os dados de investimento incluídos nesse estudo foram levantados em empresas especializadas na comercialização e instalação de sistema solar com placas fotovoltaicas. O sistema solar fotovoltaico proposto e conseqüentemente sua utilização para a residência rural é composto dos equipamentos descritos na Tabela 4, em que se vislumbra especificadamente os investimentos necessários.

A Figura 14, retirada do programa do CRESESB, demonstra a incidência da radiação solar no local onde será instalado o sistema, que possui uma média de irradiação solar anual de aproximadamente 4,7 kWh/m², que é considerada boa de acordo com a CRESESB.

Figura 14 - Irradiação Solar de São João Nepomuceno

Fonte: Sun data – CRESESB (2018)

Apesar de a radiação solar ser variável ao longo do ano, a radiação global horizontal, que é a aproveitada pela geração fotovoltaica, possui baixa variação. Mesmo a variabilidade interanual, em relação à média de longo prazo, é menor do que a observada na geração eólica ou hidrelétrica (EPE, 2012).

Para uma criteriosa estimativa de geração fotovoltaica conectada à rede, é de suma importância a consideração dos valores de perdas do sistema frente à representação negativa que ela possui no estudo de viabilidade econômica. Os principais motivos onde ocorrem as perdas energéticas do sistema são: eficiência do inversor, diodos e conexões, queda de tensão, degradação por incidência inicial da luz, transformadores de isolamento, sombreamento e dados incorretos de placa (EPE, 2014).

Considerando a análise criteriosa de Miranda (2014), elaboramos a Tabela 3 demonstrando a porcentagem de perda esperada pelas situações em que se correm, considerando o local que será instalado

Tabela 3 - Cálculo de Perdas do Sistema

Situações de Perdas no Sistema	Valor Considerado
Desvio no rendimento nominal do módulo (dados da placa) e da radiação de 1000W/m ²	2,50%
Temperatura no Módulo	3,50%
Perdas nos condutores no lado DC	2,00%
Perdas nos condutores no lado CA	1,00%
Eficiência do Inversor na conversão	1,50%
Mismatch no MPPT	2,00%
Sombreamento	0,00%
Diodos e conexões	0,50%
Transformadores	2,00%
Sistema Solar-Tracking	0,00%
Degradação na incidência solar inicial	1,00%
Indisponibilidade do sistema	0,00%
Sujeira nos módulos	2,00%
TOTAL ESTIMADO:	18,00%

Fonte: Dados da pesquisa (MIRANDA, 2014).

Com o total de perdas estimado é possível avaliar a potência necessária da geração fotovoltaica com perdas a ser projetada para o local, apresentando assim valores mais reais aos estudos da viabilidade.

Quando o cliente estiver de posse do projeto, de forma a ser autorizado pela concessionária para a conexão à rede, é necessária a realização de estudos e procedimentos de acesso seguindo as especificações presentes no módulo três do PRODIST, o qual é responsável pelos procedimentos de distribuição, sendo composto por documentos elaborados pela ANEEL que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica. O solicitante deverá apresentar também uma série de documentos após preencher um formulário de solicitação de acesso à microgeração (ANEXO 2) específico da concessionária que irá fazer a conexão. Segundo a PRODIST, serão necessários os seguintes documentos:

- Planta de situação/ localização;
- Anotação de Responsabilidade Técnica - ART, devidamente numerada;

- Procuração do proprietário/consumidor (quando não for ele o solicitante), em papel timbrado e com reconhecimento de firma;
- Carta de solicitação de serviço;
- Diagrama Unifilar completo da planta do sistema de geração própria;
- Características dos TC's, da fonte geradora e transformadores (se houver);
- Diagramas esquemáticos e funcionais;
- Diagrama trifilar da interligação (para conexões trifásicas);
- Cópia dos manuais técnicos dos relés e inversores;
- Certificação INMETRO do Inversor.

Segundo o manual da CEPEL de 2014 deverão ser analisadas as características do sistema de distribuição, para que seja feito corretamente o arranjo, dimensionamento e escolha dos componentes de todo o sistema. Além disso, de acordo com a potência de geração deve ser escolhida a forma de conexão: monofásico, bifásico ou trifásico, seguindo a forma de conexão exigida pela concessionária.

Para atender a demanda exigida pela residência, a qual consta nos anexos 1 e 2 deste trabalho, o sistema projetado deve possuir as seguintes características:

- 9 painéis de 275 Watts pico, como mostra a Tabela 4;
- Uma potência instalada de 2475 kWp (quilo Watt pico), necessária para atender a demanda exigida;
- Geração mensal de 322,88 kWh/mês;
- Produção de aproximadamente 4153 kWh/ano;

Tabela 4 - Investimento do Projeto

Descrição	P (W)	Unidade	Quant.	Valor unit.	Valor Total
painel solar fotovoltaico canadian csi cs6k-275p (275wp)	275	Pç	9	R\$ 557,07	R\$ 5013,63
Inversor Grid-tie Fronius Primo 3.0-1 (3.000W)	3000	Pç	1	R\$ 8081,70	R\$ 8081,70
BOS (15% de I+II)	-	Gl	1	R\$ 1.964,30	R\$1.964,30
Frete + Instalação (20% de I+II+III)	-	Gl	1	R\$ 3.011,93	R\$ 3.011,93
Total					R\$ 18.071,56

Fonte: Autores (2018)

Os custos dos demais componentes do sistema (BOS), como aqueles relacionados aos cabos de conexão, às estruturas de suporte e aos dispositivos de proteção, foram estimados em cerca de 15% do montante total gasto na aquisição dos módulos e do inversor (I + II) (DEOTTI, 2017).

No que se refere ao frete relacionado a aquisição desses componentes e o respectivo custo de instalação do sistema, tem-se que este foi estimado em aproximadamente 20% do montante total gasto na aquisição de todos componentes (I+II+III) (DEOTTI, 2017).

O projeto elétrico deverá ser encaminhado à concessionária de energia local para avaliação e aprovação, haja vista que este procedimento é uma exigência da própria concessionária, com o objetivo de garantir a segurança e bom funcionamento do sistema. Observando os demais equipamentos necessários para instalação do sistema, verifica-se a necessidade de investimento de R\$ 18.071,56 (dezoito mil e setenta e um reais e cinquenta e seis centavos), conforme evidenciado na Tabela 4 acima.

Este orçamento servirá de base para à análise de viabilidade do sistema, comparando o tempo de uso com a rentabilidade anual gerado por ele.

Com análises criteriosas e o conhecimento dos parâmetros necessários do local foi elaborado um sistema fotovoltaico para uma residência familiar rural de duas pessoas, com um consumo médio mensal de 354,5 kW/mês. Como foi visto o sistema fotovoltaico conectado à rede dispensa o uso de baterias, pois a própria rede servirá de armazenamento do excedente de energia produzida, devido a isso foi feita a escolha deste formato de sistema.

Os painéis solares serão instalados sobre o telhado, os quais estarão calçados por suportes de sustentação fixados a eles. O inversor e o painel elétrico estarão localizados em um cômodo de dispensa, para não ficar a exposição de todos e facilitar as manutenções. O projeto elétrico será realizado pela própria empresa instaladora que certificará de encaminhá-lo a concessionária de energia local para avaliação e aprovação.

6 RESULTADOS

Para demonstrar o resultado de viabilidade do sistema foi elaborada uma Tabela, levando em consideração todos os fatores que influenciariam nos valores econômicos ao passar dos anos, até determinarmos o tempo necessário para retorno do investimento e, posteriormente, o lucro gerado pelo sistema ao longo dos 25 anos de funcionamento levando em consideração o cálculo do fluxo de caixa descontado, em que foi utilizado o juros de 10% a.a.

Tabela 5 - Planilha de lucros e dividendos

Ano	Saída (R\$)	Energia Produzida (kWh)	Consumo da Residência (kWh)	Valor da Energia Compensada (R\$/kWh)	Conta de Luz SEM GD	Conta de Luz COM GD	ECONOMIA NA CONTA DE LUZ	FLUXO DE CAIXA (ECONOMIA NA CONTA - O&M)	Fluxo de Caixa Descontado (R\$)	Total Corrente (R\$) VPL
0	-18071,56	-	-	-	-	-	-	-18071,56	-	-18071,56
1	-90,36	3874,60	4153	0,5300	2201,0900	147,5520	2053,5380	1963,18	1752,84	-16318,72
2	-97,13	3851,35	4153	0,5719	2374,9761	172,5032	2202,4729	2105,34	1678,36	-14640,35
3	-104,42	3828,24	4153	0,6170	2562,5992	200,3898	2362,2094	2257,79	1607,05	-13033,30
4	-112,25	3805,27	4153	0,6658	2765,0446	231,5135	2533,5310	2421,28	1538,77	-11494,54
5	-120,67	3782,44	4153	0,7184	2983,4831	266,2052	2717,2779	2596,61	1473,39	-10021,15
6	-129,72	3759,75	4153	0,7751	3219,1782	304,8270	2914,3512	2784,63	1410,78	-8610,37
7	-139,45	3737,19	4153	0,8364	3473,4933	347,7759	3125,7175	2986,27	1350,84	-7259,53
8	-149,91	3714,77	4153	0,9025	3747,8993	395,4861	3352,4132	3202,51	1293,44	-5966,10
9	-161,15	3692,48	4153	0,9737	4043,9833	448,4330	3595,5504	3434,40	1238,48	-4727,62
10	-173,24	3670,32	4153	1,0507	4363,4580	507,1368	3856,3212	3683,08	1185,85	-3541,76
11	-186,23	3648,30	4153	1,1337	4708,1712	572,1664	4136,0048	3949,77	1135,47	-2406,30
12	-200,20	3626,41	4153	1,2232	5080,1167	644,1440	4435,9727	4235,78	1087,22	-1319,08
13	-215,21	3604,65	4153	1,3199	5481,4460	723,7499	4757,6960	4542,48	1041,02	-278,06
14	-231,35	3583,03	4153	1,4241	5914,4802	811,7275	5102,7527	4871,40	996,78	718,73
15	-8332,44	3561,53	4153	1,5367	6381,7241	908,8892	5472,8349	-2859,61	-522,44	196,29
16	-269,55	3540,16	4153	1,6580	6885,8803	1016,1226	5869,7578	5600,21	913,52	1109,80
17	-289,77	3518,92	4153	1,7890	7429,8649	1134,3970	6295,4678	6005,70	874,70	1984,50
18	-311,50	3497,80	4153	1,9304	8016,8242	1264,7713	6752,0529	6440,55	837,53	2822,03
19	-334,86	3476,82	4153	2,0829	8650,1533	1408,4010	7241,7523	6906,89	801,94	3623,96
20	-359,98	3455,96	4153	2,2474	9333,5154	1566,5478	7766,9676	7406,99	767,86	4391,82
21	-386,97	3435,22	4153	2,4250	10070,8631	1740,5884	8330,2747	7943,30	735,23	5127,05
22	-416,00	3414,61	4153	2,6165	10866,4613	1932,0251	8934,4363	8518,44	703,99	5831,04
23	-447,20	3394,12	4153	2,8232	11724,9118	2142,4966	9582,4152	9135,22	674,07	6505,10
24	-480,74	3373,76	4153	3,0463	12651,1798	2373,7904	10277,3894	9796,65	645,42	7150,53
25	-516,79	3353,51	4153	3,2869	13650,6230	2627,8557	11022,7674	10505,98	618,00	7768,52

PAYBACK
TROCA INVERSOR

Fonte: Os autores

Para a tabela de viabilidade econômica, fizeram-se os cálculos ao longo de 25 anos, pois é o tempo de vida útil do sistema. Calculou-se a geração com depreciação anual, descontando 0,6% ano após ano, segundo a base do datasheet do fabricante (Anexo 3), (Anexo 4), já levando em consideração as perdas de 18% do sistema. Em seguida, calculou-se a tarifa elétrica do município de São João Nepomuceno, segundo dados da Energisa. Foram acrescentadas anualmente 7,9% na tarifa, chega-se a essa porcentagem em estatísticas passadas de ANEEL e previsões do IGPM e IRT.

Logo após é feito uma relação entre o valor anual da conta de luz com e sem geração distribuída. Com isso, foi elaborado um fluxo de caixa subtraindo os valores de operação e manutenção (0,5% do CAPEX, com reajuste de 7,5% ao ano). Posteriormente, a partir dos valores já obtidos foi elaborado o fluxo de caixa descontado, calculado segundo o tópico 5.1.2 deste trabalho. E por último, chega-se ao lucro líquido gerado durante o tempo de operação do sistema.

Como a tabela demonstra, foram necessários 14 anos para que o sistema fotovoltaico se pague e passe a ser rentável. Sabendo que a média que o mercado oferece hoje em dia é de até 10 anos para ter um retorno financeiro, chega-se a esse tempo de retorno devido ao fato de a tarifa de energia elétrica em áreas rurais ser

consideravelmente menor se comparada ao valor em regiões urbanas. Com o cálculo do custo da energia fornecida pelo conjunto de painéis fotovoltaicos, verificou-se que o mesmo, para o período analisado, corresponde a R\$0,36/kWh. Comparado com o custo da energia elétrica proveniente da concessionária de distribuição de energia, R\$0,53/kWh é evidenciado a redução do custo com energia elétrica de 32%.

Considerando a tarifa de energia elétrica aplicada às instalações residenciais encontradas em contexto urbano, foi verificado, de acordo com a Tabela 5 que o *payback* é muito inferior ao do mesmo sistema da zona rural, em aproximadamente 8 anos, o que evidencia ainda mais o custo da energia elétrica para a tomada de decisão.

Tabela 6 - Planilha de lucros e dividendos para consumidor residencial em perímetro urbano

Ano	Saída (R\$)	Energia Produzida (kWh)	Consumo da Residência (kWh)	Valor da Energia Compensada (R\$/kWh)	Conta de Luz SEM GD	Conta de Luz COM GD	ECONOMIA NA CONTA DE LUZ	FLUXO DE CAIXA (ECONOMIA NA CONTA - O&M)	Fluxo de Caixa Descontado (R\$)	Total Corrente (R\$) VPL
0	-18071,56	-	-	-				-18071,56	-	-18071,56
1	-90,36	3874,60	4153	0,7900	3280,8700	219,9360	3060,9340	2970,58	2652,30	-15419,26
2	-97,13	3851,35	4153	0,8524	3540,0587	257,1274	3282,9313	3185,80	2539,70	-12879,56
3	-104,42	3828,24	4153	0,9198	3819,7234	298,6942	3521,0292	3416,61	2431,88	-10447,68
4	-112,25	3805,27	4153	0,9924	4121,4815	345,0862	3776,3953	3664,14	2328,63	-8119,05
5	-120,67	3782,44	4153	1,0708	4447,0786	396,7964	4050,2822	3929,61	2229,77	-5889,29
6	-129,72	3759,75	4153	1,1554	4798,3978	454,3648	4344,0330	4214,31	2135,10	-3754,18
7	-139,45	3737,19	4153	1,2467	5177,4712	518,3829	4659,0883	4519,64	2044,46	-1709,73
8	-149,91	3714,77	4153	1,3452	5586,4914	589,4981	4996,9933	4847,09	1957,66	247,93
9	-161,15	3692,48	4153	1,4514	6027,8242	668,4190	5359,4053	5198,25	1874,54	2122,47
10	-173,24	3670,32	4153	1,5661	6504,0223	755,9209	5748,1015	5574,86	1794,96	3917,43
11	-186,23	3648,30	4153	1,6898	7017,8401	852,8518	6164,9883	5978,76	1718,75	5636,18
12	-200,20	3626,41	4153	1,8233	7572,2495	960,1392	6612,1102	6411,91	1645,78	7281,96
13	-215,21	3604,65	4153	1,9674	8170,4572	1078,7970	7091,6601	6876,45	1575,90	8857,86
14	-231,35	3583,03	4153	2,1228	8815,9233	1209,9334	7605,9899	7374,64	1509,00	10366,86
15	-248,64	3561,53	4153	2,2905	9512,3812	1354,7593	8157,6219	7745,82	1447,82	11834,92
16	-269,55	3540,16	4153	2,4714	10263,8594	1514,5978	8749,2616	8099,04	1383,22	13332,22
17	-289,77	3518,92	4153	2,6667	11074,7043	1690,8937	9383,8105	8499,04	1324,50	14842,64
18	-311,50	3497,80	4153	2,8773	11949,6059	1885,2251	10064,3808	8952,88	1268,26	16411,90
19	-334,86	3476,82	4153	3,1047	12893,6248	2099,3147	10794,3101	9459,45	1214,41	18045,31
20	-359,98	3455,96	4153	3,3499	13912,2211	2335,0429	11577,1782	9929,61	1162,85	19748,16
21	-386,97	3435,22	4153	3,6146	15011,2866	2594,4620	12416,8246	10409,85	1113,48	21511,64
22	-416,00	3414,61	4153	3,9001	16197,1782	2879,8110	13317,3672	10901,37	1066,20	23428,84
23	-447,20	3394,12	4153	4,2082	17476,7553	3193,5327	14283,2226	11409,03	1020,93	25499,78
24	-480,74	3373,76	4153	4,5407	18857,4190	3538,2913	15319,1276	11938,39	977,58	27746,36
25	-516,79	3353,51	4153	4,8994	20347,1551	3916,9924	16430,1627	12513,37	936,08	30192,44

 PAYBACK
 TROCA INVERSOR

Fonte: Os autores

7 CONCLUSÃO

A energia solar fotovoltaica é uma das formas de geração e eletricidade que mais tem crescido no mundo. Além de complementar outras também renováveis, converge em vários benefícios, no âmbito ambiental; com menor poluição e desmatamentos, no âmbito econômico; com menores custos, impacto na indústria, diversificação do setor, geração de empregos.

O Brasil, é um país continental, figurando como um dos países com maior potencial de geração de energia fotovoltaica do mundo. Segundo relatório final do grupo de trabalho solar fotovoltaico (2017), o país deve figurar entre os 10 maiores mercados mundial. Apesar da matriz brasileira ser caracterizada como maior parte renovável, ainda é muito dependente da fonte hidrelétrica.

A geração distribuída, traz inúmeras vantagens ao setor elétrico, tendo em vista que a geração de energia ficando próxima a carga o que culmina em menores perdas no transporte da energia elétrica. Para a mudança desse estigma, a crescente utilização desse tipo de geração de energia tem mostrado o quanto pode ser eficaz e ainda trazendo retorno de maneira simples, prática e satisfatória.

Instrumentos de mercado e fomento aos investimentos associados com instrumentos de criação e ampliação da demanda, de modo a propiciar melhores condições para a maior penetração dessas novas fontes renováveis na matriz elétrica brasileira e, em particular, sob a perspectiva do desenvolvimento industrial, de viabilizar melhores condições para instigar e a consolidar uma ampla cadeia produtiva local, com perspectiva de atuação global, são meios de perpetuar e propagar a ideia em nosso país.

Os resultados revelaram que o projeto é viável para o período analisado, pois proporciona a recuperação do investimento no período de 14 anos.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Análise de viabilidade técnica e econômica da geração para indústria.
- Análise de viabilidade técnica e econômica da geração para um condomínio.
- Análise de viabilidade técnica e econômica da geração para áreas públicas.

8 REFERÊNCIAS

ANEEL. **Geração Distribuída**. Brasil, 2016. [Internet] Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=757&idPerfil=2>. Acesso em: 07/08/2018.

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Brasil, 2016. [Internet] Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+eMinigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161?version=1.1>. Acesso em: 02/10/2018.

BRAGA, Renata. **Projeto Submetido ao corpo docente do departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro**. 2008, 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL. 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://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 08/08/2018

BRASIL. 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 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 08/08/2018

CEPEL – CRESESB. **Energia Solar - Princípios e Aplicações**. Rio de Janeiro, 2006. 28 p.

CEPEL – CRESESB. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014. 529p.

CRESESB. **Potencial Solar**. Brasil, 2018. [Internet] Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade_8667 Acesso em: 07/11/2018.

ELEKTRO. **Relatório de Sustentabilidade 2012**. Brasil 2018. [Internet] Disponível em: <http://ri.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Relat%C3%B3rios%20Anuais%20e%20de%20Sustentabilidade/Relatorio%20de%20sustentabilidade%202012.pdf>. Acesso em: 05/11/2018.

EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Brasil, 2012. [Internet] Disponível em: http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf. Acesso em: 09/10/2018.

EPE. **Balanco Energético Nacional**. Brasil, 2014. [Internet] Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf. Acesso em: 25/08/2018.

EPE. **Balanco Energético Nacional**. Brasil, 2016. [Internet] Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf. Acesso em: 16/08/2018.

DEOTTI, Lucas. **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica de um Sistema de Microgeração Fotovoltaica Residencial com Autoconsumo Remoto**. 2017. 190 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora.

MDIC. **Energia Solar Fotovoltaica**. Brasil, 2018. [Internet] Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITORIO/sdci/2018-Relatorio-GTFotovoltaico-Camex.pdf>. Acesso em: 08/11/2018

MIRANDA, Arthur. **Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede**. 2014. 98 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 201.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Brasil Escola: Vantagens de Desvantagens da Energia Solar**. Brasil, 2016. [Internet] Disponível em: <http://brasilecola.uol.com.br/geografia/vantagens-desvantagens-energia-solar.htm>. Acesso em: 15/09/2018.

PINZÓN, Andrés. **Otimização da Potência Unitária dos Gerados de Energia Numa Microrrede Elétrica com Geração Híbrida Fóssil/ renovável**. 2018. 183 p. Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia, Univesidade Federal de Itajubá. São Paulo.

PORTAL ELETRICISTA. **Kit de Energia Solar**. Brasil, 2016. [Internet] Disponível em: <http://www.portaleletricista.com.br/kit-de-energia-solar/>. Acesso em: 20/09/2018.

PORTAL SOLAR. **Energia Fotovoltaica**. Brasil, 2016. [Internet] Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>. Acesso em: 20/09/2018.

PROCEL. **Procel Info: Edificações**. Brasil, 2016. [Internet] Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04%7D>. Acesso em: 03/10/2018.

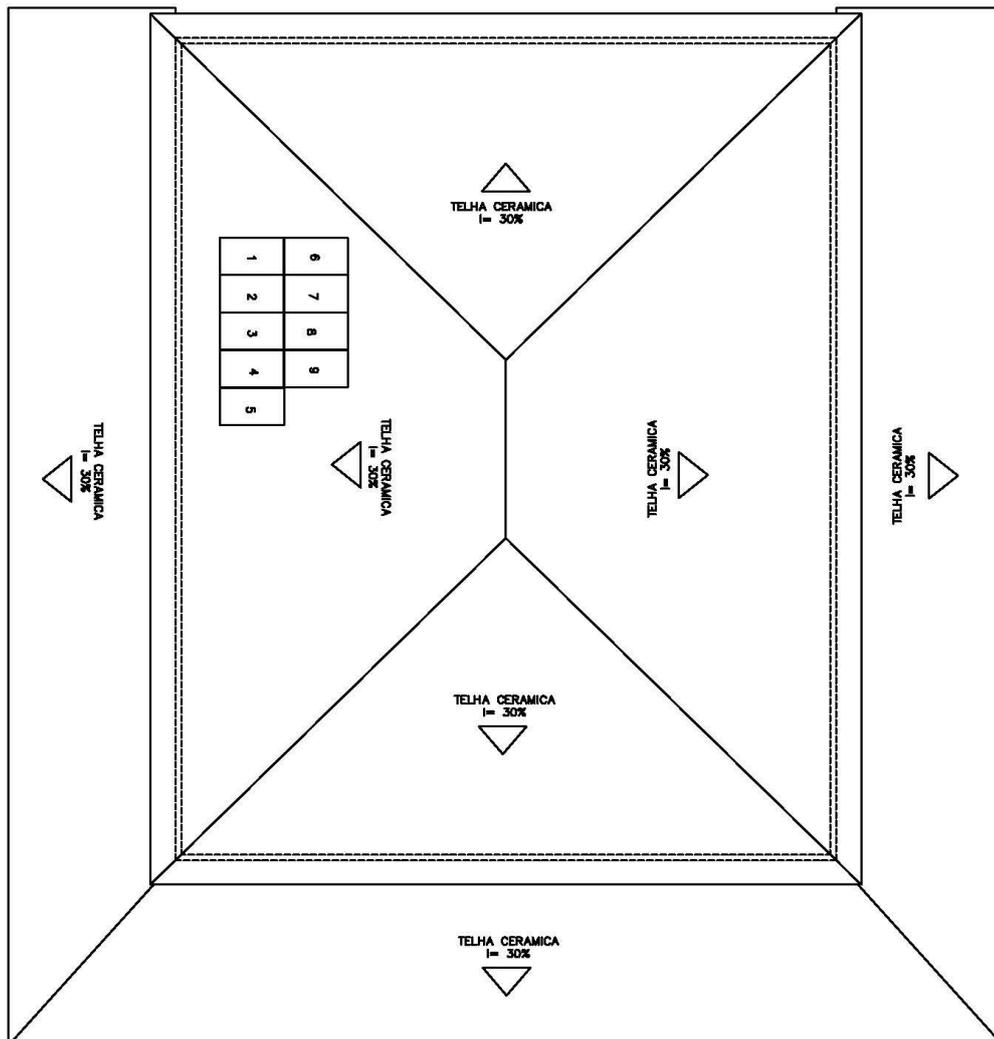
ROPER, L. David. **World Photovoltaic Energy** (em inglês). Estados Unidos 2001. Acesso em: 03/08/2018.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. 1º edição. Brasil, 2004. [Internet] Disponível em: <http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>. Acesso em: 15/09/2018.

SOEIRO, Levindo. **Plano de Aumento da Eficiência Energética em Edifícios Municipais**. Brasil, 2016. [Internet] Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/63393/1/000149829.pdf>. Acesso em: 17/09/2018.

WLADEMIR. **O que é TIR (Taxa Interna de Retorno)**. Brasil, 2016. [Internet] Disponível em: <http://www.wrprates.com/o-que-e-tir-taxa-interna-de-retorno/>, 2016. Acesso em: 02/10/2018.

9 ANEXOS



PLANTA DE COBERTURA
ESCALA 1:4000

Anexo 1 – Planta de cobertura da residência

1 - IDENTIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA - UC			
Código da UC:		Classe:	
Titular da UC:			
Rua/Av.:		Nº.	CEP:
Bairro:		Cidade:	
E-mail:		UF:	
Telefone:		Celular:	
CNPJ/CPF:			
2 - DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA			
Potência Instalada (kW):		Tensão de Atendimento (V):	
Tipo de Conexão:	Monofásica <input type="checkbox"/>	Bifásica <input type="checkbox"/>	Trifásica <input type="checkbox"/>
Tipo de Ramal:	Aéreo <input type="checkbox"/>	Subterrâneo <input type="checkbox"/>	
3 - DADOS DA GERAÇÃO			
Potência Instalada de Geração (kWp):			
Tipo da Fonte de Geração:			
Hidráulica <input type="checkbox"/>	Solar <input type="checkbox"/>	Eólica <input type="checkbox"/>	Biomassa <input type="checkbox"/>
Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/>			
Outra (Especificar):			
4 - DOCUMENTAÇÕES A SEREM ANEXADAS			
1. ART do Responsável Técnico pelo Projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração;			<input type="checkbox"/>
2. Projeto elétrico das Instalações de Conexão, Memorial Descritivo;			<input type="checkbox"/>
3. Diagrama Unifilar e de Blocos do Sistema de Geração, Carga e Proteção;			<input type="checkbox"/>
4. Certificado de Conformidade do(s) Inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) Inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede;			<input type="checkbox"/>
5. Dados Necessários ao Registro da Central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg			<input type="checkbox"/>
6. Lista de Unidades Consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI e VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012;			<input type="checkbox"/>
7. Cópia de Instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver);			<input type="checkbox"/>
8. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)			<input type="checkbox"/>
5 - CONTATOS NA DISTRIBUIDORA (PREENCHIDO PELA DISTRIBUIDORA)			
Responsável/Área:			
Endereço:			
Telefone:			
E-mail:			
6 - SOLICITANTE			
Nome/Procurador Legal:			
Telefone:			
E-mail:			
		/ /	
Local		Data	Assinatura do Responsável

Anexo 1 - Formulário de Solicitação de Acesso à Microgeração



CS6K-270 | 275 | 280M-SD

Canadian Solar's SmartDC module features an innovative integration of Canadian Solar's module technology and SolarEdge's power optimization for grid-tied PV applications. By replacing the traditional junction-box with a power optimizer, the SmartDC module optimizes power output at module-level. With this feature, the SmartDC module can eliminate module-level mismatch and decrease shading losses. Furthermore, the SmartDC module provides module-level monitoring that allows effective system management and minimizes operational costs.

KEY FEATURES

- 
Harvests up to 25% more energy from each module
 - Maximizes power from each individual module against potential mismatch risk
 - Decreases shading losses
- 
Easy installation, simple system design
 - Integrated smart solution, no need to add other accessories
 - Enhances the shading tolerance
- 
Reduces BoS Costs
 - Up to 11.25 kW ~ 12.75 kW per string allows for more modules to be based on different inverters
- 
Free module-level monitoring system
 - Full visibility of system performance with a free smartphone app
- 
Safety
 - Automatic drop of DC current and voltage when inverter or grid power is shut down



25 years linear power output warranty

10 years product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
 ISO/TS 16949:2009 / The automotive industry quality management system
 ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE/CE
 UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
 UL 1703: CSA



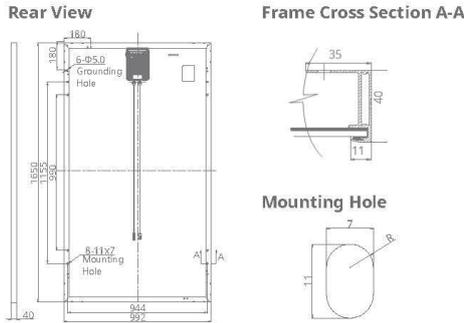
*As there are different certification requirements in different markets, please contact your Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with over 14 GW of premium quality modules deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

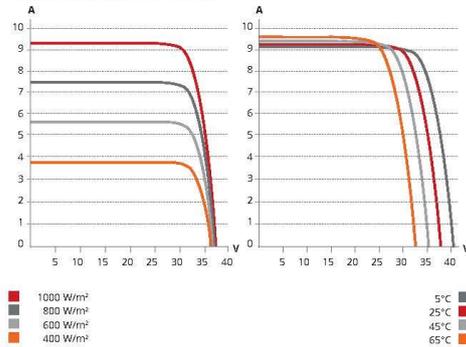
CANADIAN SOLAR (USA) INC.

2420 Camino Ramon, 125 Suite San Ramon, CA, USA 94583-4385, www.canadiansolar.com, sales.us@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6K-280M / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA / STC

Power Optimizer connected to a SolarEdge Inverter

CS6K	270M-SD	275M-SD	280M-SD
Nom. Max. PWR (Pmax STC)	270W	275W	280W
Nom. Max. PWR (Pmax NOCT)	195W	199W	202W
Open Circuit Voltage (Voc STC)	38.2V	38.3V	38.5V
Output Voltage Range (Vout)	5-60V	5-60V	5-60V
Max. Output Current (Imax)	15A	15A	15A
Max. Series Fuse Rating	20A	20A	20A
Module Efficiency	16.50%	16.80%	17.11%
Output During Standby (power optimizer disconnected from inverter or inverter off)		1 V	

MECHANICAL DATA OF PV MODULE

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×40 mm (65.0×39.1×1.57 in)
Weight	19.3 kg (42.5 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP65
Cable	PV1-F 1*6.0 mm² / 952 mm
Connectors	MC4
Standard	26 pieces, 548 kg (1208 lbs)
Packaging	(quantity & weight per pallet)
Module Pieces per Container	728 pieces (40' HQ)

PV SYSTEM DESIGN

Min. String Length	EU & APAC	1 ph	8		
		3 ph - MV	16		
	US & Canada	1 ph	8		
		3 ph (208 V)	10		
Max. String Length	EU & APAC	1 ph	19	19	18
		3 ph - MV	41	40	40
	US & Canada	1 ph	47	46	45
		3 ph (208 V)	19	19	18
Max. Power per String (W)	EU & APAC	1 ph	5250		
		3 ph - MV	11250		
	US & Canada	1 ph	12750		
		3 ph (208 V)	5250		
Parallel Strings of Diff. Lengths			Yes		
Parallel Strings of Diff. Orientations			Yes		
Operating Temperature			-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage			1000 V (IEC) / 600 V (UL)		
Application Classification			Class A		
Fire Rating			Type 1 (UL1703) / Class C (IEC61730)		
Power Tolerance			0 ~ +5 W		

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41% / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31% / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053% / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C

STANDARD COMPLIANCE

Specification	Standard
EMC	FCC Part15 Class B, IEC61000-6-2, IEC61000-6-3
PV Module	IEC61215, IEC61730, UL1703, CEC listing
PV Optimizer J-Box	EN50548, UL3730, IEC2109-1 (class II safety), UL1741
Fire Safety	VDE-AR-E 2100-712:2013-05

PARTNER SECTION



CANADIAN SOLAR (USA) INC.

March, 2016. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V5.4_NA