

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

GUILHERME CORREIA FRANCIULLI

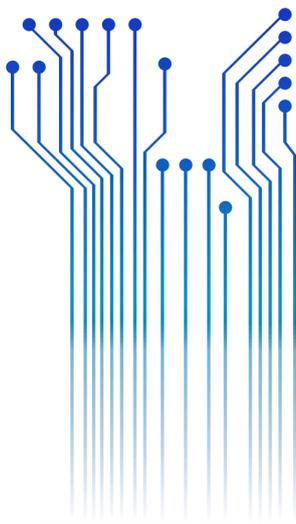


Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO  
DE UM SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICO



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande, Paraíba  
Junho de 2016

GUILHERME CORREIA FRANCIULLI

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA  
INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Junho de 2016

GUILHERME CORREIA FRANCIULLI

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA  
INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio incondicional, amor, carinho e atenção; sem eles ao meu lado eu não completaria esta jornada.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ulisses e Cristina, por sempre estarem ao meu lado oferecendo suporte quando necessitei. Graças aos seus esforços eu tive a oportunidade de estudar num curso de excelência e agregar valor para o meu futuro. Não sei como agradecer pelos inúmeros sacrifícios para que este sonho fosse realizado.

Ao meu irmão, Bruno, pelo apoio que deu aos meus pais enquanto eu estive ausente em outra cidade.

Aos meus amigos, pelos excelentes momentos que vivi. Sempre que sentia falta de algo ou estava num momento de desânimo, foram eles que estavam presentes tornando tudo um pouco mais fácil.

A todos os professores e funcionários da Universidade Federal de Campina Grande, por terem contribuído na minha formação. Em especial ao professor Leimar de Oliveira, pela orientação, ensinamentos e excelentes conversas.

Por fim, agradeço a todos que de algum modo contribuíram durante meu curso e não foram citados aqui nesta seção.

*“Ninguém pode fazer você se sentir inferior sem o seu consentimento.”*

Eleanor Roosevelt.

## RESUMO

No ano de 2001 ocorreu no Brasil uma crise energética que restringiu temporariamente o uso de eletricidade em diversos setores da economia. A partir disso, como alternativa para solução do déficit energético, surgiu o incentivo à cogeração de energia elétrica. Uma das formas de cogeração se dá a partir da transformação de energia solar em energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos. Neste contexto, realizou-se um estudo da viabilidade econômica e técnica da implantação de painéis fotovoltaicos como opção para redução do consumo de energia elétrica convencional em uma residência que apresenta consumo médio mensal de 395 kWh. O sistema de transformação de energia dimensionado é composto por 10 painéis fotovoltaicos, um inversor de corrente elétrica e uma *string box*. A economia total gerada foi de R\$ 68.272,00 em 20 anos e o período de retorno simples do investimento de R\$ 23.254,49 se deu entre o sétimo e o oitavo ano. Sendo a vida útil do conjunto de painéis fotovoltaicos de, em média, 25 anos o emprego da tecnologia na atualidade para as condições de estudo apresenta-se economicamente viável.

**Palavras-chave:** Crise Energética, Viabilidade Econômica, Cogeração, Energia Fotovoltaica.

## ABSTRACT

In 2001 occurred in Brazil an electric energy crisis, restricting temporarily the use of electricity in several sectors of the economy. From this, how alternative solution to the energy deficit, arose the incentive for cogeneration of electric energy. The transformation process of solar energy in electrical energy through photovoltaic panels is a cogeneration example. In this context, we carried out a study of the economic viability of implantation of photovoltaic panels in a residence as an option for reduction of electric energy conventional consumption, which represents average monthly consumption of 395 kWh. The energy transformation system projected consists of 10 photovoltaic panels, one Inversor and one string box. The total savings generated by the system was R\$ 68.272,00 in 20 years and the payback period investment of R\$ 23.254,49 occurs in between the seventh and the eighth year. Being 25 years the use time of photovoltaic panels, the use of technology, in actuality, presents economic viability.

**Key Words:** Energy Crisis, Economic Viability, Cogeneration, Photovoltaic Energy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Oferta interna de energia elétrica por fonte.....	18
Figura 2. Os líderes mundiais em energias renováveis. ....	20
Figura 3. Capacidade solar global de 2004 à 2013.....	21
Figura 4. Interação da radiação solar com a atmosfera terrestre. ....	22
Figura 5. Estrutura da célula solar. ....	25
Figura 6. Modelo detalhado da célula solar.....	26
Figura 7. Modelo simplificado da célula solar. ....	27
Figura 8. Curva de corrente e tensão. ....	28
Figura 9. Célula de silício monocristalino.....	30
Figura 10. Célula de silício policristalino.....	30
Figura 11. Diagrama esquemático de sistema fotovoltaico conectado à rede. ....	32
Figura 12. Estrutura do painel fotovoltaico. ....	35
Figura 13. Inversor Fronius Galvo 2.5-1 .....	37
Figura 14. Sistema fotovoltaico conectado à rede.....	38
Figura 15. Geração estimada no primeiro ano de projeto.....	46
Figura 16. Relação do consumo com a geração do sistema. ....	46
Figura 17. Cenário 1 - inflação anual estimada em 5%.....	47
Figura 18. Cenário 2 - inflação anual estimada em 10%.....	48
Figura 19. Variação anual do IGP-M. ....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista de equipamentos. ....	45
Tabela 2. Impacto do mercado no Cenário 1.....	48
Tabela 3. Impacto do mercado no Cenário 2.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEM	Balço Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas
CPF	Cadastro de Pessoas Físicas
DIF	Irradiação Difusa Horizontal
DNI	Irradiação Normal Direta
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPIA	<i>European Photovoltaic Industry Association</i>
GHI	Irradiação Global Horizontal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGP-M	Índice Geral de Preços do Mercado
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MMPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
$P_{cc}$	Potência Nominal Necessária
REN 21	<i>Renawable Energy Policy for the 21st Century</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno

TWh	Terawatt hora
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
VPL	Valor Presente Líquido
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>

# SUMÁRIO

Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vii
Abstract.....	viii
Lista de Ilustrações .....	ix
Lista de Tabelas .....	x
Lista de Abreviaturas e Siglas .....	xi
Sumário.....	xiii
1 Introdução .....	15
1.1 Objetivo .....	15
1.2 Motivação .....	16
1.3 Estrutura do Trabalho .....	16
2 Energia Solar Fotovoltaica.....	18
2.1 Balanço Energético Nacional (BEN).....	18
2.2 Panorama Energético Global .....	19
2.3 Radiação Solar .....	21
2.4 Efeito Fotovoltaico .....	23
2.5 A Célula Fotovoltaica.....	24
2.5.1 Modelo Elétrico .....	25
2.5.2 Tensão de circuito aberto.....	28
2.5.3 Corrente de curto circuito .....	29
2.5.4 Fator de forma .....	29
2.5.5 Eficiência .....	29
2.6 Tipos de células fotovoltaicas e seus materiais .....	29
2.6.1 Célula de silício monocristalino .....	30
2.6.2 Célula de silício policristalino .....	30
2.6.3 Célula de silício amorfo.....	31
3 Componentes do Sistema Fotovoltaico.....	32
3.1 Fatores para Determinação do Sistema Fotovoltaico .....	33
3.1.1 Orientação geográfica dos painéis fotovoltaicos .....	33
3.1.2 Radiação solar diária .....	33
3.1.3 Potência nominal necessária ( <i>PCC</i> ) .....	33
3.1.4 Número de painéis fotovoltaicos .....	34
3.1.5 Inversores do sistema .....	34

3.2	Módulo Fotovoltaico .....	34
3.2.1	Módulo Canadian 60 cells 265 p-si .....	35
3.3	Inversores .....	36
3.3.1	Inversor FRONIUS Galvo 2.5-1.....	37
3.4	Seguidor de máxima potência.....	37
3.5	Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 .....	38
3.5.1	Limites de potência.....	39
3.5.2	Compensação de energia elétrica .....	39
3.5.3	Transferimento de energia.....	39
3.5.4	Medição de energia.....	40
3.5.5	Aprimoramentos na Resolução Normativa nº 482/2012 .....	40
4	Análise econômica.....	42
4.1	Payback.....	42
4.2	Valor Presente Líquido (VPL).....	42
4.3	Taxa Interna de Retorno (TIR) .....	43
4.4	Composição da Tarifa de Energia Elétrica .....	44
4.5	Orçamento do Sistema no Mercado.....	45
4.6	Geração do Sistema .....	45
4.7	Fluxo Monetário .....	47
4.8	Análise Final sobre a Viabilidade Financeira.....	49
4.8.1	Considerações sobre a análise .....	49
5	Conclusão.....	51
	Bibliografia.....	52
	Anexo A – Datasheet do módulo fotovoltaico canadian CS6P-265P .....	54
	Anexo B – Datasheet do inversor Fronius Galvo .....	56

# 1 INTRODUÇÃO

Desde a revolução industrial é impossível pensar em um mundo funcional sem o uso de energia mais intensivo. Desde que as máquinas substituíram boa parte da energia humana e animal pela energia motriz, a demanda por matérias-primas que viabilizassem e sustentassem energia não parou de subir até hoje. Naquele período, os principais combustíveis eram o carvão e a lenha. No século XIX com a compreensão da eletricidade e a descoberta do petróleo, uma nova matriz energética passou a tomar controle nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Considerando sua abundância, baixo custo, facilidade de extração e ampla utilização de seus derivados, o petróleo ganhou importância na matriz energética mundial. Essa já não é mais a situação atual. A abundância do petróleo deixou de existir a anos e a sociedade passou a buscar fontes de energia alternativas, renováveis.

Segundo Palz, 2002, no seu livro *Energia Solar e Fontes Alternativas*, a energia solar recebida pela Terra a cada ano é dez vezes superior à contida em toda reserva de combustíveis fósseis. Sendo a energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras.

O Brasil possui um alto potencial para aproveitamento desta fonte de energia, já que possui índices de radiação solar superiores aos encontrados na maioria dos países europeus – variam de 1500 kWh/m<sup>2</sup>/ano a 2200 kWh/m<sup>2</sup>/ano.

Neste contexto, realizou-se um estudo da viabilidade econômica e técnica da implantação de painéis fotovoltaicos como opção para redução do consumo de energia elétrica convencional em uma residência que apresenta consumo médio mensal de 395 kWh.

## 1.1 OBJETIVO

O presente documento tem o objetivo de avaliar a viabilidade técnica-econômica da implantação de painéis fotovoltaicos como opção para redução do consumo de energia elétrica convencional em uma residência que apresenta consumo médio mensal

de 395 kWh. Para isto, construiremos o perfil energético gerado pelo arranjo fotovoltaico ao longo do tempo de vida do projeto (25 anos), considerando os valores de radiação solar, temperatura das células solares e o rendimento dos painéis solares. Construiremos o fluxo de caixa econômico do investimento ao longo do período de vida do empreendimento e, em seguida, aplicaremos o método de tomada de decisão econômico.

A determinação da viabilidade econômica, considerando que o amortecimento da dívida se dá com a economia na conta de luz, deverá ser avaliada em termos do fluxo de caixa que muda a cada ano, apreciando as diversas variáveis de decisão que influenciam na energia gerada pelo arranjo fotovoltaico, tais como irradiação solar, período de vida dos equipamentos, manutenção dos equipamentos, taxa de juros entre outras. A viabilidade técnica diz respeito à avaliação dos possíveis impactos sobre a operação e eficiência do sistema elétrico.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

Os panoramas globais e nacionais favorecem ao desenvolvimento e evolução da energia solar. Tendo em vista o amplo potencial brasileiro, as vantagens trazidas pela energia renovável devem ser aproveitadas. Além disso, através da resolução da ANEEL de 17 de abril de 2012, qualquer usuário, sendo pessoa física ou jurídica, pode gerar sua própria energia elétrica e caso haja excedente pode repassar para a rede da concessionária e economizar em contas futuras.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O presente capítulo contém uma introdução e uma visão do panorama energético brasileiro e global, além de definir o objetivo geral.

O segundo capítulo apresenta as considerações sobre a tecnologia fotovoltaica. Abordaremos um pouco sobre a radiação solar, o efeito fotovoltaico e a célula solar, desde sua estrutura, características elétricas, seu modelo matemático e as tecnologias empregadas na sua fabricação.

No Capítulo três serão descritos os elementos necessários para a elaboração de um sistema solar e trataremos dos conceitos relacionados à tomada de decisão econômica.

No quarto capítulo será realizada a análise da viabilidade econômica do sistema fotovoltaico conectado à rede para um dado consumo médio mensal de energia elétrica. Utilizando as ferramentas abordadas no terceiro capítulo, será tomada a decisão sobre a viabilidade do projeto.

Finalmente, o Capítulo cinco conterà a conclusão do estudo realizado.

## 2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Ao longo deste capítulo serão apresentadas as considerações sobre a tecnologia fotovoltaica além de uma contextualização do panorama energético brasileiro e mundial. Abordaremos um pouco sobre a radiação solar, o efeito fotovoltaico e a célula solar, desde sua estrutura, características elétricas, seu modelo matemático e as tecnologias empregadas na sua fabricação.

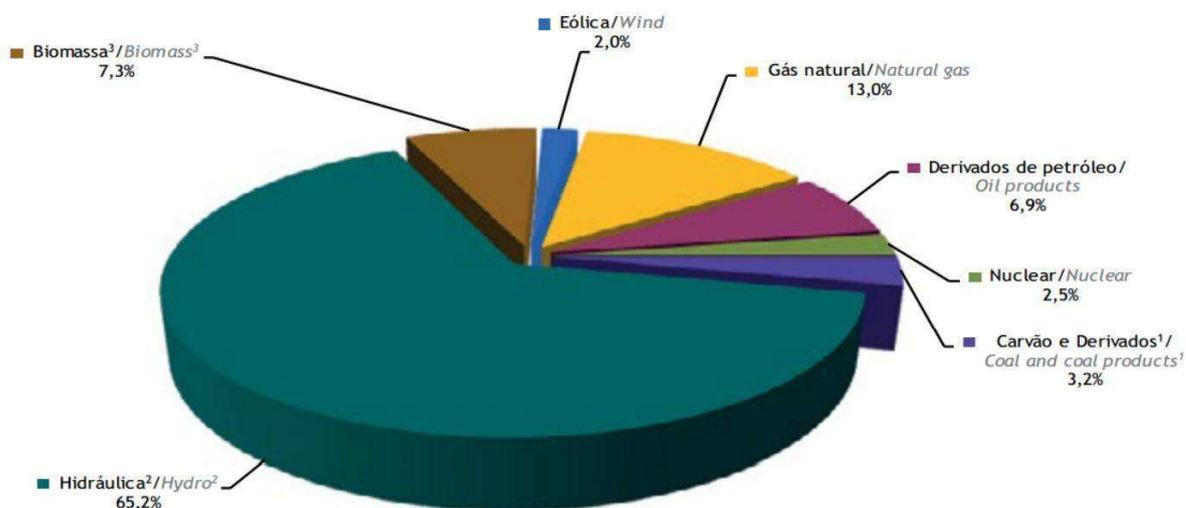
### 2.1 BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN)

O BEN, balanço energético nacional, é elaborado anualmente pela EPE, Empresa de Pesquisa Energética, para atividades de planejamento e acompanhamento do setor energético nacional, contendo a contabilidade relativa à oferta e consumo de energia no Brasil.

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 590,5 TWh em 2014, resultado 3,4% superior ao de 2013.

Podemos observar na Figura 1 que como principal contribuinte da geração elétrica, aparecem as centrais de serviço público, com 84,1% da geração total. A energia hidráulica é a principal fonte de geração de energia elétrica, mesmo com a redução de 4,5% em relação ao ano anterior.

Figura 1. Oferta interna de energia elétrica por fonte.



Fonte: BEN 2015, página 16.

A participação das fontes não renováveis representou 25,9% do total nacional, em comparação aos 23,3% em 2013. A geração de autoprodutores em 2014 participou com 15,9% do total, considerando o agregado de todas as fontes utilizadas.

Além da oferta interna de energia elétrica de 624,3 TWh, foram feitas importações líquidas de 33,8 TWh, somando um montante 2,1% superior ao disponível em 2013. O consumo final foi de 531,1 TWh, 2,9% superior ao de 2013.

O Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, sendo que a geração interna hidráulica responde por 65,2% da oferta interna. Somando os montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável, as fontes renováveis representam 74,6% da oferta interna de eletricidade no Brasil.

O setor residencial manteve a tendência de crescimento e apresentou aumento de 5,7%. Em contrapartida, o setor industrial registrou uma queda de 2%.

Os demais setores – público, agropecuário, comercial e transportes – quando analisados em bloco apresentaram variação positiva de 7%.

De um modo geral, o setor energético cresceu 4,8% em relação ao balanço energético nacional de 2013. Em 2014, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil alcançou 133.914 MW, um acréscimo de 7.171 MW.

Na expansão da capacidade instalada, as centrais hidráulicas contribuíram com 44,3%, enquanto as centrais térmicas responderam por 18,1% da capacidade adicionada. Por fim, as usinas eólicas e solares foram responsáveis pelos 37,6% restantes de aumento do grid nacional.

## 2.2 PANORAMA ENERGÉTICO GLOBAL

Comissionado pelo REN 21 (*Renawable Energy Policy for the 21st Century*) e produzido por um aglomerado global de pesquisadores - formado por uma rede internacional de mais de 500 colaboradores, pesquisadores e autores - foi elaborado o relatório sobre o status global das energias renováveis em 2014. O relatório fornece uma visão abrangente e oportuna do mercado de energia renovável, a indústria, o investimento e os desenvolvimentos políticos em todo o mundo. Ele permite que os formuladores de políticas, a indústria, os investidores e a sociedade civil tenham informações suficientes para tomar decisões melhores.

O relatório abrange desenvolvimentos recentes, status atual e as tendências-chave; ele não fornece uma análise ou uma previsão.

Dentre alguns dos indicadores apresentados no relatório global, a Figura 2 destaca os líderes mundiais em investimento, na produção e na capacidade em renováveis.

Figura 2. Os líderes mundiais em energias renováveis.

## TOP FIVE COUNTRIES

### ANNUAL INVESTMENT / NET CAPACITY ADDITIONS / PRODUCTION IN 2013

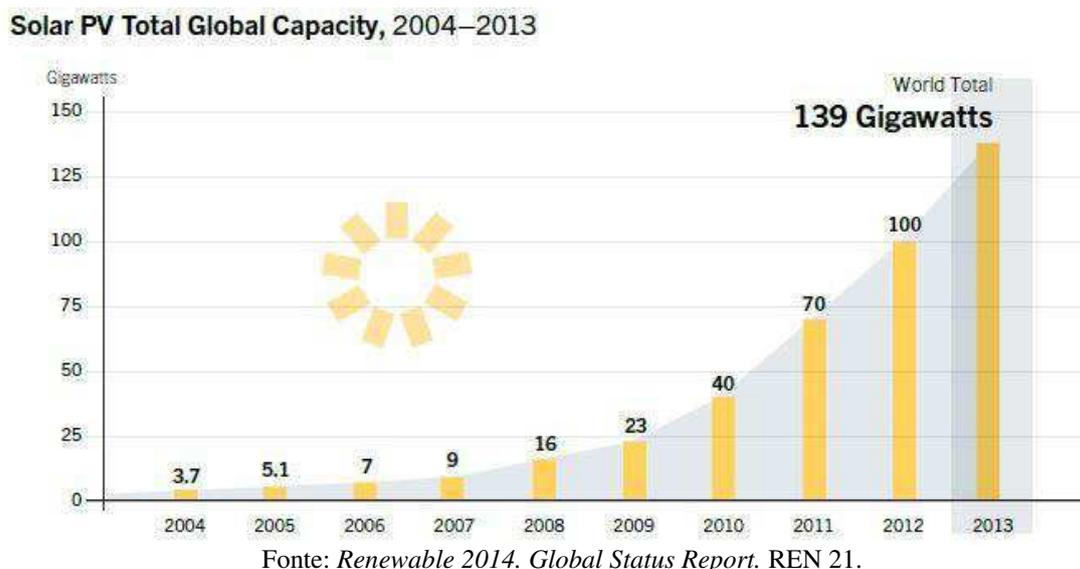
	1	2	3	4	5
Investment in renewable power and fuels	<b>China</b>	United States	Japan	United Kingdom	Germany
Share of GDP 2012 (USD) invested <sup>1</sup>	<b>Uruguay</b>	Mauritius	Costa Rica	South Africa	Nicaragua
 Geothermal power capacity	<b>New Zealand</b>	Turkey	United States	Kenya	Philippines
 Hydropower capacity	<b>China</b>	Turkey	Brazil	Vietnam	India
 Solar PV capacity	<b>China</b>	Japan	United States	Germany	United Kingdom
 CSP capacity	<b>United States</b>	Spain	United Arab Emirates	India	China
 Wind power capacity	<b>China</b>	Germany	United Kingdom	India	Canada
 Solar water heating capacity <sup>2</sup>	<b>China</b>	Turkey	India	Brazil	Germany
 Biodiesel production	<b>United States</b>	Germany	Brazil	Argentina	France
 Fuel ethanol production	<b>United States</b>	Brazil	China	Canada	France

### TOTAL CAPACITY OR GENERATION<sup>6</sup> AS OF END-2013

Fonte: *Renewable 2014. Global Status Report*. REN 21.

O mercado global de energia solar fotovoltaica teve um ano recorde, depois de uma ligeira desacelerada, aumentando sua capacidade mais do que qualquer outra fonte renovável, talvez exceto energia hidrelétrica. Mais de 39 GW foram adicionados. Quase metade de toda sua capacidade foi adicionada nos últimos dois anos e 98% considerando-se desde o início de 2004, como é exibido a Figura 3.

Figura 3. Capacidade solar global de 2004 à 2013.



## 2.3 RADIAÇÃO SOLAR

O termo radiação solar refere-se à energia radiante emitida pelo sol, em forma de ondas eletromagnéticas. A energia eletromagnética é emitida por qualquer corpo que possua temperatura acima de zero grau absoluto. Assim, todo corpo com temperatura absoluta acima de zero pode ser considerado como uma fonte de energia eletromagnética.

A energia eletromagnética não precisa de um meio material para se propagar, sendo definida como uma energia que se move na forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz. Dado que a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas é diretamente proporcional à sua frequência e comprimento de onda, esta pode ser expressa por:

$$V = f \cdot \lambda \quad (1)$$

Em que  $V$  é a velocidade de propagação da onda (m/s);  $f$  é a frequência (ciclos/s ou Hz) e  $\lambda$  é o comprimento de onda (m).

Sob uma perspectiva quântica, a radiação eletromagnética é concebida como o resultado da emissão de pequenos pulsos de energia, enquanto que sob uma perspectiva ondulatória, se propaga na forma de ondas formadas pela oscilação dos campos elétrico e magnético.

A radiação solar fornece a Terra anualmente  $173 \times 10^{15}$  W. Essa energia segue então um de três destinos: reflexão, absorção ou transmissão. Cerca de 30% é refletida e se perde no espaço exterior e os outros 70% são absorvidos, como é exibido na Figura 4. A energia absorvida pela atmosfera, cerca de 19% da radiação, serve de força motriz para as correntes marítimas, ondas, força motriz dos ventos. Os outros 51% são absorvidos pela superfície.

Figura 4. Interação da radiação solar com a atmosfera terrestre.



Fonte: White House Initiative on Global Climate Change.

O volume de energia recebido depende de alguns fatores. Dentre eles, pode-se destacar: variações na constante solar, latitude, período do ano e a duração dos dias. A altitude do Sol é um dos principais fatores que determina o montante de energia solar recebida. Quanto mais perpendiculares são os raios, mais intensos se apresentam. Dessa forma, quanto maior a latitude, menor a temperatura no que refere a este fator.

Elaborando mais sobre as componentes da radiação solar, pode-se decompor em três componentes diferentes. A radiação direta é a componente da radiação solar que chega a uma superfície vinda diretamente do disco solar, sem passar por outros obstáculos além da própria atmosfera; a radiação difusa é a radiação solar que alcança a Terra após ter sido dispersada de raios solares diretos por moléculas em suspensão na atmosfera, também conhecida por luz difusa ou claridade, sendo a razão pela qual ocorrem mudanças na cor do céu; radiação refletida é a parte da radiação que volta para o espaço. Para o aproveitamento fotovoltaico, a de maior interesse é a Irradiação Global

Horizontal (GHI), que quantifica a radiação recebida por uma superfície plana horizontal, composta pela Irradiação Difusa Horizontal (DIF) – parcela dispersa e atenuada por reflexões em nuvens, poeira, vapor d'água e outros elementos em suspensão na atmosfera - e pela Irradiação Normal Direta (DNI) – parcela que atinge o solo diretamente, sem reflexões. Em dias nublados, a principal parcela é a DIF, enquanto que em dias claros prevalece a DNI.

A DNI é muito variável ao longo do dia, principalmente em locais com altos índices de nebulosidade. Estudos mostram que, no longo prazo, a irradiação direta é significativamente mais variável que a irradiação global, observando ciclos principais de 11 anos e outros de períodos mais longos. Se, por um lado, 2 a 3 anos de medição local permitem estimar a média de longo prazo para a irradiação global com margem de erro de 5%, para a irradiação direta podem ser necessários até mais do que 10 anos de medições para se alcançar essa mesma margem.

A variação da posição da Terra em relação ao Sol ao longo do ano determina ângulos de inclinação dos painéis solares, em relação ao norte (azimute) e em relação ao plano horizontal, mais adequado para a otimização do aproveitamento solar quando são utilizados painéis fixos, que não acompanham a trajetória diária do Sol.

No hemisfério Sul, os painéis solares devem estar voltados para o norte verdadeiro e a inclinação com o plano horizontal pode ser ajustada para maximizar a produção em cada uma das estações do ano ou para maximizar a produção média ao longo do ano. Neste último caso, em geral a inclinação corresponde à ângulos próximos da latitude do local da instalação.

## 2.4 EFEITO FOTOVOLTAICO

A conversão da energia solar em energia elétrica é realizada através do efeito fotovoltaico, descoberto por Becquerel em 1839. Em seus experimentos Becquerel observou que certos materiais, ao serem expostos à luz, eram capazes de produzir corrente elétrica devido à diferença de potencial entre as extremidades. Em 1954 foram construídas as primeiras células fotovoltaicas com uma eficiência de conversão aceitável, cerca de 6%.

Com a crise do petróleo em 1973, a energia solar passou a atrair mais interesse. Assustado com a possibilidade do fim da fonte petrolífera o governo passou a investir

mais na diversificação das fontes energéticas, entre elas a energia fotovoltaica. Com o fim da crise, o novo fator que serviu de incentivo para a indústria das células fotovoltaicas foi o fortalecimento do movimento de defesa ao meio ambiente.

Hoje, o maior desafio que ainda limita o desenvolvimento do setor é o alto custo da tecnologia. No entanto, o desenvolvimento das novas tecnologias poderão provocar reduções significativas no custo dos módulos fotovoltaicos.

A *European Photovoltaic Industry Association* (EPIA) publicou um roteiro que avança as perspectivas da indústria fotovoltaica para as próximas décadas. Prevendo um crescimento do mercado semelhante ao dos últimos anos (superior a 30% por ano) e uma redução nos custos proporcional ao crescimento de painéis instalados, a EPIA antecipa que em 2020 cerca de 1% da eletricidade consumida mundialmente será de origem fotovoltaica, elevando-se essa fração para cerca de 26% em 2040.

Ainda segundo o mesmo relatório publicado pela EPIA, do ponto de vista tecnológico a ênfase será dada à redução de custos através da redução da matéria-prima (silício) utilizada por unidade de potência instalada, usando células mais finas ou produzidas diretamente em fita.

## 2.5 A CÉLULA FOTOVOLTAICA

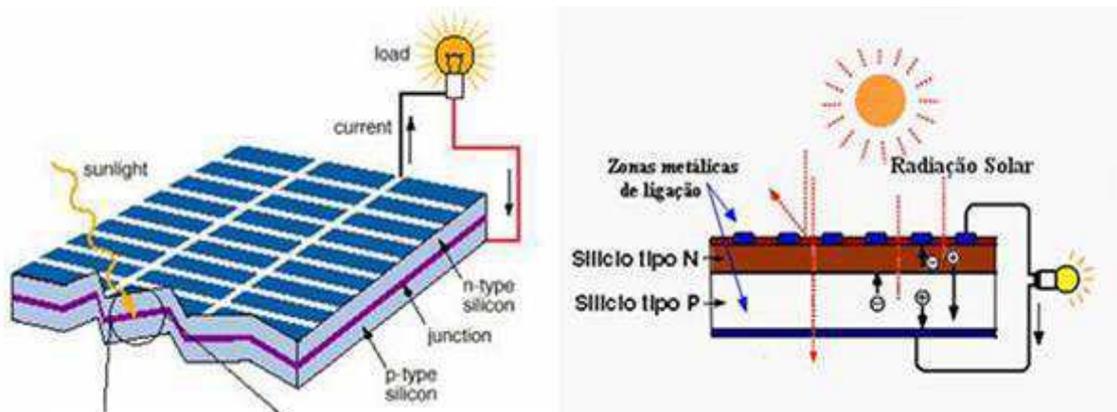
Para realizar a conversão fotovoltaica, o elemento responsável é a célula fotovoltaica. Essas células são fabricadas com material semicondutor. Com o recebimento da radiação solar, os fótons são capazes de transmitir sua energia aos elétrons da camada de valência do semicondutor. Com essa transmissão de energia, os elétrons energizados são capazes de romper suas ligações e movimentar-se livremente pelo material, gerando uma lacuna onde existe a ausência do elétron pelo rompimento de sua ligação. Essa lacuna também é capaz de movimentar-se pelo material.

O movimento das lacunas e dos elétrons, ambos portadores de carga, em direções opostas gera uma corrente elétrica no semicondutor. Ao aplicar-se um campo elétrico, o movimento em direções opostas é garantido e a ligação não se reestabelece.

O material base mais utilizado de uma célula solar é o silício. O silício em forma pura não apresenta elétrons livres e por isso requer que seja dopado com outros materiais, obtendo um novo material com novas características. O processo de dopagem consiste num procedimento de adição de impurezas químicas a um elemento

semicondutor para transformá-lo num elemento mais condutor, porém, de forma controlada. A dopagem do silício com o fósforo gera um material com elétrons livres portadores de carga negativos, tipo N. Caso o processo de dopagem seja realizado com o boro, o novo material apresenta ausência de elétrons, excesso de lacunas. Ou seja, cargas positivas livres, tipo P. A estrutura da célula solar pode ser observada na Figura 5.

Figura 5. Estrutura da célula solar.



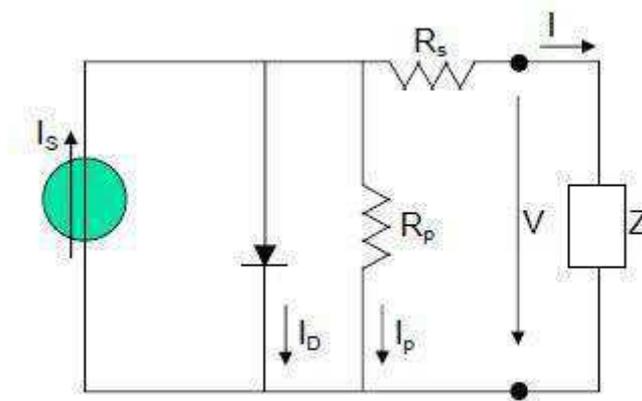
Fonte: Viridan Ecotecnologia.

A célula solar é formada a partir de uma junção P-N. Ao unir as camadas P e N, forma-se um campo elétrico devido aos elétrons livres do silício tipo N que ocupam os vazios do tipo P. Ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons fornecem energia e transformam os elétrons e lacunas em condutores. Devido ao campo elétrico, o movimento dos elétrons é no sentido do terminal negativo, enquanto as lacunas tem sentido em direção ao terminal positivo. Haverá circulação de corrente se contatos elétricos forem adicionados à célula e uma carga for conectada aos terminais da mesma, gerando uma corrente elétrica. Enquanto houver incidência de luz, este fluxo existirá. O fluxo de corrente devido à presença de luz é o que caracteriza o efeito fotovoltaico.

### 2.5.1 MODELO ELÉTRICO

Pode-se descrever uma célula fotovoltaica através do seguinte circuito elétrico equivalente mostrado na Figura 6.

Figura 6. Modelo detalhado da célula solar.



Fonte: CASTRO, 2002.

Esse modelo é o mais próximo de uma célula real, onde existe uma queda de tensão no circuito até os contatos exteriores, representada pela resistência série  $R_s$ . Além disso, existem correntes de fuga, que são descritas por uma resistência paralela  $R_p$ .

A corrente  $I$  que passa pela carga é descrita na Equação (2) (CASTRO, 2002, p. 32).

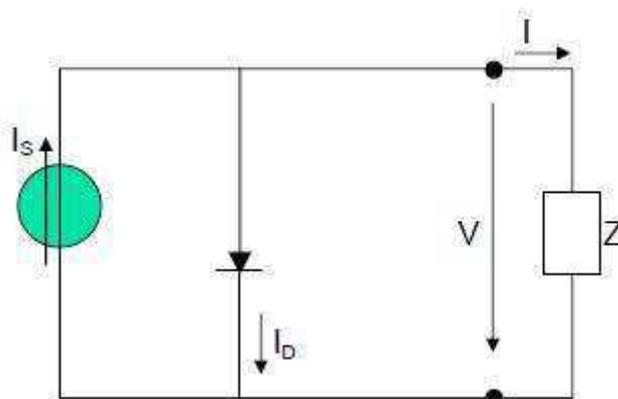
$$I = I_s - I_0 \left( e^{\frac{V}{mV_t}} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_p}, \quad (2)$$

em que  $I_s$  é a corrente fotogerada,  $I_0$  é a corrente inversa máxima de saturação do diodo;  $V$  é a tensão nos terminais da célula;  $m$  é o fator de idealidade do diodo,  $V_t$  é o potencial térmico,  $R_p$  é a resistência em paralelo e  $R_s$  é a resistência em série.

O cálculo dessa equação transcendente é resolvido com recurso a métodos iterativos.

Para fins práticos, pode-se trabalhar com um modelo mais simplificado para a célula solar. Neste modelo mais simples, considera-se que a queda de tensão na resistência em série é pequena face à carga a ser alimentada e que a corrente de fuga que circula por  $R_p$  é pequena face à corrente que circula pela carga. O modelo simplificado por ser observado na Figura 7.

Figura 7. Modelo simplificado da célula solar.



Fonte: CASTRO, 2002.

A corrente elétrica  $I$  que passa pela carga é a soma da corrente  $I_d$ , de uma junção p-n que funciona como um diodo, e a corrente  $I_s$  gerada pelos fótons de radiação luminosa. A corrente  $I_d$  é descrita pela equação (3) (CASTRO, 2002, p. 6) e (CEPEL-CRESESB, p. 116).

$$I_d = I_0 \left( e^{\frac{V}{mV_t}} - 1 \right), \quad (3)$$

em que  $I_0$  é a corrente inversa máxima de saturação do diodo;  $V$  é a tensão nos terminais da célula;  $m$  é o fator de idealidade do diodo e  $V_t$  é o potencial térmico.

O potencial térmico depende da temperatura absoluta da célula e é descrito pela equação (4). As outras duas variáveis da equação são a carga do elétron e a constante de Boltzmann.

$$V_t = \frac{KT}{q}, \quad (4)$$

em que,  $K$  é a constante de Boltzmann,  $T$  é a temperatura absoluta em Kelvin e  $q$  é a carga do elétron.

Sabendo  $I_d$ , a corrente que circula pela carga é dada então pela equação (5):

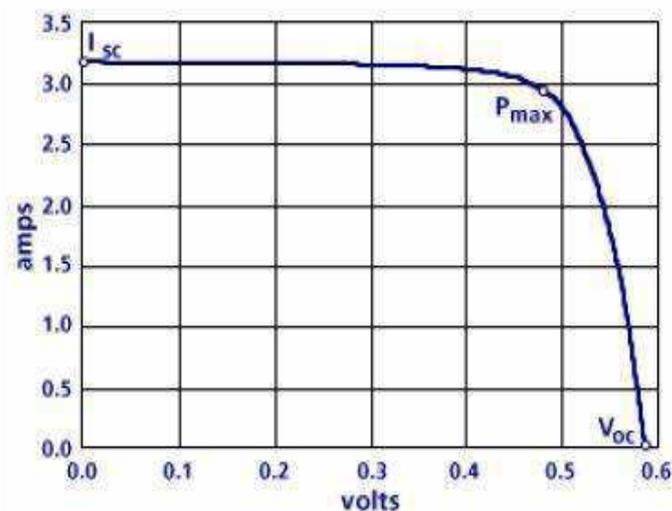
$$I = I_s - I_0 \left( e^{\frac{V}{mV_t}} - 1 \right) \quad (5)$$

A partir deste momento, dois pontos merecem uma atenção maior. O curto-circuito e o circuito aberto.

O curto-circuito é o ponto máximo de corrente no gráfico, quando a tensão é zero. Enquanto no circuito aberto, o ponto máximo é de tensão, quando a corrente é nula.

De modo a representar as características elétricas da célula fotovoltaica, utilizaremos a representação pela curva de corrente e tensão. Na Figura 8 pode-se observar a curva I-V de uma célula típica de silício cristalino.

Figura 8. Curva de corrente e tensão.



Fonte: CASTRO, 2002.

Analisando o gráfico nota-se que à direita do ponto de joelho  $P_{max}$ , onde a potência é máxima, existe uma região onde a corrente decresce rapidamente com o aumento de tensão. Enquanto na região à esquerda do joelho a tensão decresce rapidamente com o aumento da corrente.

### 2.5.2 TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO

A tensão de circuito aberto é a máxima tensão que a célula fotovoltaica pode produzir e é estabelecida quando a corrente que circula entre os terminais é nula. A Equação (6) mostra seu cálculo.

$$V_{CA} = mV_T \ln \left( 1 + \frac{I_S}{I_0} \right), \quad (6)$$

em que  $V_T$  é o potencial térmico,  $I_S$  é a corrente fotogerada e  $I_0$  é a corrente inversa máxima de saturação do diodo.

### 2.5.3 CORRENTE DE CURTO CIRCUITO

A corrente de curto circuito é a máxima corrente que se pode obter ao ter uma tensão nula entre os terminais da célula. Lembrando a equação 5, no curto circuito, temos que  $V = 0$ ,  $I_d = 0$  e portanto,  $I = I_S = I_{CC}$ .

### 2.5.4 FATOR DE FORMA

De modo a determina-se a qualidade de um dispositivo fotovoltaico, deve-se analisar seu fator de preenchimento. Este parâmetro é definido pela razão entre a potência máxima da célula e o produto da corrente de curto-circuito com a tensão de circuito aberto, exibido na equação (7). Quanto maior for o fator de preenchimento, melhor é o dispositivo.

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{CA} \cdot I_{CC}} \quad (7)$$

### 2.5.5 EFICIÊNCIA

A eficiência do processo de conversão de energia é dada pela razão entre a potência máxima produzida e a potência solar incidente, exibida na equação (8).

$$\eta = \frac{P_{max}}{AG} \quad (8)$$

em que,  $A$  é a área da célula em  $m^2$  e  $G$  é a irradiação solar incidente.

No entanto,  $P_{max}$  também depende do fator de forma, da temperatura, da irradiação e do material. Assim, esses fatores também influenciam no rendimento.

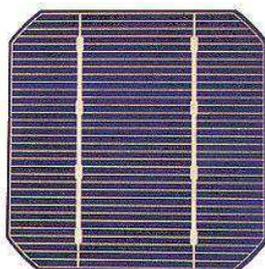
## 2.6 TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS E SEUS MATERIAIS

A maior barreira para o crescimento exponencial da tecnologia de geração solar envolve o custo e o rendimento na produção da energia elétrica. De modo a melhorar esses fatores, diversas pesquisas buscam os melhores materiais possíveis para a confecção das células fotovoltaicas. Para efeito deste trabalho, discutiram-se apenas as células de silício que são as mais usadas na composição das células solares.

### 2.6.1 CÉLULA DE SILÍCIO MONOCRISTALINO

As células de silício monocristalino, exibidas na Figura 9, representam cerca de 60% do mercado segundo Castro. Estas células são obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais. O rendimento desta célula em laboratório gira em torno dos 24%, enquanto na utilização prática é apenas superior a 14%. O processo de construção destas células é o mais caro devido a sua complexidade e maior utilização de energia.

Figura 9. Célula de silício monocristalino.

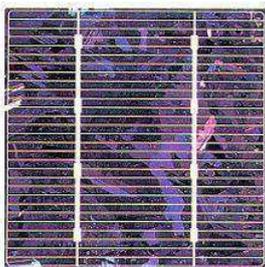


Fonte: CRESESB, 2014.

### 2.6.2 CÉLULA DE SILÍCIO POLICRISTALINO

As células de silício policristalino, exibidas na Figura 10, são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício esfria lentamente e solidifica-se. Neste processo, os átomos não se organizam num único cristal. Forma-se uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é ligeiramente menor do que nas de silício monocristalino e fica em torno de 18% nos laboratórios e 12% em utilização prática. Em compensação, o custo de produção é menor.

Figura 10. Célula de silício policristalino.



Fonte: CRESESB, 2014.

### 2.6.3 CÉLULA DE SILÍCIO AMORFO

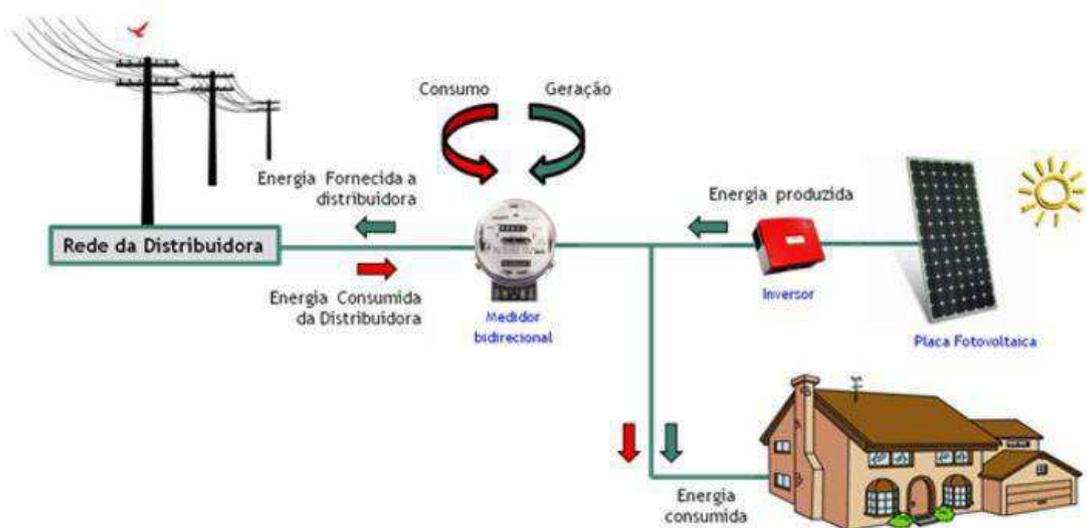
O silício amorfo não tem estrutura cristalina, apresentando defeitos estruturais que, em princípio, impediriam a sua utilização em células fotovoltaicas, uma vez que aqueles defeitos potenciavam a recombinação dos pares elétron-lacuna. No entanto, se ao silício amorfo for adicionada uma pequena quantidade de hidrogênio, por um processo chamado hidrogenização, os átomos de hidrogênio combinam-se quimicamente de forma a minimizar os efeitos negativos dos defeitos estruturais. O silício amorfo absorve a radiação solar de uma maneira muito mais eficiente do que o silício cristalino, pelo que é possível depositar uma fina película de silício amorfo sobre um substrato. Este processo de fabricação é ainda mais barato do que o do silício policristalino. Os equipamentos solares domésticos (calculadoras, relógios) são habitualmente feitos com células de silício amorfo, representando cerca de 4% do mercado. Em laboratório é possível obter rendimentos da ordem de 13%, mas as propriedades conversoras do material deterioram-se em utilização prática, pelo que os rendimentos descem para cerca de 6% (CASTRO, 2002).

### 3 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Os elementos constituintes de um sistema fotovoltaico podem ser tratados como blocos funcionais, como podem ser vistos no diagrama esquemático exibido na Figura 11.

Temos um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e, opcionalmente, um bloco de armazenamento quando o sistema é isolado ou existe a necessidade de reter energia para uso posterior. O bloco gerador contém os painéis fotovoltaicos, constituídos pelos módulos, cabeamento e estrutura de suporte. O bloco de condicionamento de potência pode ter conversores, inversores, controladores de carga e outros dispositivos de proteção, supervisão e controle. Por fim, o bloco de armazenamento é constituído por acumuladores elétricos.

Figura 11. Diagrama esquemático de sistema fotovoltaico conectado à rede.



Fonte: Viridian Ecotecnologia.

O sistema fotovoltaico estudado neste relatório será conectado à rede e não constará de acumuladores elétricos.

Neste capítulo abordaremos os fatores para determinação do sistema fotovoltaico e exploraremos mais sobre os módulos fotovoltaicos, inversores e dispositivos seguidores de máxima potência, além de abordar a Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL.

## 3.1 FATORES PARA DETERMINAÇÃO DO SISTEMA

### FOTOVOLTAICO

De modo a determinar os parâmetros do sistema fotovoltaico que satisfaçam uma residência com um consumo médio mensal de 395 kWh, é necessária a análise de um conjunto de fatores que serão discutidos nessa seção.

#### 3.1.1 ORIENTAÇÃO GEOGRÁFICA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Para que o potencial energético solar seja aproveitado ao máximo os painéis fotovoltaicos devem estar posicionados adequadamente. A orientação solar favorável para o local de estudo, é aquela que possibilita que a superfície dos painéis fotovoltaicos esteja voltada para o norte geográfico. O norte geográfico, por sua vez, é identificado a partir da determinação do norte magnético, a partir de uma bússola, e pela declinação magnética inerente a cada uma das direções. (MARINOSKI; SALAMONI; RUTHER, 2004).

#### 3.1.2 RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA

Em função do posicionamento dos painéis fotovoltaicos e da região em que estão instalados, ocorre a variação dos índices de incidência solar conforme o horário, estação do ano e condições meteorológicas. Esses índices são obtidos a partir do levantamento dos dados diários de radiação solar incidente. Os valores de radiação solar diária adotados no presente estudo são referentes a medições extraídas do software livre RETScreen desenvolvido pelo *Natural Resources Canada*.

#### 3.1.3 POTÊNCIA NOMINAL NECESSÁRIA ( $P_{CC}$ )

Diz respeito a potência necessária para suprir a demanda energética da residência (MARINOSKI; SALAMONI; RUTHER, 2004) e é calculada a partir da equação (9).

$$P_{CC} = \frac{E}{R} \quad (9)$$

Em que,  $E$  é o consumo médio mensal,  $G$  é o ganho por radiação solar e  $R$  é o rendimento do sistema.

O resultado obtido foi de 2,90 kW<sub>pcc</sub> adotando a aproximação fornecida pela Sices, onde o  $P_{CC}$  é igual ao consumo médio mensal dividido pelo fator 125.

#### 3.1.4 NÚMERO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Para calcular o número de painéis fotovoltaicos necessários para suprir a demanda de 2,90 kW<sub>pcc</sub> determinou-se o modelo do painel a ser utilizado. Adotou-se o modelo policristalino de alta eficiência de 265 W de potência máxima. Cada unidade fotovoltaica ocupa 1,61 m<sup>2</sup>. A partir da divisão entre o valor de  $P_{CC}$  em W<sub>pcc</sub> e o valor da potência máxima fornecida por cada painel fotovoltaico em Watts concluiu-se que são necessários 11 painéis fotovoltaicos de 265 W para suprir a demanda energética da residência em estudo. No entanto, como o sistema será conectado à rede, não há a necessidade de suprir toda a demanda. Dessa forma, será considerado o sistema com 10 painéis fotovoltaicos de 265 W que está disponível no mercado.

#### 3.1.5 INVERSORES DO SISTEMA

O cálculo do número de inversores de corrente elétrica necessários foi obtido a partir da seguinte relação: para cada 1,1 kW<sub>pcc</sub> são necessários 1 kW de potência nominal do inversor de corrente (LISITA et al., 2005). Dessa forma, havendo um  $P_{CC}$  de 2,65 kW<sub>pcc</sub> são necessários 2,4 kW de potência nominal proveniente do processo de inversão de corrente.

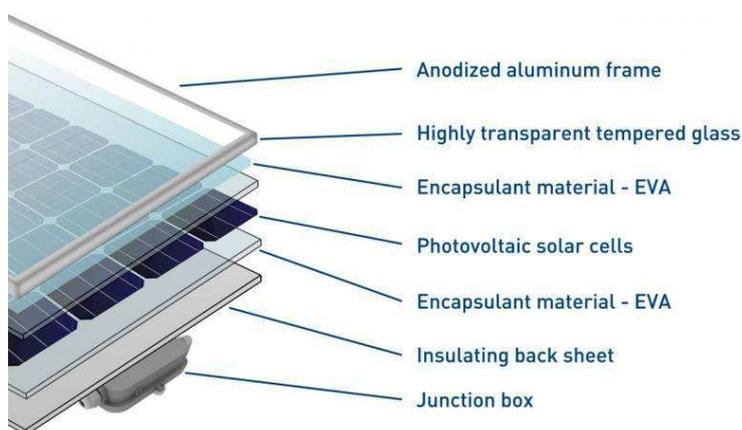
### 3.2 MÓDULO FOTOVOLTAICO

Como a potência máxima de uma célula solar não passa de 2 W, de modo a produzir tensão e corrente suficientes para a utilização de energia, é realizado o agrupamento das células em série e em paralelo formando os módulos fotovoltaicos. Dependendo da tensão e correntes desejadas, um módulo é composto por  $n$  ramos conectados em paralelo, cada um desses ramos constituído por  $m$  células ligadas em série. Todo esse conjunto de células é então encapsulado em placas rígidas ou flexíveis

de modo a trazer proteção contra os agentes atmosféricos, trazendo rigidez mecânica e isolando eletricamente do exterior. Para cada sistema de geração, módulos são associados de modo a produzir uma maior potência. A associação de módulos gera um painel solar.

A estrutura do painel fotovoltaico, exibida na Figura 12, é composta por uma cobertura frontal, um material encapsulante e uma estrutura leve. A cobertura frontal geralmente é vidro temperado altamente transparente com elevada resistência mecânica e resistência a arranhões. Quanto a camada encapsulante, o filme de EVA é o encapsulamento mais utilizado para proteção das células solares. Na estrutura de sustentação, a ideia é acrescentar o mínimo de massa sem perder o suporte, onde o alumínio aparece como uma das melhores soluções. Por fim, o painel fotovoltaico contém uma caixa de conexões para realizar as conexões elétricas.

Figura 12. Estrutura do painel fotovoltaico.



Fonte: <http://www.ecoprogetti.com/it/novit%C3%A0/tech/196-la-struttura-di-un-modulo-fotovoltaico.html>.

### 3.2.1 MÓDULO CANADIAN 60 CELLS 265 P-SI

O módulo utilizado em nosso sistema será o módulo Canadian Solar de 265 W. Este módulo é ideal para uso em sistemas conectados à rede e também pode ser utilizado em sistemas isolados com baterias com um controlador de carga adequado.

O painel solar fotovoltaico Canadian Solar, modelo CS6P-265P, possui estrutura em alumínio anodizado. Pesa 18Kg e tem dimensões de 1638 x 982 x 40 (mm). Este módulo fotovoltaico foi certificado pelo INMETRO com nota “A”, apresentando eficiência de 16,16%. As células fotovoltaicas são protegidas por uma resistente camada de vidro temperado e a moldura em alumínio já vem com as furações para fixação.

Em condições ideais de insolação, este módulo solar fotovoltaico produz 265W, 8,66A e 30,6V em corrente contínua.

Com sede no Canadá, a Canadian Solar é um dos maiores fabricantes de módulos fotovoltaicos do mundo. Possui oito fábricas, presença em todos os continentes com 18 subsidiárias e atuação em mais de 90 países. O módulo Canadian Solar CS6P-265P possui garantia de 25 anos contra defeitos de fabricação.

### 3.3 INVERSORES

A corrente gerada pelos painéis fotovoltaicos é uma corrente contínua CC. No entanto, a maioria das cargas foram desenhadas para trabalhar em corrente alternada CA. Desse modo, é necessário a conversão CC/CA. O inversor é o equipamento responsável por essa conversão e representa a unidade condicionada de potência do sistema fotovoltaico.

A corrente CA fornecida pelo inversor deve ser adequada às cargas que serão alimentadas e sua tensão deve ser sincronizada com a tensão da rede elétrica. A escolha do inversor afeta no desempenho, confiabilidade e custo do sistema. Painéis fotovoltaicos e inversores compõem cerca de 60% do custo.

Os inversores com potências individuais de até cerca de 5 kW tem saída monofásica e trifásica para potências maiores. O dimensionamento é realizado de modo a aperfeiçoar a geração de energia elétrica para cada aplicação específica.

Os inversores modernos utilizam chaves eletrônicas de estado sólido e o seu desenvolvimento está diretamente ligado à evolução da eletrônica de potência, tanto em termos de componentes quanto das topologias de seus circuitos de potência e controle. Enquanto os primeiros inversores para uso em sistemas fotovoltaicos eram meras adaptações de circuitos já existentes, os circuitos mais modernos são desenvolvidos levando em conta a complexidade e as exigências de sua aplicação específica. Desta forma, no decorrer de poucas décadas, as topologias foram sendo otimizadas e os custos de fabricação reduzidos, enquanto que as eficiências de conversão evoluíram até chegar a valores próximos a 99% em alguns inversores para conexão à rede elétrica (Pinho, João Tavares; Galdino, Marco Antonio, 2004).

### 3.3.1 INVERSOR FRONIUS GALVO 2.5-1

Com categorias que vão de energia 1,5-3,1 kW, o Fronius Galvo, exibido na Figura 13, é otimizado para sistemas de auto-consumo. O relé integrado de gestão de energia permite uma maximização do auto-consumo. Uma série de outros recursos inteligentes tornam o Fronius Galvo um dos inversores mais à prova de futuro da sua classe: Por exemplo, o registro de dados integrado, a simples conexão à internet por WLAN, ou a tecnologia plug-in card para adaptação funções adicionais.

Figura 13. Inversor Fronius Galvo 2.5-1



Fonte: Sices Brasil.

## 3.4 SEGUIDOR DE MÁXIMA POTÊNCIA

Lembrando o que foi exibido na seção 2.3.1 deste relatório, existe um ponto da curva I-V onde a produção de potência é máxima. Logicamente, o objetivo é operar o sistema nesse ponto ótimo de potência, de modo a reduzir o tamanho e, conseqüentemente, o preço do sistema gerador de energia. O dispositivo que busca melhorar o desempenho do sistema ao buscar o ponto ótimo é o seguidor de máxima potência, MMPT – da sigla em inglês *Maximum Power Point Tracker*.

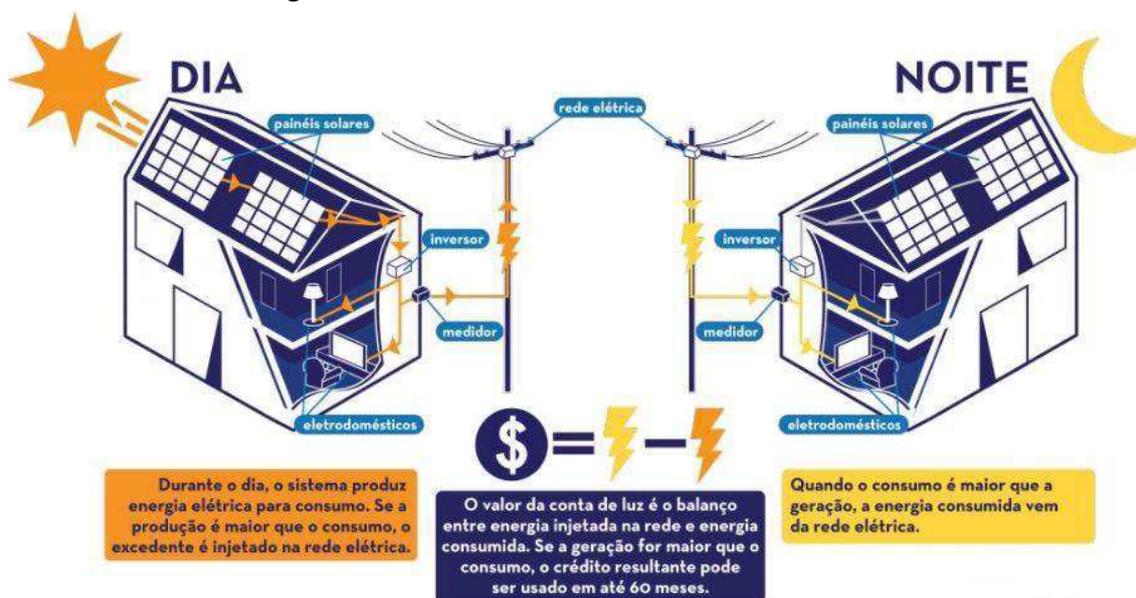
O MMPT funciona através de controladores que utilizam técnicas de chaveamento para fazer com que o gerador mantenha-se sempre gerando a tensão de máxima potência.

O seguidor de máxima potência já está integrado ao conversor utilizado no sistema estudado, o FRONIUS Galvo 2.5-1.

### 3.5 RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 482/2012

A Resolução Normativa nº 482, de abril de 2012, da ANEEL estabelece as condições gerais para acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. O acesso de microgeração são as centrais geradoras com potência menor ou igual a 100 kW e o acesso de minigeração são as centrais geradoras com potência superior aos 100 kW mas inferior a 1 MW. O sistema de compensação de energia elétrica, conforme Figura 14, funciona no qual a energia ativa injetada com microgeração distribuída é cedida à concessionária local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade de mesma titularidade, CPF ou CNPJ.

Figura 14. Sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: Viridian Ecotecnologia.

Com a Resolução 482 as distribuidoras adequam seus sistemas comerciais e técnicos e elaboram normas técnicas para tratar do acesso de microgeração e minigeração distribuída. Dessa forma, fica dispensada a assinatura de contratos de uso e conexão na qualidade de central geradora para a microgeração e minigeração distribuída que participe do sistema de compensação de energia elétrica da distribuidora, sendo suficiente a celebração de Acordo Operativa para os minigeradores ou de Relacionamento Operacional para os microgeradores.

### 3.5.1 LIMITES DE POTÊNCIA

As unidades consumidoras em baixa tensão, até 2,3 kV, são classificadas no grupo B e as unidades consumidoras em alta tensão, a partir de 2,3 kV, são classificadas no grupo A.

A potência instalada da micro/minigeração participante do sistema de compensação de energia elétrica fica limitada à carga instalada no caso de unidade consumidora do grupo B, ou à demanda contratada no caso de unidade do grupo A. Caso o consumidor deseje instalar micro/minigeração com potência superior ao limite, deve solicitar aumento da carga instalada ou da demanda contratada.

### 3.5.2 COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 36 meses.

O consumo de energia elétrica ativa a ser faturado é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto tarifário, devendo a distribuidora utilizar o excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes. Transferimento de energia

### 3.5.3 TRANSFERIMENTO DE ENERGIA

Os montantes de energia ativa injetada não compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas para esse fim e atendida pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia, possuidor do mesmo cadastro de pessoa física ou CNPJ.

O consumidor deverá definir a ordem de prioridade das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica. A primeira é onde está instalado o sistema de geração.

#### 3.5.4 MEDIÇÃO DE ENERGIA

Os custos referentes à adequação do sistema de medição, necessário para a compensação de energia, são de responsabilidade do interessado.

Após a adequação do sistema de medição, a distribuidora será responsável pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição ou adequação.

#### 3.5.5 APRIMORAMENTOS NA RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482/2012

A diretoria da Agência Nacional de Energia Elétrica aprovou, no dia 24 de novembro de 2015, aprimoramentos na Resolução Normativa nº 482/2012.

Segundo as novas regras, que começam a valer a partir de 1º de março de 2016, será permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto”.

Outra inovação da norma diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios, empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras. Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores.

A ANEEL criou ainda a figura da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

Com relação aos procedimentos necessários para se conectar a micro ou minigeração distribuída à rede da distribuidora, a ANEEL estabeleceu regras que

simplificam o processo: foram instituídos formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor. O prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW, que era de 82 dias, foi reduzido para 34 dias. Adicionalmente, a partir de janeiro de 2017, os consumidores poderão fazer a solicitação e acompanhar o andamento de seu pedido junto à distribuidora pela internet.

A Agência acompanhará de perto a implantação das novas regras do Sistema de Compensação e prevê que até 2024 cerca de 1,2 milhão de unidades consumidoras passem a produzir sua própria energia, totalizando 4,5 gigawatts (GW) de potência instalada.

Desde a publicação da Resolução em 2012 até outubro deste ano, já foram instaladas 1.285 centrais geradoras, sendo 1.233 (96%) com a fonte solar fotovoltaica, 31 eólicas, 13 híbridas (solar/eólica), 6 movidas a biogás, 1 a biomassa e 1 hidráulica.

## 4 ANÁLISE ECONÔMICA

Neste capítulo serão definidos e discutidos os métodos e critérios de decisão na análise econômica. Além disso, o fluxo monetário do sistema em estudo será construído para que, em seguida, seja tomada a decisão sobre a viabilidade financeira do projeto.

### 4.1 PAYBACK

O payback é o período de tempo necessário para recuperar o custo de um investimento. O período de retorno de um determinado investimento ou projeto é um importante fator para decidir se o empreendimento é viável ou não, já que longos períodos de payback não são desejáveis para investimentos.

O payback é calculado através da equação (10).

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Receita}} \quad (9)$$

O valor da receita pode ser anual, mensal ou semanal, dependendo do payback que se deseja obter.

Este método tem duas grandes desvantagens. A primeira é que ignora todos os benefícios após seu período de payback, assim, o método não fornece rentabilidade. Além disso, o payback não considera o valor do dinheiro no tempo. De um modo geral, o payback é uma ferramenta bem simples para se determinar quanto tempo se leva para o dinheiro investido retornar ao investidor e não fornece mais informações além disso.

### 4.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

Valor Presente Líquido (VPL) é a diferença entre o valor presente dos fluxos de caixa e do valor presente das saídas de caixa. VPL é usado no orçamento de capital para analisar a rentabilidade de um investimento ou projeto.

A fórmula para se calcular o VPL é definida na equação (11).

$$VPL = \sum \frac{C_t}{(1+i)^t} - C_0 \quad (10)$$

Em que,  $C_t$  é a entrada de caixa no período  $t$ ,  $C_0$  é o valor do investimento inicial,  $i$  é a taxa de interesse e  $t$  é o período.

Um valor presente líquido positivo indica que os ganhos projetados gerados por um projeto ou investimento (em valor monetário atual) excede os custos previstos (também em valor monetário atual). Geralmente, um investimento com um VPL positivo será rentável e um com um VPL negativo irá resultar em uma perda líquida. Este conceito é a base para a Regra de Valor Presente Líquido, que determina que os únicos investimentos que devem ser realizados são aqueles com valores de VPL positivo.

Além da própria fórmula, o VPL muitas vezes pode ser calculado usando tabelas, planilhas, como o Microsoft Excel ou calculadoras financeiras.

### 4.3 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

A taxa interna de retorno (TIR) é um método utilizado no orçamento de capital para medir a rentabilidade dos investimentos. A TIR é uma taxa de desconto que torna o valor presente líquido (VPL) de todos os fluxos de caixa de um projeto em particular igual a zero. Ou seja, para obtermos a TIR de um projeto basta fazermos  $VPL = 0$  na equação 10 e resolvermos para  $i$ , onde o  $i$  obtido será a taxa interna de retorno.

De um modo geral, quanto maior a taxa interna de um projeto de retorno, o mais desejável é realizar o projeto. A TIR é uniforme para investimentos de diversos tipos e, como tal, a TIR pode ser usada para classificar vários projetos em perspectiva. Assumindo que os custos de investimento são iguais entre os vários projetos, o projeto com maior TIR seria provavelmente considerado o melhor e recomendado.

Podemos pensar na TIR como a taxa de retorno esperado que um projeto pode gerar. Enquanto a taxa real de retorno que um determinado projeto acaba gerando, muitas vezes, seja diferente de sua taxa de TIR estimada, um projeto com um valor TIR substancialmente maior do que outras opções disponíveis ainda daria uma chance muito maior de forte crescimento. Um uso popular da TIR é em comparar a rentabilidade da

criação de novas operações com a de expandir as antigas. Por exemplo, uma empresa de energia pode usar TIR na decisão de abrir uma nova usina de energia ou para reformar e ampliar uma já existente. Embora ambos os projetos fossem susceptíveis de agregar valor para a empresa, é provável que um vá ser a decisão mais lógica, conforme prescrito pelo TIR.

Em teoria, qualquer projeto com uma TIR maior do que seu custo de capital é rentável e, portanto, recomendável. No planejamento de projetos de investimento, as empresas, muitas vezes, estabelecem uma taxa de retorno exigida para determinar a percentagem de retorno mínima aceitável que o investimento em questão deve ganhar, a fim de valer a pena. Qualquer projeto com uma TIR que exceda a taxa de retorno exigida provavelmente será considerado um projeto rentável, embora as empresas não necessariamente prossigam com o projeto nesta base sozinha.

#### 4.4 COMPOSIÇÃO DA TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA

As faturas de energia elétrica têm custos além do consumo da energia propriamente dito. O consumidor paga pela compra de energia, a transmissão e a distribuição, além dos encargos e tributos determinados por lei (federais, estaduais e municipais), destinados ao poder público.

Para manter sua estrutura de atendimento em perfeito funcionamento para que o consumidor possa utilizar a energia no momento em que necessitar, a concessionária cobra um valor mínimo na fatura de eletricidade. A resolução 456/2000 da ANEEL estabeleceu os valores mínimos para cada perfil de unidade consumidora.

O valor será o correspondente ao pago por 30 kWh, mesmo que não haja consumo. Ou seja, mesmo que o consumo de energia elétrico da rede seja zero, o consumidor paga uma taxa conhecida como custo de disponibilidade, que seria como se ele houvesse consumido 30 kWh. Dessa maneira, se um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede gera eletricidade ao ponto de que não seja necessária a utilização da energia da concessionária, o consumidor ainda pagará um valor em sua fatura de eletricidade.

Feitas as considerações a respeito da composição da tarifa de energia elétrica, o valor cobrado pela Energia na Paraíba é de R\$ 0,7538 por kWh.

## 4.5 ORÇAMENTO DO SISTEMA NO MERCADO

Com os parâmetros do sistema fotovoltaico definidos, devemos escolher um sistema disponível no mercado para nosso projeto. A potência nominal necessária foi de 2,90 kW<sub>pcc</sub> para uma residência com um consumo médio mensal de 395 kWh. Segundo a Sices Brasil, que foi a fornecedora consultada, os dois sistemas mais próximos são os de 2,65 kW<sub>pcc</sub> e 3,12 kW<sub>pcc</sub>. Como o valor de geração é irregular, não tem sentido em buscarmos suprir 100% do consumo da residência, dessa forma, optamos pelo sistema de 2,65 kW<sub>pcc</sub>.

Os equipamentos e seus valores de mercado são listados na Tabela 1.

Tabela 1. Lista de equipamentos.

<b>Item</b>	<b>Produto</b>	<b>Qtd</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Valor da nota fiscal</b>
1	Canadian Solar 60 cells 265 W P-SI	10	R\$ 853,23	R\$ 8.532,34
2	Fronius Galvo 2.5-1	1	R\$ 5.553,72	R\$ 5.553,72
3	String Box ABB 1 corda 1 saída	1	R\$ 1.281,76	R\$ 1.281,76
4	Estrutura para montagem	1	R\$ 1.119,90	R\$ 1.119,90
5	Cabo Solar 6mm 1000V preto	20	R\$ 5,55	R\$ 110,96
6	Cabo Solar 6mm 1000V vermelho	20	R\$ 5,55	R\$ 110,96
7	Conectores fêmea CABUR MC 4	2	R\$ 12,81	R\$ 25,63
8	Conectores macho CABUR MC 4	2	R\$ 10,05	R\$ 20,10

Fonte: Sices Brasil.

Além do custo dos equipamentos, para a estimativa comercial ficar completa, necessitamos do custo dos serviços, que incluem a instalação, o projeto para a concessionária e o frete dos equipamentos. O custo dos serviços foi fornecido pela empresa UV Energia Solar com o valor total de R\$ 6.500,00.

Assim, o custo total do sistema de 2,65 kW<sub>pcc</sub> é de R\$ 23.254,49.

## 4.6 GERAÇÃO DO SISTEMA

A geração média mensal do sistema é determinada pela potência do sistema e pela radiação solar incidente. Com o auxílio do Atlas Solarimétrico do Brasil, a empresa

UV Energia Solar gerou um gráfico de barras com o consumo estimado do sistema fotovoltaico em seu primeiro ano, exibido na Figura 15. A radiação solar incidente é variante mês a mês, por isso, devemos realizar a geração mês a mês para o primeiro ano.

Figura 15. Geração estimada no primeiro ano de projeto.



Fonte: UV Energia Solar.

A geração total no primeiro ano é estimada em 4.765,17 kWh. Na Figura 16, podemos observar a relação da geração estimada do sistema com o consumo nos últimos 12 meses.

Figura 16. Relação do consumo com a geração do sistema.



Fonte: UV Energia Solar.

Segundo a garantia do fabricante do painel fotovoltaico utilizado no sistema, a saída real do sistema não será menor do que 97% do valor nominal do painel ao longo do primeiro ano. Para os anos seguintes, o fabricante também garante que a queda anual no rendimento não poderá ser maior do que 0,7% até o último dos 25 anos de projeto.

## 4.7 FLUXO MONETÁRIO

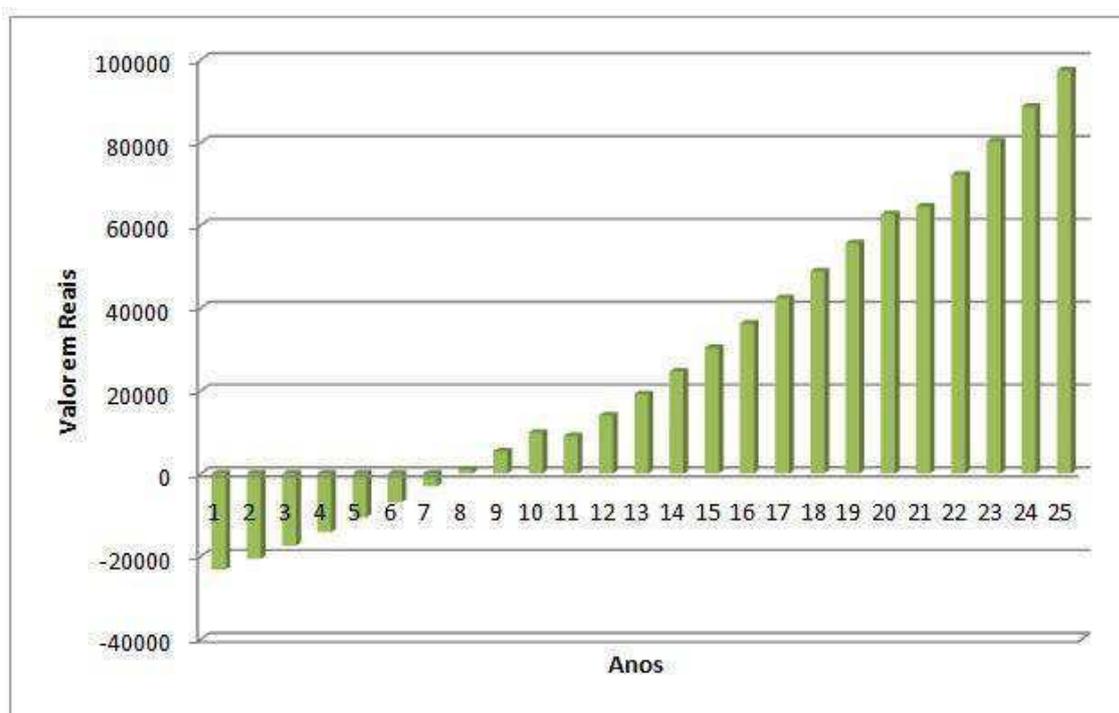
Na elaboração do fluxo monetário, serão considerados os seguintes fatores: composição da tarifa de energia elétrica, geração estimada de energia elétrica do sistema, custo inicial do projeto e a manutenção preventiva e corretiva.

Além dos já citados fatores, deverá ser considerado o índice de inflação que representa o aumento anual na tarifa de energia para se determinar a real economia gerada pelo sistema fotovoltaico ano a ano. Tratando-se do reajuste de tarifa pública, utilizaremos o índice IGP-M. Considerando o período de 1995 a 2010, a média do IGP-M foi de 9,56%, o qual será utilizado na elaboração do fluxo monetário.

Devido a dependência de fatores do mercado e da complexidade em determinar os mesmos, realizaremos o fluxo monetário para dois cenários distintos. Em todos os cenários consideramos um valor fixo de R\$ 300 para manutenção anual e troca do inversor a cada 10 anos.

A Figura 17 exibe o fluxo monetário obtido na ferramenta Excel considerando inflação anual estimada em 5% e taxa de atratividade do mercado de 15%.

Figura 17. Cenário 1 - inflação anual estimada em 5%.



Fonte: Autoria Própria.

No cenário 1 o VPL obtido para o projeto foi de R\$ 1.988,75 e a TIR de 16%. A Tabela 2 mostra os novos valores de VPL quando a taxa de atratividade do mercado é alterada para 10% e 20%. O período de payback para este cenário é de 8 anos.

Tabela 2. Impacto do mercado no Cenário 1.

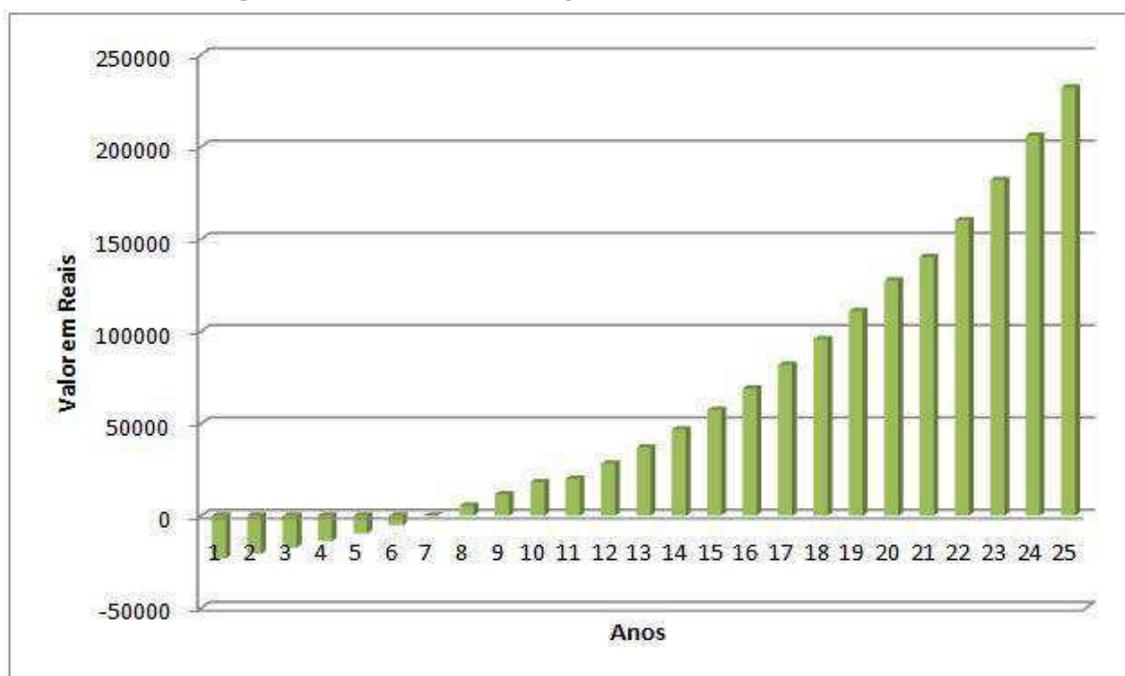
Taxa de atratividade do mercado	VPL do Cenário 1
10%	R\$ 14.951,95
15%	R\$ 1.988,75
20%	-R\$ 4.944,98

Fonte: Autoria própria.

Note que quando a taxa de atratividade do mercado é superior a TIR do projeto, este é um indicativo de inviabilidade. De fato, o VPL para a taxa de atratividade do mercado de 20% foi negativo, o que corrobora com a afirmação anterior.

O fluxo de caixa do cenário 2 com a inflação anual estimada em 10% é exibido na Figura 18 com uma taxa de atratividade do mercado de 15%.

Figura 18. Cenário 2 - inflação anual estimada em 10%.



Fonte: Autoria Própria.

O VPL obtido para o projeto no cenário 2 foi de R\$ 18.761,49 e a TIR de 22%. Analogamente ao Cenário 1, A Tabela 3 mostra os novos valores de VPL quando a taxa de atratividade do mercado é alterada para 10% e 20%. O período de payback para este cenário é de 7 anos.

Tabela 3. Impacto do mercado no Cenário 2.

<b>Taxa de atratividade do mercado</b>	<b>VPL do Cenário 2</b>
10%	R\$ 18.761,49
15%	R\$ 48.476,94
20%	R\$ 4.300,49

Fonte: Autoria própria.

Ao compararmos os dois cenários, com o aumento da inflação anual, o aumento da tarifa de energia elétrica aumenta também, o que faz com que o sistema fotovoltaico seja ainda mais vantajoso, já que o mesmo cobre 97% do consumo médio anual durante todo o projeto.

## 4.8 ANÁLISE FINAL SOBRE A VIABILIDADE FINANCEIRA

Com um período de payback de 8 anos, o Cenário 1 é financeiramente viável já que o mesmo tem uma vida útil de 25 anos. Os cálculos da TIR e do VPL para este cenário corroboram com a viabilidade do projeto, exceto quando a taxa de atratividade do mercado for maior que 16%. Neste ponto, o projeto torna-se financeiramente inviável.

Quanto ao Cenário 2, o período de payback é de 7 anos e o projeto é financeiramente viável desde que a taxa de atratividade do mercado não supere 22%.

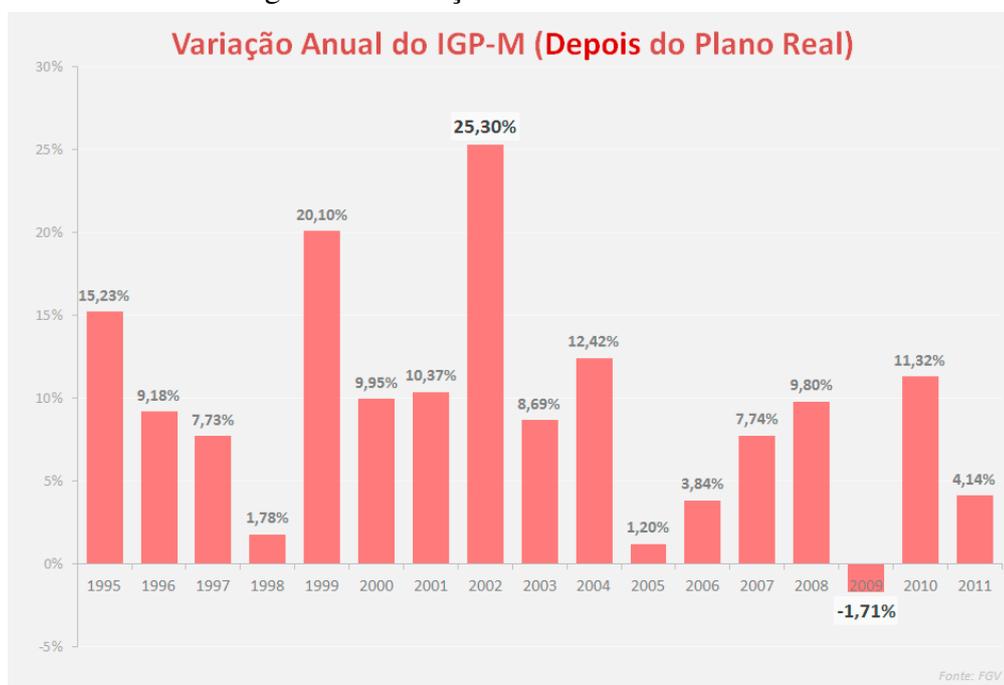
### 4.8.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE

Uma questão primária com aferição da rentabilidade de um investimento com VPL é que o VPL depende muito de várias suposições e estimativas, por isso não pode haver espaço substancial para erro. Fatores estimados incluem os custos de investimento, a taxa de atratividade e retornos projetados. Um projeto pode muitas vezes exigir despesas adicionais e imprevistas.

Além disso, taxas de atratividade e estimativas de fluxo de caixa podem não inerentemente representar o risco associado com o projeto e podem assumir os máximos possíveis valores de entradas de caixa ao longo de um período de investimento. Isto pode ocorrer como um meio de aumentar artificialmente a confiança dos investidores. Como tal, estes fatores podem ter de ser ajustados para contemplar os custos ou perdas inesperadas ou para projeções de fluxo de caixa excessivamente otimistas.

Ao estimar cada entrada de caixa, foram feitas considerações a respeito da confiabilidade dos equipamentos de um modo geral, além de prever um valor de inflação no valor cobrado na tarifa de energia elétrica. O índice utilizado pelo Banco Central do Brasil para o acompanhamento dos objetivos estabelecidos no sistema de metas de inflação, sendo considerado o índice oficial de inflação do país é o IPCA. No entanto, o índice que é utilizado em contratos de aluguel, reajustes de tarifas públicas e planos de seguro de saúde é o índice IGP-M. O IGP-M apresenta maior volatilidade do que o IPCA, como pode ser visto na Figura 19. Desde o plano real, considerando o intervalo de 1995 a 2010, o IPCA teve valor médio de 7,33% enquanto o IGP-M teve o valor médio de 9,24%.

Figura 19. Variação anual do IGP-M.



Fonte: HC Investimentos.

Dessa forma, devido a imprevisibilidade dos fatores que compõem o fluxo de caixa do projeto e dependem do mercado, a confiabilidade quanto ao retorno que o projeto poderá dar ao investidor não é alta.

## 5 CONCLUSÃO

A utilização do potencial energético solar para obtenção de energia elétrica apresenta-se como alternativa sustentável para a matriz energética mundial por se tratar de uma fonte de energia considerada inesgotável e que, em comparação com as fontes energéticas convencionais, a exemplo da energia elétrica obtida em usinas hidrelétricas e termelétricas, geram menos resíduos e causam impactos ambientais em menor escala.

O presente trabalho apresentou um estudo da viabilidade econômica e técnica da implantação de painéis fotovoltaicos como opção para redução do consumo de energia elétrica convencional em uma residência que apresenta consumo médio mensal de 395 kWh. O sistema de transformação de energia dimensionado é composto por 10 painéis fotovoltaicos, um inversor de corrente elétrica e uma *string box*. O projeto apresentou período de retorno simples do investimento de R\$ 23.254,49 entre 7 e 8 anos. Sendo a vida útil do conjunto de painéis fotovoltaicos de, em média, 25 anos o emprego da tecnologia na atualidade para as condições de estudo apresenta-se economicamente viável.

No entanto, ao estimar cada entrada de caixa, foram feitas considerações a respeito da confiabilidade dos equipamentos de um modo geral, além de prever um valor de inflação no valor cobrado na tarifa de energia elétrica. Dessa forma, devido a imprevisibilidade dos fatores que compõem o fluxo de caixa do projeto e dependem do mercado, a confiabilidade quanto ao retorno que o projeto poderá dar ao investidor não é alta. Dito isso, o projeto é ainda bem atrativo e pode proporcionar benefícios não só financeiros como ambientais ao meio que for instalado.

## BIBLIOGRAFIA

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/>>. Acesso em 5 de Abril de 2016.

ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL n. 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/-/bren2012482.pdf>>. Acessado em 5 de Abril de 2016.

**Atlas Solarimétrico do Brasil**: banco de dados solarimétricos. Recife: Universitária da UFPE, 2000. 111 p.: il., tab., mapas.

BEN. **Balanco Energético Nacional**. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf)>. Acesso em 4 de Abril de 2016.

BOYLE, G. **Renewable Energy: Power for a Sustainable Future**. Oxford University Press, 2004.

CASTRO, R. M. G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada**. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico. Novembro, 2002.

CEPEL-CRESESB. **Atlas Solarimétrico do Brasil**. Recife. Editora Universitária da UFPE. 2000.

CEPEL-CRESESB. Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, CRESESB: 2014.

FUCHS, E. F. ; MASOUM, M. A. S. **Power Conversion of Renewable Energy Systems**. Springer, 2011.

LISITA, O. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**: Estudo de caso – 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-SP. São Paulo: USP, 2005. 87 p. Tese (Mestrado) – Instituto de Física, Programa de Mestrado em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

LUQUE, A; HEGEDUS, S. **Handbook of photovoltaic science and engineering**. Other Wiley Editorial Offices, 2002.

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RUTHER, R. **Pré-dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico**: Estudo de caso do edifício-sede do CREA-SC. São Paulo, 2009.

PALZ, W. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. Hemus, 2002.

PATEL, M. R. **Wind and Solar Power Systems**. CRC Press, 1999

REN 21. **Renewable Energy Policy Networks for the 21st Century**. Disponível em: <<http://www.ren21.net/>>. Acesso em 10 de Abril de 2016.

ROSA, A. V. **Fundamentals of Renewable Energy Processes**. Academic Press, 2009.

SAMANEZ, Carlos Patricio, **Engenharia econômica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

Sices Brasil. Disponível em: <<http://www.sicesbrasil.com.br/>>. Acesso em 10 de Maio de 2016.

## ANEXO A – DATASHEET DO MÓDULO FOTOVOLTAICO CANADIAN CS6P-265P



### QUARTECH CS6P-260 | 265 | 270P

Canadian Solar's new Quartech modules have significantly raised the standard of module efficiency in the solar industry. They introduced innovative four busbar cell technology, which demonstrates higher power output and higher system reliability. Worldwide, our customers have embraced this next generation of modules for their excellent performance, superior reliability and enhanced value.

#### NEW TECHNOLOGY

- Reduces cell series resistance
- Reduces stress between cell interconnectors
- Improves module conversion efficiency
- Improves product reliability

#### KEY FEATURES



- Higher energy yield**
- Outstanding performance at low irradiance
  - Maximum energy yield at low NOCT
  - Improved energy production through reduced cell series resistance



- Increased system reliability**
- Long-term system reliability with IP67 junction box
  - Enhanced system reliability in extreme temperature environment with special cell level stress release technology



- Extra value to customers**
- Positive power tolerance of up to 5 W
  - Stronger 40 mm robust frame to hold snow load up to 5400 Pa and wind load up to 2400 Pa
  - Anti-glare project evaluation
  - Salt mist, ammonia and blowing sand resistance apply to seaside, farm and desert environments\*

**CanadianSolar**



\*Black frame product can be provided upon request.



**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

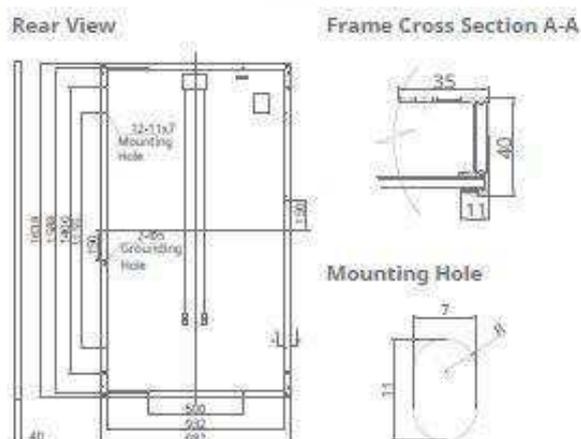
#### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215/IEC 61730: VDE/MCS/CE / JET/SII/CEC AU/INMETRO/CQC  
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / PSEC (US Florida)  
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS  
Take-e-way / UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1



**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.

## ENGINEERING DRAWING (mm)



## ELECTRICAL DATA / STC\*

CS6P	260P	265P	270P
Nominal Max. Power (Pmax)	260 W	265 W	270 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.4 V	30.6 V	30.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.56 A	8.66 A	8.75 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V	37.7 V	37.9 V
Short Circuit Current (Isc)	9.12 A	9.23 A	9.32 A
Module Efficiency	16.16 %	16.47 %	16.79 %
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ +5 W		

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

## ELECTRICAL DATA / NOCT\*

CS6P	260P	265P	270P
Nominal Max. Power (Pmax)	189 W	192 W	196 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	27.7 V	27.9 V	28.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.80 A	6.88 A	6.97 A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.5 V	34.7 V	34.8 V
Short Circuit Current (Isc)	7.39 A	7.48 A	7.55 A

\* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

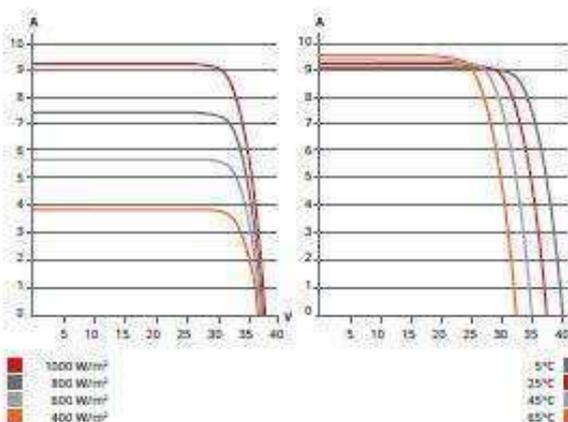
## PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiance, average relative efficiency of 96.5 % from an irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup> to 200 W/m<sup>2</sup> (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

## CS6P-265P / I-V CURVES



## MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6×10)
Dimensions	1638×982×40 mm (64.5×38.7×1.57 in)
Weight	18 kg (39.7 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC) or 4 mm <sup>2</sup> & 12AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in) (650 mm (25.6 in) is optional)
Connectors	Friends PV2a (IEC), Friends PV2b (IEC / UL)
Standard	26 pieces, 515 kg (1135.4 lbs)
Packaging	(quantity & weight per pallet)
Module Pieces per Container	728 pieces (40' HQ)

## 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

## PARTNER SECTION



Scan this QR-code to discover solar projects built with this module



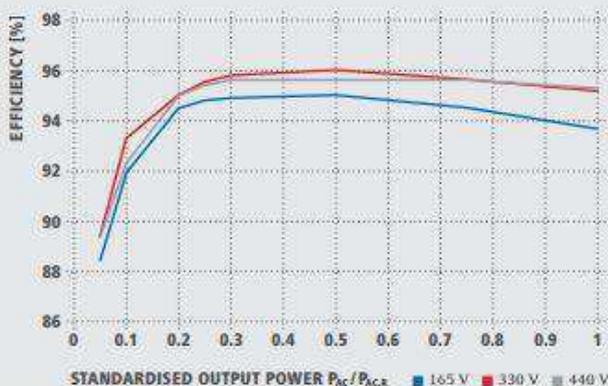
## ANEXO B – DATASHEET DO INVERSOR FRONIUS GALVO

## DADOS TÉCNICOS FRONIUS GALVO

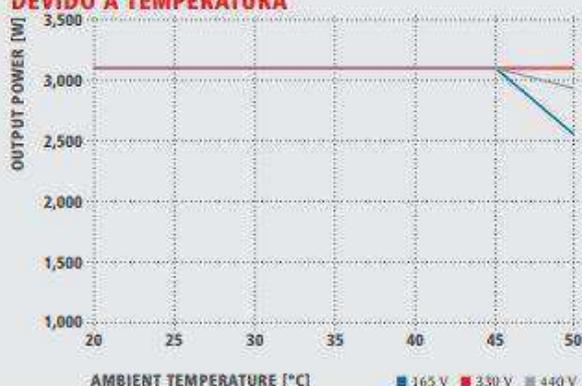
DADOS DE ENTRADA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 <sup>1)</sup>	GALVO 3.1-1
Potência CC máxima para cos φ=1	1,600 W	2,140 W	2,650 W	3,160 W	3,310 W
Máx. corrente de entrada	13.3 A	17.8 A	16.6 A	19.8 A	20.7 A
Máx. tensão de entrada	20.0 A	26.8 A	24.8 A	29.6 A	31.0 A
Faixa de tensão MPP	120 V			165 V	
Mín. tensão de entrada	120 V			165 V	
Feed-in tensão inicial	260 V			330 V	
Tensão nominal de entrada	420 V			550 V	
Max. (tensão de entrada (UDC max)	120 - 335 V			165 - 440 V	
Número de ligações CC			3		
DADOS DE SAÍDA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 <sup>1)</sup>	GALVO 3.1-1
Saída Nominal	1,500 W	2,000 W	2,500 W	3,000 W	3,100 W
Potência de saída máx.	1,500 VA	2,000 VA	2,500 VA	3,000 VA	3,100 VA
Corrente de saída máx.	7.2 A	9.7 A	12.1 A	14.5 A	15.0 A
Grid de conexão			1-NPE 230 V		
Tensão de saída mín.			180 V		
Tensão de saída máx.			270 V		
Frequência			50 Hz / 60 Hz		
Faixa de frequência			45 - 65 Hz		
Fator de distorção			< 4 %		
Fator de Potência			0.85-1 ind./cap.		
DADOS GERAIS	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 <sup>1)</sup>	GALVO 3.1-1
Dimensões (altura x largura x profundidade)			645 x 431 x 204 mm		
Peso			16.8 kg		
Grau de Proteção			IP 55		
Classe de Proteção			1		
Categoria de sobretensão (DC / AC)			2 / 3		
Consumo Noturno			< 1 W		
Conceito retificador			Transformador HF		
Resfriamento			Refrigeração de ar controlado		
Instalação			Montagem interna e externa		
Faixa de temperatura ambiente			-25 - +50 °C		
Umidade relativa permitida			0 a 100 %		
Tecnologia de conexão de rede			Parafuso terminal de conexão 2,5 mm <sup>2</sup> - 16 milímetros		
Principal tecnologia de conexão			Parafuso terminal de conexão 2,5 mm <sup>2</sup> - 16 milímetros		
Certificates and compliance with standards	OVE / ÖNORM E 8001-4-712, AS 4777-2, AS 4777-3, AS 53100, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1-2, IEC 62116, IEC 61727, CER 06-190, CEI 0-21, EN 50438, G83, G59, ABNT NBR 16149				

<sup>1)</sup> disponível para os países onde as restrições 3 kW aplicam. Mais informações sobre a disponibilidade dos inversores no seu país pode ser encontrada em [www.fronius.com.br](http://www.fronius.com.br)

## FRONIUS GALVO 3.1-1 CURVA DE EFICIÊNCIA



## REDUÇÃO DA POTÊNCIA DO FRONIUS GALVO 3.1-1 DEVIDO À TEMPERATURA



## DADOS TÉCNICOS FRONIUS GALVO

EFICIÊNCIA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 <sup>9)</sup>	GALVO 3.1-1
Max. eficiência	95,9 %	96,0 %		96,1 %	
Eficiência Europeia (ηEU)	94,5 %	94,9 %	95,2 %	95,4 %	95,4 %
η at 5 % P <sub>AC,ref</sub> <sup>1)</sup>	84,5 / 86,0 / 86,0 %	84,2 / 86,1 / 85,9 %	88,6 / 89,6 / 89,4 %	88,2 / 89,2 / 89,1 %	88,4 / 89,4 / 89,4 %
η at 10 % P <sub>AC,ref</sub> <sup>1)</sup>	87,5 / 89,7 / 89,6 %	89,6 / 91,4 / 91,3 %	91,2 / 92,3 / 91,4 %	91,8 / 93,1 / 92,1 %	91,9 / 93,3 / 92,3 %
η at 20 % P <sub>AC,ref</sub> <sup>1)</sup>	91,3 / 93,3 / 93,1 %	92,6 / 94,3 / 93,9 %	94,0 / 94,8 / 94,5 %	94,4 / 95,0 / 94,9 %	94,5 / 95,0 / 95,0 %
η at 25 % P <sub>AC,ref</sub> <sup>1)</sup>	92,4 / 94,1 / 93,9 %	93,3 / 94,9 / 94,5 %	94,5 / 95,1 / 95,0 %	94,8 / 95,5 / 95,3 %	94,8 / 95,5 / 95,4 %
η at 30 % P <sub>AC,ref</sub> <sup>1)</sup>	93,0 / 94,6 / 94,3 %	93,6 / 95,2 / 94,9 %	94,8 / 95,5 / 95,3 %	94,8 / 95,7 / 95,6 %	94,9 / 95,8 / 95,6 %
η at 50 % P <sub>AC,ref</sub> <sup>1)</sup>	93,9 / 95,5 / 95,2 %	94,3 / 95,8 / 95,2 %	95,0 / 95,7 / 95,2 %	95,0 / 96,0 / 95,5 %	95,0 / 96,1 / 95,6 %
η at 75 % P <sub>AC,ref</sub> <sup>1)</sup>	94,2 / 95,6 / 95,4 %	94,0 / 95,9 / 95,6 %	94,8 / 95,9 / 95,6 %	94,6 / 95,8 / 95,6 %	94,5 / 95,6 / 95,6 %
η at 100 % P <sub>AC,ref</sub> <sup>1)</sup>	94,0 / 95,9 / 95,6 %	93,5 / 95,6 / 95,5 %	94,4 / 95,7 / 95,5 %	93,9 / 95,4 / 95,3 %	93,7 / 95,2 / 95,3 %
MPP adaptação eficiente			> 99,9 %		
DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 <sup>9)</sup>	GALVO 3.1-1
Medição de isolamento CC		Alerta <sup>2)</sup> intercepção da luz solar (depende da configuração de cada país) com Riso < 600 kΩ			
Comportamento de sobrecarga		Mudança do ponto de operação, limitação da produção			
Disjuntos CC		Integrado			
INTERFACES	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 <sup>9)</sup>	GALVO 3.1-1
WLAN / Ethernet LAN		Fronius Solarweb / Fronius Solarweb, Fronius Modbus TCP, JSON			
6 inputs or 4 digital inputs/outputs		Interface com receptor de telecomando			
USB (A socket) <sup>3)</sup>		Para entradas USB			
2x RS422 (R)45 socket <sup>3)</sup>		Fronius Solar Net, protocolo In terface			
Signalling output <sup>4)</sup>		Gerenciamento de energia (saída de relé livre de potencial)			
Datalogger and Webserver		Integrado			

<sup>1)</sup> disponível para os países onde as restrições 3 kW aplicam. <sup>2)</sup> E a U<sub>app min</sub> / U<sub>dcv</sub> / U<sub>app max</sub>. <sup>3)</sup> também disponível na versão simples. Mais informações sobre a disponibilidade dos inversores no seu país pode ser encontrada em [www.fronius.com.br](http://www.fronius.com.br)