

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

GUSTAVO SOARES DE ALENCAR



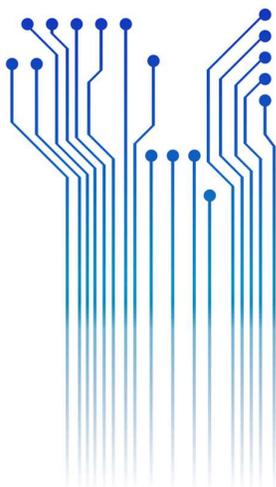
Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE DO MERCADO E DA VIABILIDADE DA ENERGIA FOTOVOLTAICA



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2017

GUSTAVO SOARES DE ALENCAR

ANÁLISE DO MERCADO E DA VIABILIDADE DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em
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: Sistemas Elétricos de Potencia

Célio Anésio da Silva, D.Sc.

Orientador

Campina Grande
2017

GUSTAVO SOARES DE ALENCAR

ANÁLISE DO MERCADO E DA VIABILIDADE DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Graduação em 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: Sistemas Elétricos de Potência

Aprovado em / /

Professor Leimar de Oliveira
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Célio Anésio da Silva, D.Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família, amigos e namorada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, que mesmo com dificuldades me proporcionou uma boa educação além de suporte financeiro.

Agradeço a Prefeitura Municipal de Boqueirão, que independente da gestão sempre proveu o transporte para que eu e muitos outros tivéssemos a oportunidade de cursar o ensino superior.

Ao governo federal, que me concedeu a oportunidade nunca imaginada que durante a graduação um rapaz do interior da Paraíba conhecesse o exterior.

Ao professor Célio Anésio, pela disponibilidade para orientar este trabalho e pelo exemplo de professor que é.

A todos os professores que fizeram parte de minha formação, desde o primeiro dia de aula até o presente momento. Em especial aos professores do curso de Engenharia Elétrica que sempre se esforçaram para passar o conhecimento necessário.

A minha namorada Ana Gabriela, que sempre me motivou apesar das dificuldades e que mesmo sem saber foi minha inspiração para terminar este curso.

Aos amigos que sempre estiveram presentes e que sempre fizeram das horas mais difíceis motivos de brincadeiras e risos.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“Eu sou da Paraíba é meu esse lugar
A cara desse povo tem a minha cara
Encanto de beleza que me faz sonhar
Lugar tão lindo assim pra mim é joia rara”*

Ton Oliveira.

RESUMO

Este trabalho contém um estudo geral sobre os sistemas fotovoltaicos, tanto no aspecto teórico quanto em um estudo de caso para ilustrar o problema. O estudo de caso aqui abordado acontece de duas maneiras, a primeira de maneira analítica e a segunda com apoio do software PVSyst. Ainda sobre o estudo de caso, é levantado o aspecto econômico deste estudo e a avaliação da viabilidade para a implementação deste estudo para diferentes modalidades tarifárias. Aborda também o estudo do mercado nacional e internacional do setor, apresentado um levantamento histórico das principais políticas nacionais adotada afim de incentivar esse mercado.

Palavras-chave: Energia Elétrica, energia solar fotovoltaica, PVSyst.

ABSTRACT

This work contains a general study about photovoltaic systems, such on the conceptual perspective well as a case study to illustrate the problem. The case study addressed here happens in two ways, the first way is an analytical study and the second one with PVSyt helps. Still, on the case study, we looked the economic perspective and made an evaluation of the implementation of the case study to different tariff categories. It also covers the study of the national and international market for photovoltaic systems, presenting a historical survey of the main national policies adopted in order to stimulate this market.

Keywords: Electric Power, photovoltaic solar energy, PVSyst.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Ilustração do Satélite GPM no espaço	14
Figura 2.1 - Recursos e Consumo de Energia do Mundo	18
Figura 2.2 - Radiação Solar Global Horizontal Média anual	19
Figura 2.3 - Célula de Silício.....	20
Figura 2.4 - Custo da energia solar por Watt	20
Figura 2.5 - Lei de Swanson e Produção de células fotovoltaicas.....	20
Figura 2.6 - Arranjo de Células formam um Modulo Fotovoltaico.....	21
Figura 2.7 - Coeficientes de temperatura	22
Figura 2.8 -Tipos de sistemas fotovoltaicos	25
Figura 2.9 - Sistema conectado à rede.....	26
Figura 3.1 - Importância do setor fotovoltaico na matriz energética de determinados países em 2015	28
Figura 3.2 - Estados que aderiram ao convenio ICMS 16/2015	32
Figura 4.1 - Simulador de Investimentos do FNE SOL.....	38
Figura 5.1 - SWERA, busca dos dados solarimetricos	43
Figura 5.2 - Tipos de Kits ofertados pela BRASOLIS	45
Figura 5.3 - Área de Trabalho do PVSyst.....	49
Figura 5.4 - Orientação dos módulos fotovoltaicos.....	50
Figura 5.6 - Esquema do projeto apresentado pelo PVSyst.....	52
Figura 5.7 - Resultado da simulação no PVSyst.....	52
Figura 5.8- Gráfico PayBack X Tarifação.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas.....	21
Tabela 3.1 - 10 Países por instalação e por capacidade instalada em 2015	29
Tabela 3.2 - Comparação entre o número de sistemas conectados à rede entre o final de 2015 e o início de 2017	33
Tabela 3.3 - Número de conexões por fonte em 2015	35
Tabela 4.1 - Bancos que oferecem financiamento para energia distribuída	38
Tabela 4.2 - Planos de consórcio da Bluesol	41
Tabela 5.1 - Demanda anual da residência escolhida	43
Tabela 5.2 - Dados solarimétricos e de Temperatura	44
Tabela 5.3 - Especificações para o módulo UP-M265P	46
Tabela 5.4 - Dados técnicos do Inversor selecionado.....	47
Tabela 5.5 - Comparação das condições de operação	50
Tabela 5.6 - Geração Prevista para o sistema	53
Tabela 5.7 - Impostos aplicados a Energia elétrica residencial na Paraíba.....	54
Tabela 5.8 - Consumo e geração anual.....	55
Tabela 5.9 - Viabilidade financeira do projeto	56
Tabela 5.10 - Grupos de interesse para a energia solar fotovoltaica na Paraíba	58

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
Lista de Ilustrações.....	ix
Lista de Tabelas.....	x
Sumário.....	xi
1 Introdução.....	14
1.1 Motivações e Objetivos.....	15
1.2 Estrutura do trabalho.....	15
2 Sistema Fotovoltaico.....	17
2.1 Recurso Solar.....	17
2.2 Células Fotovoltaicas.....	19
2.3 Módulos Fotovoltaicos.....	21
2.4 Painel Fotovoltaico.....	23
2.5 Inversores.....	23
2.6 Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos.....	24
2.6.1 Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFI).....	24
2.6.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR).....	25
3 o mercado fotovoltaico.....	27
3.1 mercado internacional.....	27
3.2 Evolução das políticas brasileiras.....	29
3.3 Perspectivas para o futuro do cenário nacional.....	34
4 Financiamentos e consórcios.....	36
4.1 FNE SOL e outros financiamentos.....	37
4.2 Consórcios.....	40
5 Estudo de Caso.....	42
5.1 Dimensionamento.....	42
5.2 O sistema.....	45
5.3 PVSyst.....	49
5.4 Análise Energética do Sistema.....	53
5.5 Análise Econômica do Sistema.....	54
6 Conclusões.....	59
Referências.....	60
APÊNDICE A – Relatório PVSyst.....	62
Apêndice B – Orçamento do projeto.....	66

1 INTRODUÇÃO

O homem continua a buscar novas formas de energia para auxiliar o desenvolvimento de sua espécie, uma das fontes promissoras é a energia solar, uma vez que é uma fonte praticamente inesgotável quando comparamos a escala de tempo terrestre.

Uma das formas mais conhecidas de energia solar, e que será abordada nesse trabalho, é a energia solar fotovoltaica. O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839 por Edmond Becquerel, porém apenas em 1956 iniciou-se sua produção industrial.

O desenvolvimento desta tecnologia ocorreu a passos lentos, e se deve principalmente a alguns agentes impulsionadores:

- As empresas de telecomunicações, que buscavam fontes energéticas para sistemas instalados em localidades remotas;
- A corrida espacial, uma vez que foi constatado que a célula fotovoltaica tinha as indicações necessárias para trabalhar no espaço como mostrado na Figura 1.1;
- Interesse global por energias não poluentes;
- Possibilidade de geração perto da carga de consumo, evitando assim perdas por transmissão e necessidade de criação de novas linhas de transmissão.

Figura 1.1 - Ilustração do Satélite GPM no espaço



Fonte: Divulgação/NASA

O interesse pelas placas fotovoltaicas terrestres foi alavancado em 1973 com a crise do petróleo, entretanto as mesmas se mostraram economicamente inviáveis uma vez que seu custo de fabricação ainda se mostrava pelo menos 100 vezes mais caro do que outras fontes. Outro fator que segurava o desenvolvimento da tecnologia era que os Estados Unidos detinham boa parte da tecnologia até o final da década de 90, entretanto devido ao protocolo de Kyoto países como Japão e Alemanha começaram a investir muito nesse mercado.

Devido a necessidade de auxiliar o crescimento da produção energética de forma mais limpa e sustentável muitos países vêm adotando medidas para a implementação dos sistemas fotovoltaicos, sejam eles em grandes centrais ou de forma distribuída. Devido a essa rápida expansão da tecnologia, diferentes políticas têm sido criadas através do globo afim de fomentar o mercado e a tecnologia do setor fotovoltaico.

1.1 MOTIVAÇÕES E OBJETIVOS

O presente trabalho foi motivado pelo interesse no grande crescimento da indústria solar fotovoltaica e a busca pelo entendimento do mesmo.

Como objetivos destacam-se:

- O estudo básico sobre o sistema fotovoltaico;
- O estudo do mercado de energia solar fotovoltaica e suas previsões de mercado;
- O estudo das principais fontes de captação de recursos para a implementação dos sistemas;
- Estudo da viabilidade do investimento para sistemas residências.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além deste capítulo introdutório, este trabalho está organizado com a seguinte estrutura:

- No capítulo 2, apresenta-se a fundamentação teórica do trabalho desenvolvido, com os conceitos fundamentais sobre o sistema fotovoltaico.

- No capítulo 3 é exposta as principais políticas tarifárias internacionais utilizadas sobre sistemas de geração distribuída. Também é apresentado o cenário nacional com a evolução das principais políticas adotadas em nosso país.
- No capítulo 4 apresenta-se as principais fontes de capitações de recursos afim de se investir em tecnologias renováveis, sobretudo geração de energia por meios fotovoltaicos.
- No capítulo 5 é realizado um estudo de caso, que tem como objetivo analisar a viabilidade econômica da implementação de sistemas residenciais fotovoltaicos.
- Por fim, as conclusões deste estudo são apresentadas no capítulo 6.

2 SISTEMA FOTOVOLTAICO

2.1 RECURSO SOLAR

O sol é a fonte da vida na terra, através dele recebe-se o calor e energia necessária para a manutenção da vida. Ele é basicamente um grande reator nuclear que gera uma enorme quantidade de energia e a libera no espaço, sua principal fonte de energia são os átomos de hidrogênio que são transformados em átomos de hélio através do processo de fusão.

Devido a distância entre o sol e terra, com também o tamanho da mesma, apenas uma pequena parte dessa energia chega ao nosso planeta, esta parte corresponde à aproximadamente duas partes de milhão da energia total expelida pelo sol, esta pequena fração corresponde a $10^{21} kWh/ano$. Por esse motivo quase todas as formas de energia disponíveis na terra são de origem (indireta) solar. Exemplos disto são a energia hidráulica, eólica, biomassa e combustíveis fósseis são apenas uma amostra disso.

É fato que a energia enviada pelo sol a terra é em muitas vezes maior que o consumo mundial tão tal que segundo Pinho e Galdino (2014) em apenas duas horas de energia solar recebida na superfície terrestre (188 mil TWh) teria um valor superior do que o consumo anual da humanidade no ano de 2011 (143 mil TWh). Essa grande quantidade de energia fornecida pode ser verificada nos dados da Petrobras de 2010, onde foram representados de forma gráfica na figura 2.1. Já segundo o conselho energético global de 2013 se apenas 0,1% da energia que alcança a superfície solar fosse convertida com uma eficiência de 10% teria-se bem mais energia que o necessário para a humanidade.

Obviamente é praticamente impossível saber o quanto de irradiação solar atingirá determinada parte do planeta em um determinado momento devido ao grande número de fatores aleatórios que compõe o clima. Entretanto estudos históricos/estatísticos têm sido levantados afim de determinar a irradiação media sobre a terra. Estes estudos contam principalmente com imagens de satélites geoestacionários e são comprovados por estações em terra.

No caso do Brasil, universidades, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e diversas outras instituições tem se esforçado para obter dados cada vez mais

precisos, contudo, devido a extensão do território nacional o tamanho dos dados coletados ainda se mostra insuficiente. Devido a este problema, técnicas de estimação têm sido continuamente aprimoradas afim de se obter uma cobertura mais abrangente.

Figura 2.1 - Recursos e Consumo de Energia do Mundo



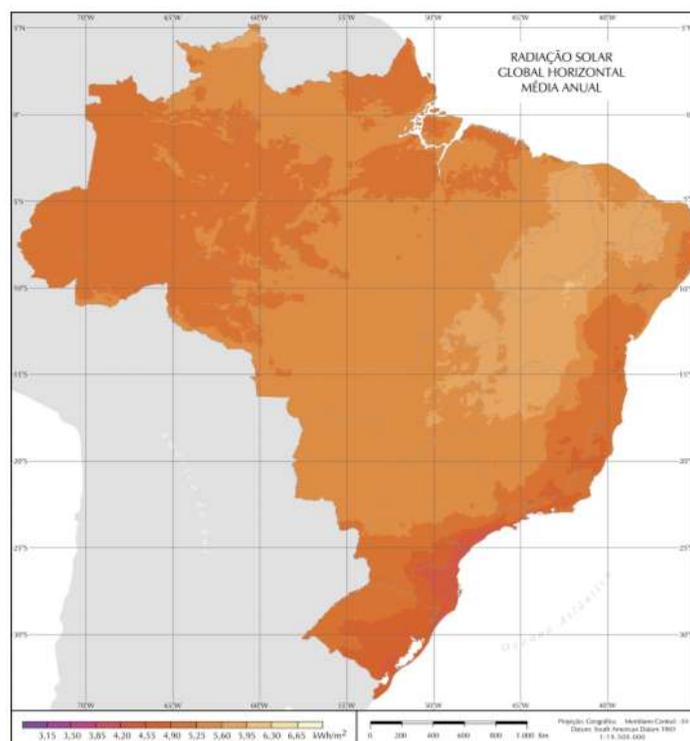
Fonte: Petrobras 2010

Alguns dos estudos brasileiros merecem destaque pelo seus esforços e qualidade, dentre estes podemos destacar:

- Atlas de Irradiação solar no Brasil, que foi um projeto pioneiro utilizando um modelo físico de transferência da radiação solar através da atmosfera que foi nomeado BRASIL-SR;
- Atlas Solarimétrico do Brasil, publicado no ano 2000 pela Universidade Federal de Pernambuco;
- Atlas Brasileiro de Energia Solar, tendo sua primeira publicação no ano de 2006 e base de dados para o SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) das Nações Unidas, este mapa está representado na Figura 2.2;

Existem outras fontes, cada uma com sua peculiaridade e grau de precisão. Cada caso deve ser estudado especificamente para que se possa escolher a fonte de dados mais fidedigna uma vez que a qualidade do projeto é fruto direto da irradiação solar no plano da terra.

Figura 2.2 - Radiação Solar Global Horizontal Média anual



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar

2.2 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

As células fotovoltaicas (Figura 2.4) são as unidades básicas do sistema fotovoltaico, elas são responsáveis pela conversão da radiação solar em eletricidade. A essa conversão dar-se o nome de efeito fotovoltaico, que foi descoberto em 1839. Contudo, as primeiras células fotovoltaicas foram construídas em 1950 nos Laboratórios Bell, nos Estados Unidos.

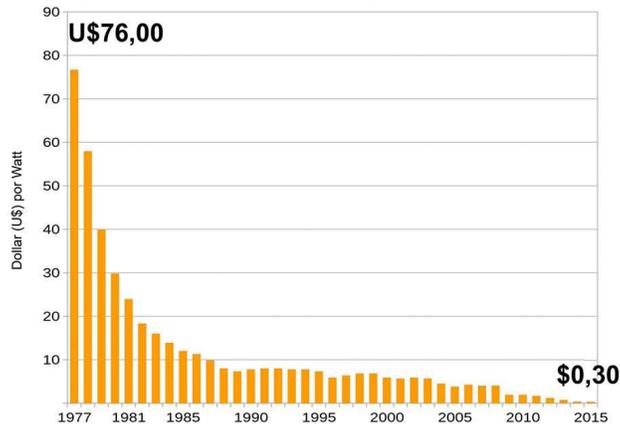
Segundo Richard Swanson “os preços das células solares tendem a cair 20% para cada vez que se dobra a produção das mesmas”, essa afirmação é representada na Figura 2.5. A Lei de Swanson é também conhecida como a regra dourada para as células fotovoltaicas. Em 1970 o preço do watt-pico (potência nas condições padrões de ensaio) tinha valor em torno de US\$ 150,00, contudo através de melhores métodos e massificação da fabricação o valor de dólares por watt decaiu exponencialmente assim como previu Swanson.

Figura 2.3- Célula de Silício



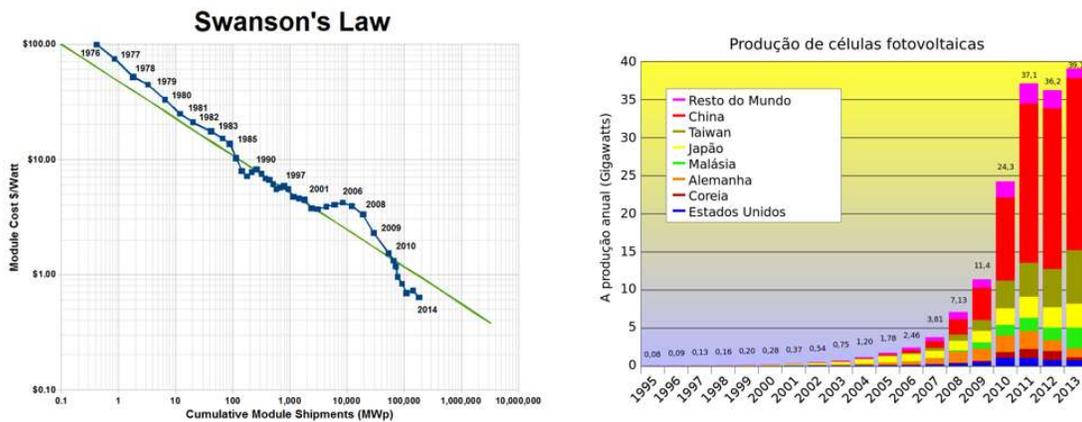
Fonte: <http://etoiledumarin.over-blog.com/article-comment-fonctionne-une-cellule-photovoltaique-124044809.html>

Figura 2.4 - Custo da energia solar por Watt



Fonte: <http://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.html>

Figura 2.5 - Lei de Swanson e Produção de células fotovoltaicas



<https://us.sunpower.com/home-solar/solar-cell-technology-solutions/>

Muitas tecnologias foram desenvolvidas nos últimos anos, como podem ser vistas na Tabela 2.1, para o desenvolvimento das células fotovoltaicas, sendo as tecnologias de lamina de silício (monocristalino ou policristalino) dominantes no mercado atual. Estudos apontam que esta tecnologia deve ocupar cerca de 88% do mercado mundial. O restante do mercado é dividido entre telureto de cádmio (CdTe), disseleno de cobre índio e gálio (CIGS), silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), silício microcristalino ($\mu\text{-Si}$) e silício crescido de fitas (Si-fitas).

Tabela 2.1 Eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas

Material	Eficiência em Laboratório	Eficiência em produção
Silício Monocristalino	24,7%	18%
Silício Policristalino	19,8%	15%
Silício Amorfo	13%	10,5%
CIS, CIGS	18,8%	14%
CdTe	16,4%	10%

Fonte: adaptado de "Introdução aos Sistemas Fotovoltaico"

2.3 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Devido à potência de uma única célula fotovoltaica, normalmente elas são conectadas entre si com o objetivo de alcançar potências comerciais. A esse conjunto de células conectadas entre si, dar-se o nome de módulos fotovoltaicos que são a forma mais comum de comercialização de sistemas fotovoltaicos.

Figura 2.6 - Arranjo de Células formam um Modulo Fotovoltaico



Fonte: <https://www.solar-electric.com/solartech-spm130p-wp-24v-130-watt-multicrystalline-solar-module.html>

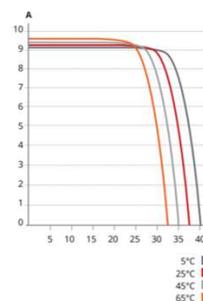
Cada modelo de modulo fotovoltaico tem suas características peculiares, isso acontece devido a forma de arranjo e tecnologia utilizada em suas células. No mercado, geralmente, são apresentados apenas por sua potência-pico (Wp) e pelo tipo de célula. Contudo, existem outros fatores que devem ser levados em consideração na hora do projeto, alguns desses parâmetros são apresentados abaixo:

- **Tensão de Máxima Potência (Vmpp):** Sob condições padrão de teste (STC, Standard Test Conditions), essa é a máxima tensão que o modulo irá gerar em seu ponto de máxima potência.
- **Tensão em Circuito Aberto (Voc):** É a tensão máxima que o modulo fornecerá em seus terminais com a ausência de cargas, isto é, a vazio.
- **Corrente Em Máxima Potência (Impp):** Esta é a corrente máxima que o modulo pode fornecer a uma carga em STC.
- **Corrente de Curto Circuito (Isc):** Corrente máxima fornecida pela placa em curto circuito em condições STC.
- **Eficiência:** É a divisão entre a potência fornecida pelo modulo e a potência (irradiância) incidente sobre o modulo.
- **Potência máxima (Pmax):** A potência máxima será fornecida quando o circuito externo tiver uma determinada resistência, de tal sorte que determine os valores máximos de tensão e corrente. Para isso existem aparelhos chamados *Seguidores Do Ponto De Máxima Potência* (Mpp trackers) que conseguem levar o modulo ao ponto de máxima potência (MPP Maximum Power Point).
- **Coefficientes de Temperatura:** Os coeficientes de temperatura, mostram como a variação da temperatura afeta a Pmax, Voc e Isc.

Figura 2.7 - Coeficientes de temperatura

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



Fonte: folha de dados do modulo CS6P-260|265|270P da Canadian Solar

2.4 PAINEL FOTOVOLTAICO

Assim como as células fotovoltaicas, normalmente um único módulo fotovoltaico não é suficiente, se tornando necessário o uso em conjunto de diversos módulos. A esse conjunto se dá o nome de painel fotovoltaico.

Pode-se associar os módulos fotovoltaicos em série ou em paralelo. Quando associados em série as tensões dos módulos se somam, sendo assim a tensão do painel fotovoltaico será a soma da tensão dos módulos e a corrente será a mesma em todos os módulos, devido a este motivo é extremamente recomendável que não se associe módulos fotovoltaicos diferentes. No caso de módulos conectados em paralelo, a tensão do painel será a mesma tensão dos módulos, entretanto a corrente total do painel será a soma da corrente de cada modulo. Contudo devido as necessidades, e melhores aplicações, podem ser feitas associações mistas.

2.5 INVERSORES

O inversor é o responsável pela transformação de energia de corrente continua (c.c) para corrente alternada (c.a). Esta é uma tarefa extremamente complexa, uma vez que o lado c.a. deve ter amplitude, frequência e componentes harmônicas adequadas as cargas que serão alimentadas e, em alguns casos, a rede elétrica.

Uma vez que o inversor tem grande importância no sistema fotovoltaico, algumas características devem ser estudadas antes da aquisição de um:

- **Eficiência:** Este valor é medido com a relação da potência de saída (c.a.) e a potência de entrada (c.c). A eficiência destes inversores é variável, sendo 94% a eficiência mínima aceitável.
- **Segurança:** Existem diversos critérios de segurança que são adotados pela ABNT, a principal delas é a proteção contra ilhamento, que diz que em hipótese de falta de energia na rede, o inversor não deve continuar trabalhando. Está proteção contra ilhamento serve para manter a segurança de pessoas que venham a trabalhar na rede.
- **Qualidade de energia:** Deve-se também atentar a qualidade de energia fornecida por esse inversor, a ANEEL e todas as distribuidoras fornecem

dados precisos da quantidade aceitável de harmônicos injetados na rede. Esses dados são extremamente importantes uma vez que as distribuidoras não aceitaram determinados tipos de inversores.

Outras características devem ser levadas em conta, como a compatibilidade com o tamanho do sistema fotovoltaico. Atualmente a maioria dos inversores contam com uma boa Interface Homem Máquina (IHM), permitindo assim monitorar o sistema, fornecendo dados horários da geração, qualidade de energia entre outros.

2.6 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser implementados em basicamente qualquer lugar, sendo a sua única restrição a radiação solar incidente sobre o local. Têm como grandes vantagens sobre outras fontes a não necessidade de combustíveis e a baixa manutenção, essa última devido a inexistência de partes moveis. Com isso não emitem nenhum tipo de ruído (seja acústico ou eletromagnético), não geram nenhum tipo de poluição e é considerada a fonte que mais se adapta ao ambiente.

Os sistemas fotovoltaicos são classificados em diversas maneiras, a mais conhecida destas classificações divide os sistemas fotovoltaicos em dois, os conectados e não conectados à rede, também conhecidos como sistemas On-Grid e Off-Grid demonstrados esquematicamente na Figura 2.8. Essa definição basicamente diz se o sistema está atrelado ou não a rede de distribuição proveniente da concessionária.

2.6.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS (SFI)

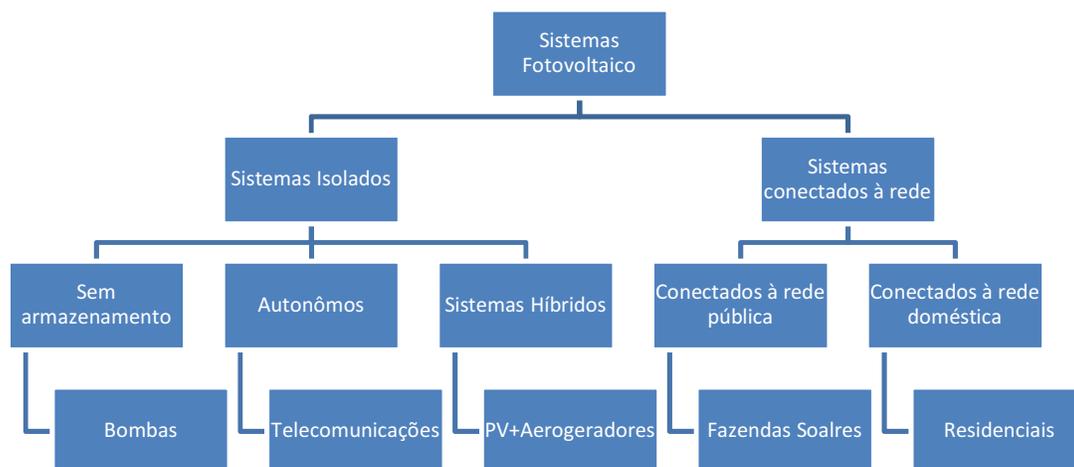
Os sistemas fotovoltaicos que não estão conectados à rede de distribuição são conhecidos como sistemas isolados. Estes podem ser divididos em:

- **Sistemas sem armazenamento:** Sistemas que funcionam apenas durante as horas de sol. Pode-se citar como exemplo alguns sistemas de bombeamento.
- **Sistemas autônomos:** Estes sistemas possuem baterias afim de armazenar energia para que o sistema continue operando em momentos em que não há radiação solar. Estes sistemas podem ser pequenos afim de alimentar pequenas estações de medição de velocidade, por exemplo, ou grandes

sistemas com centenas de baterias com intuito de prover energia para uma residência ou uma comunidade inteira.

- **Sistemas híbridos:** São sistemas compostos por duas ou mais fontes, por exemplo módulos solares e um aere gerador. Podem ter armazenamento ou não.

Figura 2.8 -Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.



Fonte: Adaptado de “Os sistemas de Energia Fotovoltaica”.

2.6.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)

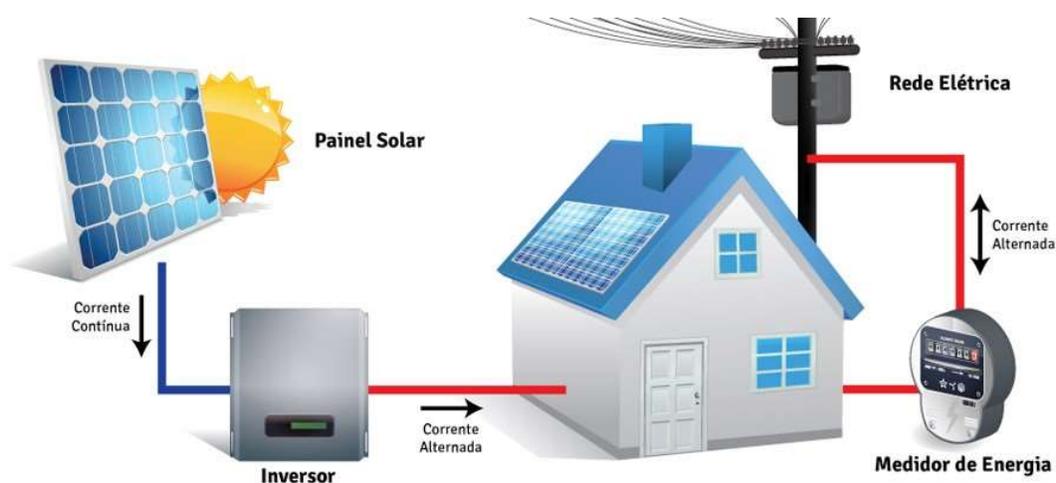
Os sistemas conectados à rede também conhecidos como On-Grid ou Grid-tie é o sistema fotovoltaico mais utilizado atualmente, sua estrutura foi feita para trabalhar junto com a concessionaria de energia elétrica, extinguindo assim a necessidade da criação de bancos de baterias estacionarias, que são um problema para os sistemas isolados, uma vez que são caras e tem uma vida útil muito abaixo da vida útil do estante do sistema, tornando-as assim inviável em grande parte das aplicações.

Neste modelo, durante o dia os módulos fotovoltaicos geram energia de natureza continua, que por sua vez é injetada em um inversor (especifico para aplicações de energia fotovoltaica), o qual transforma está energia de tal maneira que ela pode ser ligada em paralelo com o resto do sistema. Essa energia é encaminhada para as cargas, caso a mesma

seja gerada em excedente ela é injetada na rede elétrica, fazendo o seu medidor “medir ao contrário”. O esquema do sistema conectado à rede pode ser visto na Figura 2.9. Este sistema é muito eficaz, uma vez que em momentos de ausência de sol, a rede elétrica se encarregará de suprir as necessidades energéticas da carga.

Existem diversas formas de tarifação para os consumidores que se valem da energia solar fotovoltaica. No Brasil o sistema adotado tem forma de compensação tarifária onde a energia consumida da concessionária é compensada com a energia injetada na rede elétrica. Este sistema é conhecido como *net metering*. Este modelo de tarifação, juntamente com outros serão vistos mais detalhadamente nas seguintes seções.

Figura 2.9 - Sistema conectado à rede



Fonte: Carnielo construtora

No próximo capítulo contempla-se o do mercado solar fotovoltaico, tanto um contexto internacional quanto o comportamento e evolução do mercado nacional juntamente com suas políticas.

3 O MERCADO FOTOVOLTAICO

3.1 MERCADO INTERNACIONAL

Na última década o mundo mudou o seu olhar sobre as fontes de energia distribuída. Essas, uma vez já foram vistas como caras, desnecessárias e inaplicáveis aos sistemas elétricos, hoje são vistas como o futuro para a geração de energia elétrica uma vez que tem diversas vantagens sobre o modelo atual. Alguns pontos que vem dando força a esse tipo de geração estão listados abaixo:

- Limpas, uma vez que não emitem poluentes que intensificam as mudanças climáticas e prejudicam a saúde das pessoas;
- Barateamento e aumento da eficiência dos materiais necessários para a implantação dos sistemas;
- Encarecimento das fontes comuns de energia;
- Maior estabilidade para os sistemas elétricos;
- Diminuição das perdas de energia por transmissão, uma vez que a energia é consumida onde é produzida;
- Possibilidade de baixo investimento, quando comparado a grandes centrais de energia;
- Grande quantidade de geração de empregos de forma distribuída em um país;
- Diversificação das fontes de energia;

Devido a essas e várias outras vantagens, governos ao redor do mundo têm criado políticas com o intuito de ajudar a massificação das fontes de energias distribuídas. O setor fotovoltaico tem recebido diversos incentivos, especialmente por ser dentre as fontes de energia distribuída aquela que mais se adapta aos grandes centros de carga. Além disso, dessas novas fontes é aquela que gera mais empregos devido a sua estrutura de implantação.

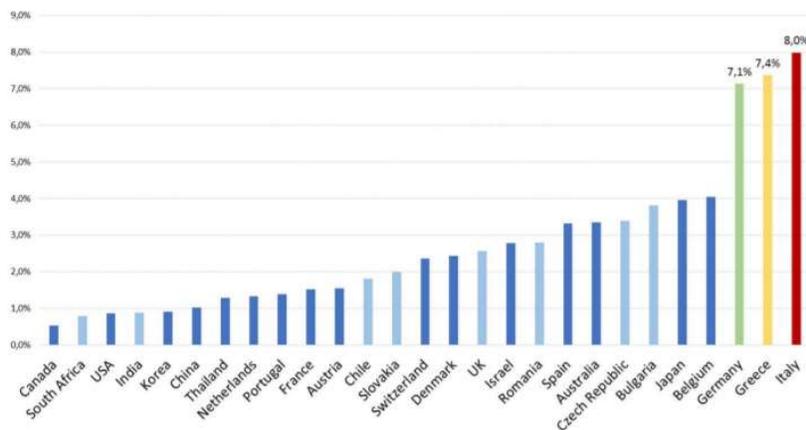
A principal política de apoio as fontes de geração distribuída é a regulamentação e melhoria da forma de tarifação dessas fontes, uma vez que as mesmas são conectadas

as redes de distribuição. As duas formas de tarifação mais famosas são a de **Tarifa prêmio (feed-in tariff)** e a **tarifa de compensação (net meteting)** ambas explicadas abaixo:

- Tarifa prêmio (Feed-In Tariff): Essa forma de tarifação é utilizada por cerca de 50 países do mundo. É uma maneira eficiente e inteligente de aumentar o mercado de energia fotovoltaica, uma vez que o valor do kWh gerado é mais caro que o valor do kWh consumido tornando assim o sistema fotovoltaico muito mais atrativo pela sua diminuição efetiva de payback. Entretanto, a tarifa prêmio requer um esforço dos demais consumidores ou dos governos para suprir o subsidio gerado;
- Tarifa de compensação (Net meteting): Este é o modelo de tarifação adotado pelo Brasil, garantido na RN 482/2012, onde se estipula que a energia gerada tem o mesmo valor da energia consumida, sendo que a energia gerada pode servir como empréstimo para a concessionária. Este modelo geralmente é aplicado após o mercado já está consolidado.

Por muitos anos o crescimento do setor fotovoltaico estava ligado com o desenvolvimento europeu, como pode ser visto na Figura 3.1, onde a energia solar fotovoltaica representa uma parcela significativa na matriz energética nacional de diversos países, porém nos últimos anos o crescimento do setor se dá especialmente pela grande expansão dessa fonte no mercado Asiático, com grandes destaques para a China e o Japão como demonstrado na Tabela 3.1.

Figura 3.1 - Importância do setor fotovoltaico na matriz energética de determinados países em 2015.



Fonte: Global Photovoltaics Markets

Tabela 3.1 - 10 Países por instalação e por capacidade instalada em 2015.

Países que mais instalaram energia solar em 2015			Países com maior capacidade instalada até 2015	
1	China	15,2GW	China	43,5GW
2	Japão	11GW	Alemanha	39,7GW
3	USA	7,3GW	Japão	34,4GW
4	Reino Unido	3,5GW	USA	25,6GW
5	Índia	2GW	Itália	18,9Gw
6	Alemanha	1,5GW	Reino Unido	8,8GW
7	Coreia do Sul	1GW	França	6,6GW
8	Austrália	0,9GW	Espanha	5,4GW
9	França	0,9GW	Austrália	5,1GW
10	Canada	0,6GW	Índia	5GW

Fonte: Adaptado de Snapshot of a Global Photovoltaics Markets

A cada ano o mundo vem percebendo a importância da energia fotovoltaica e os respectivos benefícios na utilização dessa fonte em sua matriz energética, isso pode ser comprovado pelo amplo aumento de crescimento na utilização desta fonte nos últimos anos que passou de 2.6 TWh em 2004 para 253 TWh em 2015 correspondendo a 1,05% da produção da energia elétrica global e segundo a International Energy Agency (IEA) até 2050 a energia solar fotovoltaica corresponderá a 16% da geração de energia global.

3.2 EVOLUÇÃO DAS POLÍTICAS BRASILEIRAS

Em 23 de outubro de 1991 o então presidente Fernando Collor passava a lei de número 8.248, também conhecida como “lei da informática”, a qual estabelecia barreiras alfandegarias à importação de equipamentos com o intuito de desenvolver a tecnologia da indústria nacional. Infelizmente devido a esta lei os módulos fotovoltaicos sofreram barreiras para entrar no país uma vez que sua composição se baseava em silício monocristalino.

Afim difundir o conhecimento sobre energias renováveis, foi criado o Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito (CRESESSB), através do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e o Ministério de Minas e Energia

(MME) em 1994. O CRESESSB também adquiriu outras funções com o passar do tempo, por exemplo, hoje mantem uma grande base de dados solarimetricos em seu site.

Apesar de diversos esforços individuais, com o passar do tempo pouco se utilizou e pouco se produziu efetivamente em prol da energia solar fotovoltaica em território nacional. Esse quadro começou a mudar efetivamente em 2011, através da chamada da ANEEL nº.13/2011 intitulada de “Arranjos técnicos e comerciais para a inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira”. Essa chamada teve diversos objetivos que focavam em ajudar o desenvolvimento da tecnologia no território nacional, alguns desses objetivos são destacados abaixo:

- Facilitar a inserção da geração fotovoltaica na matriz energética nacional;
- Incentivar a cadeia produtiva da indústria solar fotovoltaica;
- Fomentar o treinamento e capacitação de técnicos especializados neste tema em universidade, escolas técnicas e empresas;
- Propiciar a capacitação laboratorial em universidades, escolas técnicas e empresas nacionais;
- Estimular a redução dos custos da geração solar fotovoltaica com vistas a promover sua competição com as demais fontes de energia;
- Propor e justificar aperfeiçoamentos regulatórios tributários que favoreçam a viabilidade econômica da geração solar fotovoltaica.

Devido principalmente a chamada de nº.13/2011 foi implementado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), o Grupo de Trabalho de Sistemas Fotovoltaicos que tem por objetivo analisar e etiquetar todas os componentes utilizados em sistemas fotovoltaicos. Este grupo segue rigorosamente os critérios presentes em “Requisitos de Avaliação de Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica” publicado na Portaria do INMETRO nº4/2011.

Mesmo a primeira conexão de um sistema fotovoltaico com a rede elétrica nacional ser datada de 1995, devido a poucos investimentos e falta de regulamentação esse número demorou a aumentar, porém, devido a Resolução Normativa (REN) Nº 482, de 17 de abril de 2012 o cenário para as conexões de sistemas distribuídos a rede começou a mudar. A REN Nº482/2012 estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída, além de estabelecer o sistema de compensação de energia elétrica.

Projetando um aumento no número de conexões a rede foi implementado na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) no ano de 2013 duas normas baseadas nas normas da *International Electrotechnical Commission* (IEC). Com isso tem-se a NBR 1649 “Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição” e a NBR 19150 “Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – procedimentos de ensaios de conformidade”. Como visto pelos nomes, ambas as normas se complementam de tal forma que seu estudo é extremamente importante para a implementação de sistemas fotovoltaicos uma vez que as mesmas se mantem em vigor.

Em 2014 houve o primeiro leilão da ANEEL em que fontes solares participaram como produto exclusivo. Este foi inspirado em leilões anteriores que aconteceram apenas para a energia eólica. O que foi muito comemorado pelo mercado nacional uma vez que serviu de incentivo ao setor.

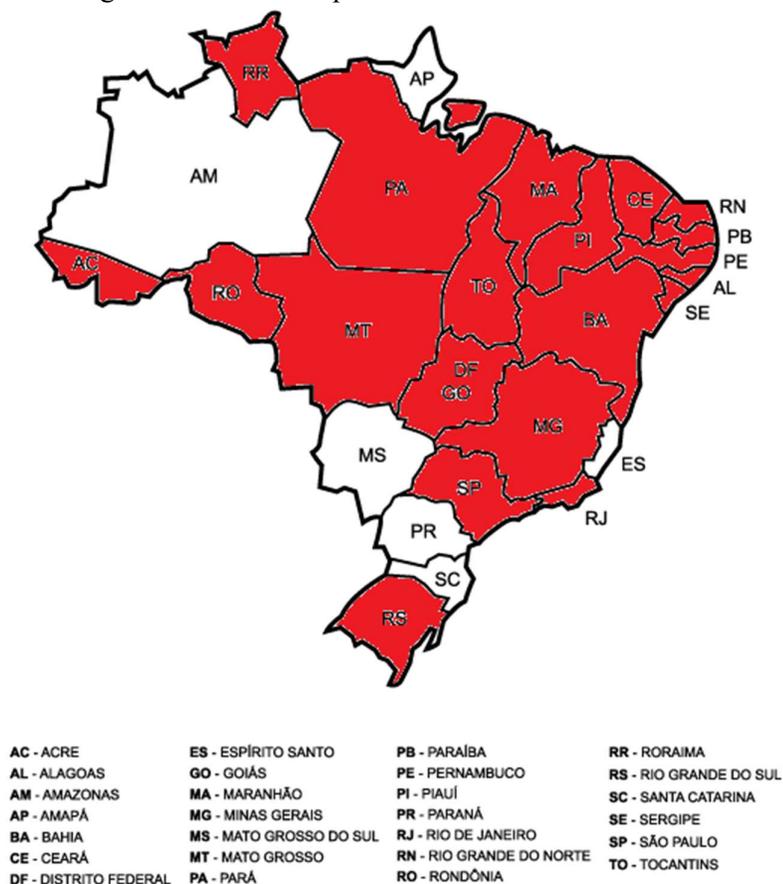
Na data de 22 de abril de 2015 o Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) autorizou aos estados interessados a possibilidade de isenção do Imposto sobre a Circulação de Mercadorias (ICMS) sobre a energia distribuída. Isso significou que o cidadão poderá só estar sujeito a aplicação do ICMS sobre o valor consumido em excesso da concessionária. Este foi um grande avanço, o qual ajudou a desfazer a grande bizarrice da legislação anterior que cobrava o imposto sobre o excedente de energia elétrica gerado por sistemas de geração distribuída. Atualmente 20 estados e o detrito federal aderiram ao convenio ICMS 16/2015 e estes estão representados em vermelho na Figura 3.2.

Em 2015 a ANEEL reviu a REN N°482/2012 e deu mais um passo importante para o setor fotovoltaico nacional. Em 24 de novembro de 2015 aprovou em audiência pública a REN 687/2015 que trouxe bastante melhorias para o incentivo da geração de energia elétrica solar. Entre os avanços vale a pena destacar:

- Redução da burocracia, diminuindo o tempo de registro do sistema solar pelas companhias de 90 para 34 dias;
- Aumento do período para a utilização dos créditos de energia para compensação de 34 para 60 meses;
- Geração compartilhada, uma vez que não é mais necessário que os créditos excedentes sejam compensados em unidades consumidoras de pessoas com o mesmo CPF/CNPJ;

- Possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios, também conhecido como empreendimento de múltiplas unidades consumidoras;
- Autoconsumo remoto, uma vez que muitas unidades consumidoras não possuem área para a instalação de módulos fotovoltaicos.

Figura 3.2 - Estados que aderiram ao convenio ICMS 16/2015



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Até outubro de 2015 não se existia uma orientação da Receita Federal sobre a cobrança do Programa de Integração Social (PIS) e a Contribuição para o Financiamento Social (CONFINS) sobre a micro e minigeração distribuída. Porém com o advento da Lei nº 13.169/2015, as cobranças dessas taifas passaram a ser apenas sobre a diferença positiva entre a energia consumida e a energia injetada na rede. Uma vez que o PIS e CONFINS são tributos federais (diferentemente do ICMS), essa lei cobre todo o território nacional. Esses esforços logo deram resultados, até o final de 2012, por exemplo, existia

apenas 4 conexões a rede, esse número cresceu de forma exponencial ano após ano como mostra a Figura 3.3 e a Tabela 3.2, ambas elaboradas pela ANEEL.

Tabela 3.2 - Comparação entre o número de sistemas conectados à rede entre o final de 2015 e o início de 2017

Estado	Fim de 2015	Primeira semana de 2017
Acre	1	4
Alagoas	3	19
Amazonas	2	6
Bahia	56	162
Ceara	127	328
Distrito Federal	38	121
Espirito Santo	24	335
Goiás	16	113
Maranhão	23	99
Minas Gerais	333	1538
Mato Grosso do Sul	100	190
Mato Grosso	2	120
Pará	10	42
Paraíba	18	52
Pernambuco	65	160
Paraná	142	661
Rio de Janeiro	203	629
Rio Grande do Norte	49	139
Rondônia	1	18
Rio Grande do Sul	186	709
Santa catariana	121	437
Sergipe	0	15
São Paulo	182	1252
Tocantins	20	39

Fonte: ANEEL

Figura 3.3 - Número de conexões acumuladas até novembro de 2016



Fonte: ANEEL

3.3 PERSPECTIVAS PARA O FUTURO DO CENÁRIO NACIONAL

Como visto na Figura 3.3, mesmo em cenário de crise o crescimento do número de conexões a rede por energia distribuída é enorme. Ao iniciar-se em 2012, o “pior ano” para o setor de energia distribuída foi entre 2013 e 2014 o qual se teve um crescimento acima de 300%.

Esses números chegam a causa certo espanto, uma vez que esse foi o período ao qual o país passou por uma forte crise econômica e de diversos escândalos políticos. Porém acredita-se que eles podem ser explicados por alguns fatores:

- Aumento exorbitante nas tarifas de energia elétrica;
- Melhoramento da tecnologia e redução nos preços;
- Maior difusão da tecnologia para as pessoas em geral;
- Maior conscientização;
- Aumento do número de financiamentos para o setor;
- Conscientização da população, o que faz empresas investirem no setor.

É interessante ressaltar que energia distribuída, neste caso, é um sinônimo de energia solar, uma vez que é perceptível pela Tabela 3.3 que a maior parte da capacidade instalada, cerca de 78%, provem da fonte solar fotovoltaica. Além disso, a ANEEL

divulgou em 2015 que mais de 98% das conexões de geradores a rede se davam por fontes de energia solar fotovoltaica.

Tabela 3.3 - Número de conexões por fonte em 2015

Unidades consumidoras com Geração Distribuída			
Tipo	Quantidade	Quantidade de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)
CGH	9	21	4.407,00
EOL	45	46	166,40
UFV	7.103	7.842	54.848,86
UTE	31	103	10.966,92
Total	7.188	8.012	70.389,18Kw

Fonte: ANEEL

Existem diversos motivos para acreditar que esse cenário de crescimento acelerado deve continuar pelos próximos anos:

- A ANEEL informou que o Brasil deve ter 1,2 milhões de consumidores geradores de energia até o ano de 2024;
- No final do ano de 2015 o MME informou que devem ser gastos até 2030 o valor de 100 bilhões de reais em energia solar pelo Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), com 2,7 milhões de consumidores geradores até 2030;
- O crescente aumento de fundos de financiamentos de energia distribuída por diversos bancos tende a se manter pelos próximos anos;
- O aquecimento da economia e a valorização da moeda.

Pode-se perceber através dos dados recentes e previsões feitas por especialistas do setor que haverá uma demanda crescente por profissionais do setor nos próximos anos.

No capítulo seguinte são apresentadas as principais fontes de financiamento e consórcios apresentadas pelo mercado nacional atualmente.

4 FINANCIAMENTOS E CONSÓRCIOS

A energia solar fotovoltaica ainda é vista como cara para grande parte da sociedade, este argumento é compreensível visto que é necessário um alto investimento inicial para um retorno parcelado ao longo dos anos.

Esse tipo de investimento de retorno a longo prazo não faz parte da cultura nacional, porém esta realidade vem mudando paulatinamente. A cada ano mais e mais pessoas tem se voltado para o setor fotovoltaico em busca de um investimento que os resguardará da loucura da tarifação energética nacional, um investimento que proverá lucratividade e segurança uma vez que gerará energia para a sua residência por pelo menos 20 anos sem variação de custo.

Contudo, para aumentar o desenvolvimento do mercado de geração distribuída em especial o de energia solar fotovoltaica, é necessário um engajamento mais forte de determinados setores da sociedade, em especial dois deles:

- Os bancos devem desenvolver linhas de crédito diferenciadas para o setor, afim de fomentar o mercado, ajudando os seus clientes a fazerem investimentos inteligentes, para que possam melhorar economicamente e consequentemente ajudar os bancos a crescer.
- As empresas devem pensar “fora da caixa”, empreender no Brasil é uma tarefa difícil, aliada as dificuldades naturais presentes no mercado nacional, as empresas de energia fotovoltaica enfrentam um desafio ainda maior, uma vez que a população no geral, tem baixo conhecimento da tecnologia.

É interessante ressaltar que, os dois pontos acima apontados têm tido avanços consideráveis nos últimos anos. Muitos dos bancos hoje já possuem linhas de créditos voltados para a geração distribuída e algumas empresas começam a fazer consórcios de longos prazos para que pessoas com menos recursos possam receber um sistema fotovoltaico em um futuro próximo.

4.1 FNE SOL E OUTROS FINANCIAMENTOS

Dentre diversos tipos de financiamentos, pode-se destacar o FNE Sol, do Banco do Nordeste. Este financiamento é provavelmente o melhor modelo para a implementação de sistemas de geração distribuída no Brasil.

Todos os equipamentos para o sistema, juntamente com a instalação do mesmo podem ser financiados em até 100% com prazos de até 12 anos e com 6 meses de carência. Além disso existe a possibilidade de utilizar os equipamentos financiados como garantia de pagamento.

O processo de análise de crédito no banco (uma vez reunido todos os documentos) leva de 2 a 3 semanas. Esta análise dirá o quanto pode ser financiado para o interessado. O banco também oferece um bônus de 15% para pagamentos efetuados em dia.

Outro tópico interessante é a planilha feita no Excel disponibilizada pelo Banco do Nordeste como um Simulador de Investimento. Nesta planilha se insere os seguintes dados:

- Valor da conta de energia;
- Porcentagem de recursos próprios;
- Reajuste anual da energia;
- A seleção da área de negócios (onde será selecionada os encargos anuais a serem efetivados);
- Prazo de carência e quantidade de parcelas.

Após anexar os dados na planilha é feita uma tabela com datas de pagamento, valores de prestação, e qual seria o correspondente do pagamento efetuado a concessionária nesse período, além de mostrar a economia efetuada neste período e a economia total durante todos os períodos, um exemplo pode ser visto na Figura 4.1. Obviamente esta planilha servirá apenas como direcional dos valores que serão acertados com o banco.

Figura 34 - Simulador de Investimentos do FNE SOL

1 - Dados do Projeto		2 - Selecionar a Área		4 - Esquema de desembolso		
Valor da conta mensal	R\$ 5.000,00	FNE RURAL/AGROINDUSTRIAL		FNE Verde (MB-OC-5-7 Item 9.14.5) 3 parcelas		
Valor do Projeto	R\$ 360.000,00	3 - Dados do Financiamento				
<input checked="" type="checkbox"/> Estimativa <input type="checkbox"/> Da Proposta		Encargos anuais	7,65%	Sequencial	Data	Valor
Recursos próprios	10%	Bonus de adimplência sobre juros	15%	1º (70%)	06-01-17	R\$ 226.800,00
Valor Financiado	R\$ 324.000,00	Prazo de Carência (meses)	12	2º (20%)	05-02-17	R\$ 64.800,00
Reajuste anual da energia	10%	Prazo de amortização (meses)	120	3º (10%)	07-03-17	R\$ 32.400,00
		Data da contratação	06-01-17	TOTAL DE ECONOMIA NO PERÍODO		
		Periodicidade das Prestações	Mensal	R\$ 570,319.88		

Parcela	DATAS DOS PAGAMENTOS	RECEBIMENTO DE PRESTAÇÃO					Pagamento Total Concessionária no período	Economia no período
		PRINCIPAL	JUROS	Total Financiamento	Bônus de adimplência	Prestação com Bônus		
		R\$ 324.000,00	R\$ 195.631,07	R\$ 519.631,07	R\$ 29.344,66	R\$ 490.286,41	R\$ 1.060.606,29	R\$ 570.319,88
1	06-02-18	R\$ 2.700,00	R\$ 220,89	R\$ 2.920,89	R\$ 33,13	R\$ 2.887,76	R\$ 5.500,00	R\$ 2.612,24
2	06-03-18	R\$ 2.700,00	R\$ 237,69	R\$ 2.937,69	R\$ 35,65	R\$ 2.902,04	R\$ 5.500,00	R\$ 2.597,96
3	06-04-18	R\$ 2.700,00	R\$ 256,40	R\$ 2.956,40	R\$ 38,46	R\$ 2.917,94	R\$ 5.500,00	R\$ 2.582,06
4	06-05-18	R\$ 2.700,00	R\$ 274,61	R\$ 2.974,61	R\$ 41,19	R\$ 2.933,42	R\$ 5.500,00	R\$ 2.566,58
5	06-06-18	R\$ 2.700,00	R\$ 293,55	R\$ 2.993,55	R\$ 44,03	R\$ 2.949,52	R\$ 5.500,00	R\$ 2.550,48
6	06-07-18	R\$ 2.700,00	R\$ 312,00	R\$ 3.012,00	R\$ 46,80	R\$ 2.965,20	R\$ 5.500,00	R\$ 2.534,80
7	06-08-18	R\$ 2.700,00	R\$ 331,18	R\$ 3.031,18	R\$ 49,68	R\$ 2.981,50	R\$ 5.500,00	R\$ 2.518,50
8	06-09-18	R\$ 2.700,00	R\$ 350,48	R\$ 3.050,48	R\$ 52,57	R\$ 2.997,91	R\$ 5.500,00	R\$ 2.502,09
9	06-10-18	R\$ 2.700,00	R\$ 369,28	R\$ 3.069,28	R\$ 55,39	R\$ 3.013,89	R\$ 5.500,00	R\$ 2.486,11
10	06-11-18	R\$ 2.700,00	R\$ 388,82	R\$ 3.088,82	R\$ 58,32	R\$ 3.030,50	R\$ 5.500,00	R\$ 2.469,50

Fonte: <http://www.bnb.gov.br/>

Além do FNE Sol existem diversos outros financiamentos em diversos bancos no Brasil. Alguns deles estão listados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Bancos que oferecem financiamento para energia distribuída

Banco	Financiamento	Descrição
Santander	CDC Eficiência Energética de Equipamentos	Um dos primeiros modelos de financiamento para o incentivo da energia fotovoltaica no Brasil. Possibilidade de financiamento para não correntistas. Taxas de juros se modificam conforme o equipamento a ser comprado.
Banco do Brasil	Linha de material de Construção	Foco na pessoa Física.

		Limite pode chegar a R\$ 50 mil com carência de 6 meses e parcelamento de 54 vezes.
	Proger Urbano Empresarial	Foco na pessoa Jurídica, em especial empresas de pequeno e médio porte (faturamento de até R\$10 milhões anuais) Taxas de juros atrativas, uma vez que usam o Fundo de Amparo ao Trabalhador. Financiamento de até R\$ 1 milhão. Carência de até 1 ano e parcelamento em 72 vezes.
	Bndes Automatico	Financiamento focado em grandes empresas. Financiamento de até 20 milhões. Parcelamento em até 240 vezes
Caixa Econômica Federal	Construcard	Taxas de juros variáveis podendo chegar a 1,85% ao mês. Amortização segundo a tabela Price. O número de parcelas pode chegar a 240 meses. O limite de credito pode chegar a R\$ 180 mil.
Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social	Linha Micro, Pequenas e Medias empresas	Para empresas com faturamento menor que R\$ 300 milhões. Financiamento de até 80% dos valores financiáveis do BNDES. Prazos definidos pelos agentes financeiros.

Finame – Geração de Energia	<p>Financiamento mínimo de R\$ 20 milhões.</p> <p>Participação do BNDES depende da fonte de energia, sendo a maior participação para energia solar e a menor para fontes Térmicas.</p> <p>O prazo de amortização depende da fonte escolhida, sendo de 20 anos para energia solar e 16 anos para as térmicas.</p> <p>Sistema de amortização SAC.</p>
PRONAF ECO	<p>Foco em agricultores e produtores rurais familiares para a utilização de energias renováveis.</p> <p>Taxas de juros de no máximo 5,5% a.a</p> <p>A participação do banco pode chegar a 100%.</p> <p>Valor máximo do financiamento é de R\$165mil</p> <p>Prazos de até 10 anos com 3 anos de carência.</p>

Fonte: Próprio autor

4.2 CONSÓRCIOS

Muitas empresas do setor solar estão investindo pesado no mercado afim de atrair mais consumidores dos seus produtos. Uma das formas de se atrair o consumidor foi a criação de consórcios de sistemas solares fotovoltaicos.

O grande objetivo destes consórcios é facilitar a aquisição de sistemas fotovoltaicos por todas as pessoas, uma vez que as mesmas não precisam desembolsar de uma vez um montante muito alto para adquirir o sistema.

Um dos mais bem-sucedidos modelos de consórcios é o consorcio da BlueSol, que é uma das maiores empresas de energia solar fotovoltaica do Brasil. Neste consorcio são oferecidos kits fotovoltaicos completos (módulos, inversores, cabeamento etc) mais a instalação do sistema em todo o Brasil.

O consorcio da Bluesol tem quatro planos distintos em relação ao tamanho do kit oferecido, sendo eles discriminados na tabela abaixo.

Tabela 5 – Planos de consorcio da Bluesol

Plano	Kit adquirido	Número de parcelas	Valor
250	2,4kWp	82	R\$ 286,79
400	3,5kWp	82	R\$ 392,44
700	5,6kWp	92	R\$ 526,73
1000	7,8kWp	92	R\$ 729,32

Fonte: <http://consorciosolarfotovoltaico.com.br>

Programas de venda como esse aparecem cada vez mais em nosso país, e são exemplos de que a energia fotovoltaica é adaptativa até em seu sistemas de venda.

5 ESTUDO DE CASO

No estudo de caso será desenvolvido o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma residência na cidade de Boqueirão-PB que tem um consumo médio de 455 kWh/mês. Primeiramente foi feito uma análise analítica utilizando equações disponíveis na literatura e posteriormente se fará uma simulação com um dos softwares mais utilizados no mercado fotovoltaico o PVsyst.

Após ser obtido o dimensionamento, procurou-se fornecedores e foi feito um levantamento do custo do projeto dimensionado. Por último foi feita uma análise econômica estudando o seu VPL e o seu Payback.

5.1 DIMENSIONAMENTO

Considerando uma residência localizada na cidade de Boqueirão-PB, que pertence ao grupo residencial sem benefício da modalidade tarifaria de baixa de tensão da Energisa (grupo B1) foi elaborado o projeto de geração fotovoltaica conectado à rede.

O primeiro passo é saber a demanda media da residência. A Energisa disponibiliza o histórico de consumo dos últimos 12 meses em sua conta de energia. O consumo mensal dessa residência entre outubro de 2015 e setembro de 2016 foi visto na conta de energia de outubro de 2016 se encontra representado na Tabela 5.1.

Por norma, consumidores monofásicos devem pagar a taxa de disponibilidade, que é um valor de 30kWh, então nosso sistema será dimensionado para 425kWh.

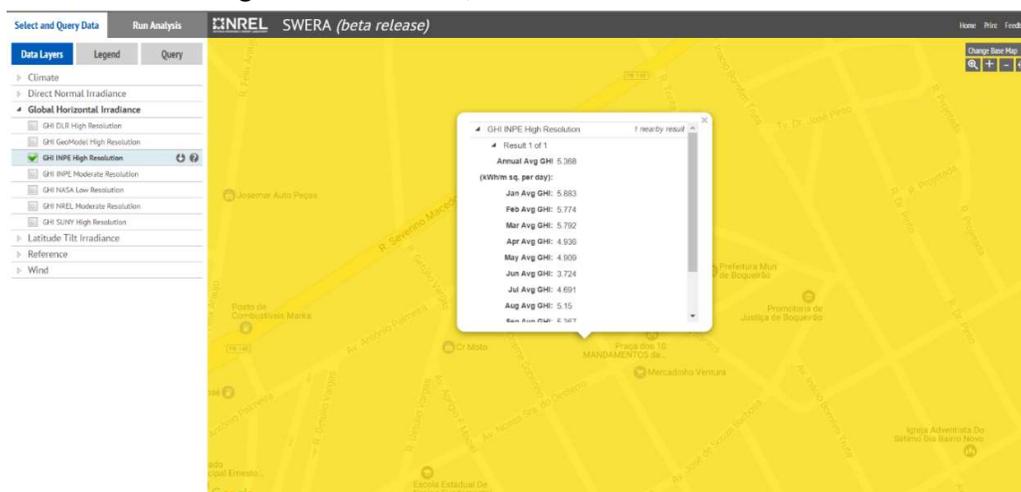
Após essa avaliação inicial da carga da UC, faz-se o levantamento solar para a região. Como dito anteriormente existem diversos lugares onde esses valores podem ser analisados. Para este utilizou-se os dados solarimetricos e de temperatura do INPE no SWERA que podem ser vistos na Figura 5.1 e Tabela 5.2

Tabela 5.1 - Demanda anual da residência escolhida

Mês	Consumo (kWh)
Out/2015	369
Nov/2015	361
Dez/2015	371
Jan/2016	471
Fev/2016	511
Mar/2016	497
Abr/2016	537
Mai/2016	485
Jun/2016	466
Jul/2016	480
Ago/2016	400
Set/2016	513
Media	455

Fonte: Próprio autor

Figura 5.1 - SWERA, busca dos dados solarimetricos.



Fonte: <https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=0&bL=groad&cE=0&IR=0&mC=40.21244%2C-91.625976&zL=4>

Tabela 5.2 - Dados solarimetricos e de Temperatura

MÊS	TEMP (C°)	GHI (KWH/M ² .DIA)*
JAN	25,38	5,883
FEV	25,45	5,774
MAR	25,16	5,792
ABR	24,50	4,936
MAI	24,06	4,909
JUN	23,29	3,724
JUL	22,73	4,691
AGO	23,35	5,150
SET	24,48	5,367
OUT	25,47	5,850
NOV	25,79	6,18
DEZ	25,66	5,455
MEDIA	24,61	5,308

Fonte: <https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=0&bL=groad&cE=0&lR=0&mC=40.21244%2C-91.625976&zL=4>

* GHI - Global Horizontal Irradiance.

Uma vez de posse desses valores, pode-se olhar para uma equação muito conhecida na literatura do setor solar, dada por:

$$P_{peak} = \frac{E * P_{sol}}{G_{p0a} * PR}$$

Sendo:

P_{peak} = potência pico do painel fotovoltaico (kWp);

E = Energia consumida pelas cargas;

P_{sol} = Irradiância de Referencia (1 kW/m²);

PR = Performace Ratio – Coef. De Desempenho (adimensional).

A equação da forma que está apresentada serve para calcular a potência necessária para um painel fotovoltaico atender a demanda estimada. O PR é um fator que geralmente varia bastante pois ele está conectado aos fatores de perda do sistema que podem ser causados por diversos motivos como temperatura, conexões elétricas, sujeira nos

módulos, dentre outros. A literatura diz que normalmente esse fator fica entre 0,7 e 0,8 no Brasil. Para esta simulação adotou-se $PR=0,75$.

Inserindo estes valores, tem-se:

$$P_{peak} = \frac{425 * 1}{5,308 * 30 * 0,75} = 3,55kWp.$$

Tem-se então que para fornecer 425kWh/mês deve-se ter um sistema de 3,55 kWp.

Utilizando o catalogo da *BRASOLIS Equipamentos para Energia LTDA* observou-se os kits de energia solar por eles fornecidos (Tabela 5.3). Analisando-se todos os produtos presentes no catalogo, percebeu-se que o produto que mais se adequa a residência descrita é o sistema fotovoltaico de 3,18 kWp.

Tabela 5.3 - Tipos de Kits ofertados pela BRASOLIS



TIPOS DE KITS OFERTADOS:

Item	Designação	Potencia Nominal (kWn)	Potência Pico (kWp)	Painéis UpSolar 265W
Gerador Fotovoltaico	I Sistema FV 1,59kWp	Galvo 1.5-1	1,59kWp	6
	II Sistema FV 2,12kWp	Galvo 2.0-1	2,12kWp	8
	III Sistema FV 2,65kWp	Galvo 2.5-1	2,65kWp	10
	IV Sistema FV 3,18kWp	Galvo 3.0-1	3,18kWp	12
	V Sistema FV 4,24kWp	Primo 4.0-1	4,24kWp	16
	VI Sistema FV 5,3kWp	Primo 5.0-1	5,30kWp	20
	VII Sistema FV 6,36kWp	Primo 6.0-1	6,36kWp	24
	VIII Sistema FV 8,48kWp	Primo 8.2-1	8,48kWp	32
	IX Sistema FV 9,54kWp	Primo 8.2-1	9,54kWp	42
	X Sistema FV 12,72kWp (3~220V)	SYMO Brasil 12.0-3	12,72kWp	48
	XI Sistema FV 12,72kWp (3~380V)	SYMO 12.5-3-M	12,72kWp	48
	XII Sistema FV 15,9kWp (3~380V)	SYMO 12.5-3-M	15,90kWp	60
	XIII Sistema FV 15,9kWp (3~220V)	SYMO Brasil 15.0-3	15,90kWp	60
	XIV Sistema FV 18,02kWp (3~220V)	SYMO Brasil 15.0-3	18,02kWp	68
	XV Sistema FV 18,02kWp (3~380V)	SYMO 15.0-3-M	18,02kWp	68
	XVI Sistema FV 21,2kWp (3~380V)	SYMO 20.0-3-M	21,20kWp	80
	XVII Sistema FV 26,5kWp (3~380V)	ECO 25.0-3	26,50kWp	100
	XVIII Sistema FV 31,8kWp (3~380V)	ECO 27.0-3	31,80kWp	120
	XIX Sistema FV 79,5kWp (3~380V)	3 x ECO 25.0-3	79,50kWp	300

Fonte: Catalogos da Brasolis

5.2 O SISTEMA

Antes de escolher este kit em definitivo deve-se estudar os componentes que o formam para ver se o sistema fornecido pela *BRASOLIS Equipamentos para Energia LTDA* é um equipamento confiável e irá atender nossas necessidades.

Módulos Fotovoltaicos

Foi verificado que estes módulos se encontram na “TABELA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA – MÓDULOS – EDIÇÃO 02/2016” do INMETRO, atualizada em 16 de novembro de 2016, demonstrando que passou em todos os testes necessários para que sejam comercializados nacionalmente. Também é interessante ressaltar que o modulo recebeu conceito “ classe A” na categoria de eficiência energética para módulos de silício cristalino, significando que sua eficiência é maior que 13,5%.

Depois foi analisado a folha de dados fornecido pela Up. Percebu-se que este é um modulo composto por 60 células de silício policristalino com as principais especificações exibidas na tabela abaixo.

Tabela 5.4 - Especificações para o modulo UP-M265P.

Especificações para o modulo solar UP-M265P	
Potencia nominal	265
Tensão MPP V_m (V)	31,2
Corrente MPP I_m (A)	8,49
Tensão de Circuito aberto V_{oc} (V)	38,5
Corrente de Curto circuito I_{sc} (A)	8,78
Eficiência (%)	16,3
Coefficiente de temperatura I_{sc} (%/°C)	0,05
Coefficiente de temperatura V_{oc} (%/°C)	-0,3
Coefficiente de temperatura I_{mpp} (%/°C)	-0,02
Coefficiente de temperatura V_{mpp} (%/°C)	-0,42
Coefficiente de temperatura P_m (%/°C)	-0,43
Temperatura nominal de funcionamento (°C)	45

Fonte: Folha de dados do UP-M265P

Além disso a Upsolar oferece uma garantia de 10 anos contra defeitos de fábrica e uma garantia de 25 anos do decaimento linear do desempenho. Sendo previsto uma performance de quase 85% em 25 anos.

Inversor

O inversor fornecido neste kit é o inversor Fronius Galvo 3.0-1, este inversor se encontra no documento “Componentes Fotovoltaicos -Inversores Conectados à Rede (On Grid)” fornecido pelo INMETRO atualizado no dia 6 de junho de 2016.

Diversos benefícios vêm com este inversor, primeiramente ele tem a tecnologia SnapInverter, o que facilita a instalação do mesmo. Também se pode mencionar a simplicidade da aquisição de dados de geração fornecidos pelo inversor através do sistema wireless.

As principais especificações para este inversor se encontram na tabela abaixo:

Tabela 5.5 - Dados técnicos do Inversor selecionado

Dados técnicos Fronius Galvo 3.0-1	
Max corrente de entrada (Idc max)	19,8A
Máxima corrente de curto circuito	29,6 A
Min. Tensão de entrada (Udc min)	165V
Maxima tensão de entrada (Udc max)	550V
Range da Tensão MPP (Umppmin- Umppmax)	165-440V
Conexão da rede	230V(+17%/-20%)
Frequência	45-65Hz
Distorção Harmônica Total	<4%

Fonte: Folha de dados do Fronius Galvo 3.0-1

A Tabela 5.5 mostra que a faixa de operação desse inversor varia de 165V até 550V, tendo a sua melhor performance na faixa de 165V a 440V. O inversor não funciona enquanto a tensão não for 165V e correrá risco de queima se a tensão ultrapassar os 550V.

Além disso a Fronius fornece 2 anos de garantia contra defeitos de fábrica. Essa garantia pode se estender a 7 anos caso o inversor seja registrado no site www.solarweb.com, esta extensão é feita afim de se obter dados solarimetricos e dados de desempenho dos inversores ao redor do globo.

Sistema Escolhido

É preciso entender como esse sistema (módulos e inversor) se comportará quando estiverem trabalhando em conjunto. A esse estudo dar-se o nome de estudos sobre as condições de operação.

Uma associação serie de 12 módulos fotovoltaicos UP-M265P:

$$\text{Tensão } V_{mpp} @STC: 12 * 31,2 = 374,4 V$$

$$\text{Tensão } V_{oc} @STC: 12 * 38,5 = 462 V$$

Os valores acima calculados são para uma temperatura de 25°C, e como visto na Tabela 5.2 a temperatura média da localidade onde será instalado esse sistema é de 24,61°C. Um valor muito próximo do valor padrão de teste, entretanto, para sistemas fotovoltaicos é necessário se estudar os extremos de temperatura, pois como visto na Tabela 5.3 diversos fatores nos módulos são modificados com a variação da temperatura.

Para esta simulação, tomaram-se valores de segurança, considerou-se a maior temperatura ambiente atingida na Paraíba de 45°C, o que nos forneceria uma temperatura de operação de 90°C, e a menor temperatura ambiente de 10°C.

Tensão $V_{mpp} @90^{\circ}C$:

$$\left(-\frac{0,42}{100}\right) * 12 * 31,2 * (90 - 25) = -102,2V \rightarrow V_{mpp} = 272,2 V$$

Percebe-se então que para a maior temperatura estipulada a tensão de operação dos módulos será de 272,2 V, valor que se encontra dentro da faixa de operação do inversor escolhido.

De modo semelhante é preciso analisar a menor temperatura possível. Essa análise deve ser feita para a pior situação possível, que é quando os módulos não estão funcionando, sendo assim, nos primeiros raios de sol, ele apresentará a tensão de circuito aberto.

Tensão $V_{oc} @10^{\circ}C$:

$$\left(-\frac{0,3}{100}\right) * 12 * 38,5 * (10 - 25) = 20,63 \rightarrow V_{oc} = 482,63 V$$

Foi percebido que para este caso os módulos operarão no máximo a 482,63V, que é um valor que não está dentro da faixa ótima de operação do inversor, mas que ainda

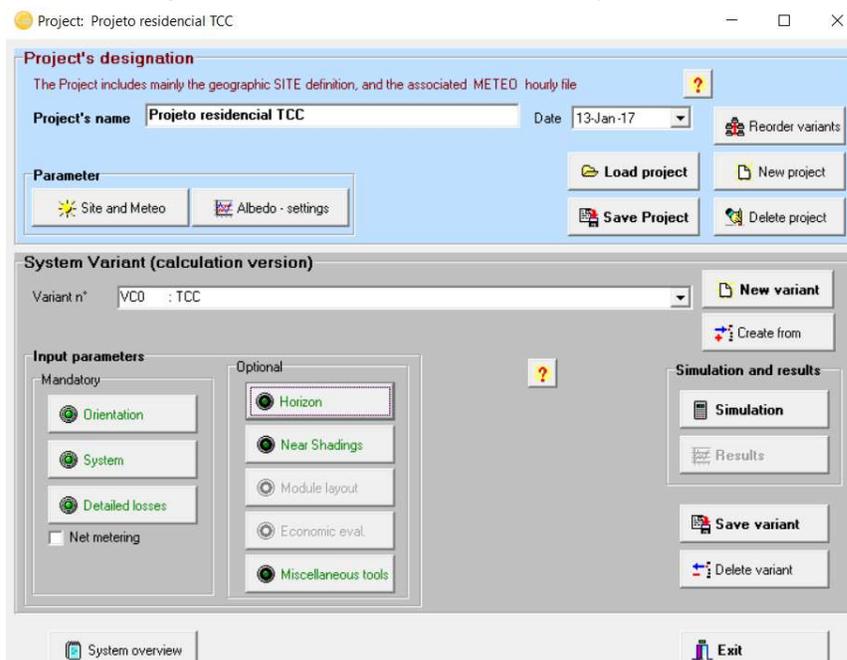
está na sua faixa de trabalho. É interessante notar, que esse valor de tensão é instantâneo e é alterado pelo aquecimento dos módulos.

Portanto se pode definir que uma string com 12 módulos de 265Wp da UPSolar é aceitável para o inversor selecionado, uma vez que os extremos de operação do sistema permanecem dentro da faixa de operação determinadas pelo inversor.

5.3 PVSYSY

PVsys é um software amplamente utilizado para análise, estudo e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. A figura abaixo apresenta a tela inicial do software.

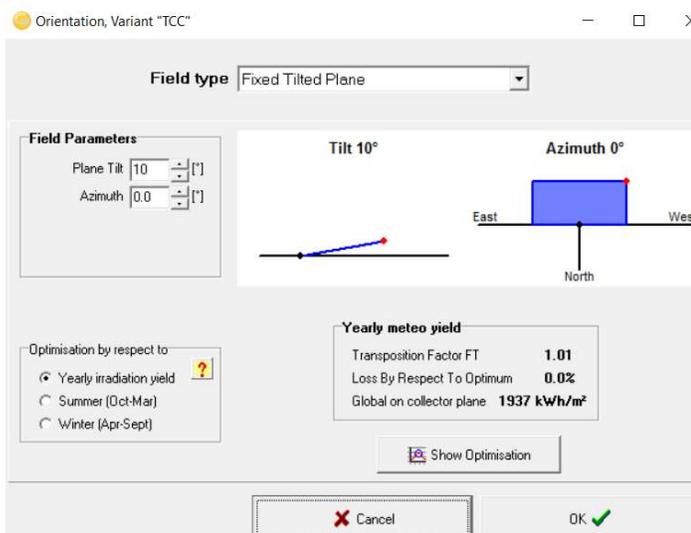
Figura 5.2 - Área de Trabalho do PVSyst.



Fonte: Próprio autor

No software foi feita a modelagem do kit IV da *BRASOLIS Equipamentos para Energia LTDA* para a localidade em estudo. Uma das vantagens da utilização do software é a possibilidade de ajuste em relação a orientação dos módulos fotovoltaicos (Figura 5.3), ajudando assim a encontrar o ponto ótimo. Geralmente é instalado os módulos com uma angulação igual a latitude do local onde os mesmos são instalados, porém é utilizado um valor mínimo de 10° para latitudes muito baixas, uma vez que ajuda na limpeza dos módulos.

Figura 5.3 - Orientação dos módulos fotovoltaicos



Fonte: Próprio autor

O PVsyst nos permite configurar o sistema livremente, além de conter uma enorme quantidade de dados de módulos e inversores fornecidos pelos próprios fabricantes com visto na Figura 5.4.

Na aba de dimensionamento do sistema (Figura 5.5) selecionou-se os módulos e o inversor escolhidos. Com essas informações o software nos forneceu diversos dados sobre a combinação escolhida, primeiramente pode-se notar que é possível utilizar de 8 a 13 módulos UP-M265P para um único inversor Fronius Galvo 3.0-1. Percebe-se também que as condições de operações fornecidas pelo software são muito próximas das condições anteriormente calculadas como mostradas na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Comparação das condições de operação.

Condições de operações	Calculadas analiticamente	PVsyst
V_{mpp}(90°C)	272,2V	279V
V_{oc}(10°C)	482	485

Fonte: Próprio autor

Figura 5.46 - Definição do sistema com o PVsyst.

The screenshot displays the PVsyst software interface for defining a grid system. The window title is "Grid system definition, Variant: TCC". The interface is divided into several sections:

- Global System configuration:** Shows "Number of kinds of sub-arrays" set to 1. There is a "Simplified Schema" button.
- Global system summary:** A table showing:

Nb. of modules	12	Nominal PV Power	3.2 kWp
Module area	23 m²	Maximum PV Power	2.8 kWdc
Nb. of inverters	1	Nominal AC Power	3.0 kWac
- Sub-array #1:**
 - Sub-array name and Orientation:** Name: Sub-array #1, Tilt: 10°, Azimuth: 0°.
 - Presizing Help:** Radio buttons for "No Sizing", "Enter planned power" (3.2 kWp), and "... or available area" (23 m²).
 - Select the PV module:** Available Now dropdown, Upsolar dropdown, 265 Wp 26V Si-poly UP-M265P Since 2014 Manufacturer 2C. Sizing voltages: Vmpp (90°C) 23.2 V, Voc (10°C) 40.4 V. "Use Optimizer" checkbox is unchecked.
 - Select the inverter:** Available Now dropdown, Fronius International dropdown, 3.0 kW 165 - 440 V HF Tr 50/60 Hz Galvo 3.0-1 Since 2013. Nb. of inverters: 1. Operating Voltage: 165-440 V, Global Inverter's power: 3.0 kWac, Input maximum voltage: 550 V. Frequency selection: 50 Hz and 60 Hz (both checked).
 - Design the array:**
 - Number of modules and strings:** Mod. in series: 12, Nbre strings: 1. "between 8 and 13" checkbox is unchecked. "Show sizing" button is present.
 - Operating conditions:** Vmpp (90°C) 279 V, Vmpp (55°C) 335 V, Voc (10°C) 485 V.
 - Plane irradiance:** 1000 W/m². Max. in data and STC radio buttons are present.
 - Max. operating power at 1000 W/m² and 70°C:** 2.6 kW.
 - Array nom. Power (STC):** 3.2 kWp.
 - Summary:** Nb. modules: 12, Area: 23 m², Isc (at STC): 8.8 A.
- Bottom Panel:** "System summary" button, "Cancel" button, and "OK" button.

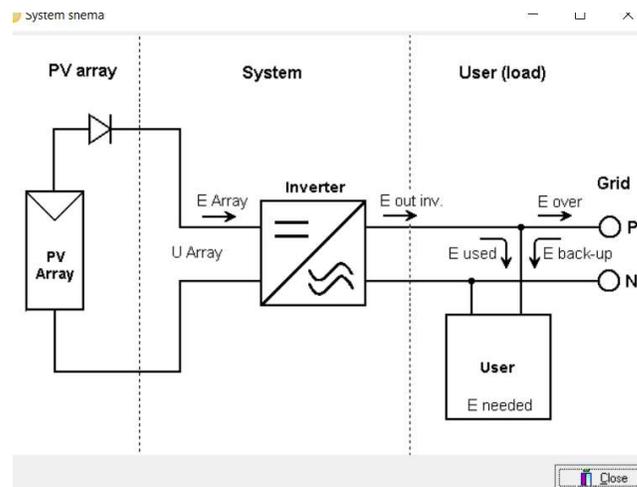
Fonte: Próprio autor

Na mesma aba onde é possível configurar o sistema é possível verificar um esquema simplificado de como ficará o sistema escolhido clicando em *Simplified Schema*, sendo este esquema apresentado na Figura 5.5.

Por último foi detalhado as perdas que afetam diretamente o desempenho do sistema montado, estas perdas são detalhadas na aba principal em *Detailed Losses*. Nesta aba se fez as seguintes considerações:

- O sistema será integrado com um *gap* de ar entre os modulo e a edificação, e isso será diretamente proporcional as perdas por aquecimento. O programa define perdas na casa de $20 \frac{W}{m^2k}$ para essa especificação.
- Perdas por sujeira de 3%
- Todas as outras perdas, são perdas padrão do sistema.

Figura 5.5 - Esquema do projeto apresentado pelo PVSyst.

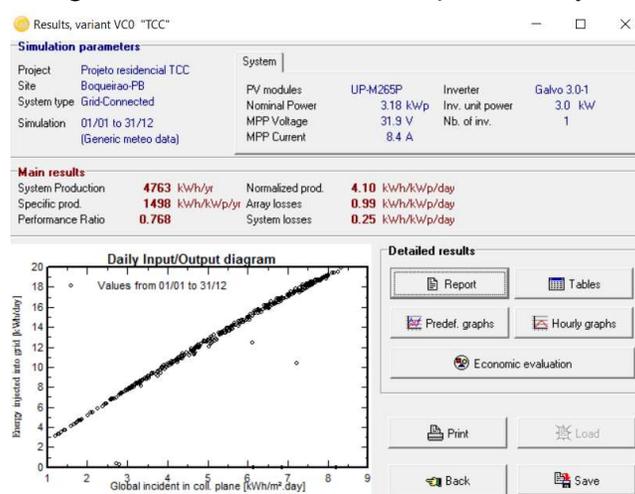


Fonte: Próprio autor

Após todas as considerações feitas, foi feita a simulação que nos mostra o resultado preliminar abaixo (o relatório final para a simulação pode ser observado no Apêndice A).

- Obteve-se uma PR de 0,768, um pouco melhor do que a que a que foi considerada inicialmente (0,75)
- O sistema irá gerar 4763kWh/ano, o que nos dá uma média de 396,9kWh/mês, o que corresponde a 87% da energia mensal consumida.

Figura 5.6 - Resultado da simulação no PVSyst.



Fonte: Próprio autor

5.4 ANÁLISE ENERGÉTICA DO SISTEMA

Pode-se rescrever da potência de pico de um sistema fotovoltaico da seguinte forma:

$$E = \frac{P_{peak} * PR * G_{poa}}{P_{sol}}$$

Com isso se tem a possibilidade de prever, com auxílio da Tabela 5.4, a energia que será gerada pelo sistema fotovoltaico, estes dados estão apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Geração Prevista para o sistema.

Mês	Geração prevista (kWh)	Simulação PVsystem
Jan	434,7	426,2
Fev	385,3	387,6
Mar	428,2	446,0
Abr	353,2	380,7
Mai	362,9	409,0
Jun	266,5	264,6
Jul	346,8	397,2
Ago	380,8	420,6
Set	384,0	367,7
Out	432,5	435,2
Nov	442,2	432,0
Dez	403,3	396,2
Total	4620,5	4763,0

Fonte: Autoria própria

Percebe-se que os valores calculados são um pouco inferiores aos valores apresentados pela simulação do PVsystem, essas diferenças se devem a vários fatores que o software leva em consideração, por exemplo:

- A diferença de PR, pois uma foi calculada pelo software utilizando diversos parâmetros e a outra foi uma estimativa geral utilizada para o Brasil.

- A inclusão da orientação dos módulos fotovoltaicos, uma vez que devido a essa inclinação as células obterão mais ou menos radiação;

Mesmo entendendo que a resposta disponibilizada pelo software é possivelmente mais precisa, foram escolhidos os valores mais conservadores que estão dispostos na segunda coluna da Tabela 5.6 como verdadeiros.

5.5 ANALISE ECONÔMICA DO SISTEMA

Primeiramente deve-se estudar o valor da energia para esta residência. Segundo o site da Energisa, a tarifa B1 tem o valor de R\$ 0,44026 por kWh consumido, porém não se pode esquecer das tarifas que serão aplicados a esse valor.

Tabela 5.8- Impostos aplicados a Energia elétrica residencial na Paraíba.

Imposto	Valor (%)	Esfera
ICMS	27	Estadual
PIS	1,04	Federal
CONFINS	4,7801	Federal

Fonte: Próprio autor

Com isso se tem que o valor real do kWh consumido nesta UC é de R\$ 0,655345. Juntando os dados das Tabelas 5.1 e 5.6, pode-se montar uma tabela de consumo e geração anual (Tabela 5.9).

Percebe-se através da Tabela 5.9 que em 7 meses do ano, só seria pago a taxa de disponibilidade (TD) para a concessionária. Além disso, existe uma economia real de R\$2961,90 ao ano.

Pode-se então utilizar métodos de engenharia econômica para analisar a viabilidade do projeto citado (Tabela 5.10). Para as análises a seguir, faz-se as seguintes considerações:

- O projeto está orçado em R\$ 24.072,2 como consta no apêndice B.
- A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) será 13%, mesmo valor previsto para a taxa SELIC para 2017.

- A inflação da Energia Elétrica será de 6,29%, mesma inflação do Brasil em 2016.
- Existe uma depreciação do sistema de 0,6% ao ano, isto é, o sistema terá um decaimento de produção de 0,6% ao ano, o que impacta diretamente nas “receitas” com um decréscimo de 0,6% ao ano. Essa é a depreciação máxima prevista pela garantia dos módulos.

Tabela 5.9 - Consumo e geração anual.

Mês	Consumo (kWh)	Injetado (kWh)	Credito Acumulado (Kwh)	Energia a ser faturada (kWh)	Fatura sem GD* (R\$)	Fatura com GD* (R\$)	Diferença (R\$)
Out/15	369	432,5	63,5	TD	241,82	19,66	222,16
Nov/15	361	442,2	144,7	TD	236,58	19,66	216,92
Dez/15	371	403,3	177	TD	243,13	19,66	223,47
Jan/16	471	434,7	170,7	TD	308,67	19,66	289,01
Fev/16	511	385,3	75	TD	334,88	19,66	315,22
Mar/16	497	428,2	36,2	TD	325,71	19,66	306,05
Abr/16	537	353,2	0	147,6	351,92	96,73	255,19
Mai/16	485	362,9	0	122,1	317,84	80,03	237,82
Jun/16	466	266,5	0	199,5	305,39	130,74	174,65
Jul/16	480	346,8	0	133,2	314,57	87,29	227,27
Ago/16	400	380,8	0	TD	262,14	19,66	242,48
Set/16	513	384,0	0	129	336,19	84,54	251,65
Total					3578,84	616,94	2961,90

Fonte: Próprio autor

Deve-se fazer algumas considerações sobre a Tabela 5.10. Nesta tabela está aplicado o investimento inicial de R\$ 24.072,2 neste mesmo ano, considerado ano 0 ele receberá um abatimento de R\$ 2.961,90 isso se deve ao fato de que o sistema começa a produzir logo após ser instalado.

Tabela 5.10 - Viabilidade financeira do projeto

Ano	Investimento (R\$)	Receitas (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)	Valor presente do dinheiro (R\$)	Retorno Anual	Retorno anual acumulado
0	24,072.21		(21,094.57)	(21,094.57)		
1	-	2,977.64	3,146.47	2,784.49	13%	13%
2	-	3,324.88	3,324.88	2,603.87	12%	26%
3	-	3,513.40	3,513.40	2,434.96	12%	37%
4	-	3,712.61	3,712.61	2,277.01	11%	48%
5	-	3,923.11	3,923.11	2,129.31	10%	58%
6	-	4,145.56	4,145.56	1,991.19	9%	67%
7	-	4,380.61	4,380.61	1,862.02	9%	76%
8	-	4,628.99	4,628.99	1,741.24	8%	84%
9	-	4,891.45	4,891.45	1,628.29	8%	92%
10	-	5,168.80	5,168.80	1,522.67	7%	99%
11	-	5,461.87	5,461.87	1,423.90	7%	106%
12	-	5,771.56	5,771.56	1,331.53	6%	112%
13	5,000.00	6,098.80	1,098.80	224.34	1%	114%
14	-	6,444.61	6,444.61	1,164.39	6%	119%
15	-	6,810.02	6,810.02	1,088.86	5%	124%
16	-	7,196.14	7,196.14	1,018.23	5%	129%
17	-	7,604.16	7,604.16	952.18	5%	134%
18	-	8,035.32	8,035.32	890.41	4%	138%
19	-	8,490.92	8,490.92	832.65	4%	142%
20	-	8,972.36	8,972.36	778.64	4%	145%
21	-	9,481.09	9,481.09	728.13	3%	149%
22	-	10,018.67	10,018.67	680.90	3%	152%
23	-	10,586.73	10,586.73	636.73	3%	155%

24	-	11,186.99	11,186.99	3%	158%
		11,186.99	595.43		
25	-	11,821.30	11,821.30	3%	161%
		11,821.30	556.81		
			VPL (R\$)	12,783.61	
			TIR	19.6%	

Fonte: Próprio autor

Também é perceptível o investimento de R\$ 5000,00 no período 13, esse investimento acontece devido a troca do inversor. Mesmo a garantia sendo de 7 anos, especialistas do setor afirmam que a vida média do produto é de 10 a 15 anos. Também deve-se contar que este valor está acima do valor atual de mercado e que em 13 anos tende a ser mais barato, então o valor de R\$ 5000,00 pode ser visto como conservador.

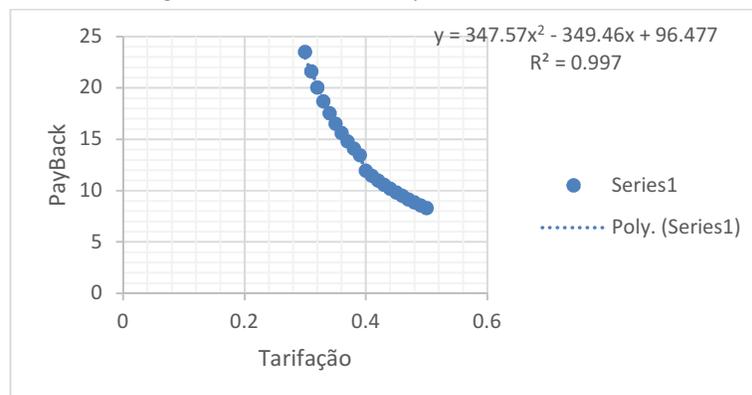
O payback descontado para este sistema é de 10 anos e 2 meses. Tendo em mente que a inflação do país tende a cair nos próximos anos, porém o mesmo tende a acontecer com a taxa SELIC uma vez que a mesma está fortemente correlacionada com a inflação.

Deve-se também levar em consideração que sempre foi adotado o pior dos casos para todas as estimativas, isto é, a maior depreciação, valores solarimétricos conservadores e PR abaixo da indicada pelo PVsyst. Possivelmente o desempenho real desse sistema será melhor do que as previsões aqui apontadas.

Com todas essas considerações pode-se analisar a TIR e o VPL, e ambas apontam o investimento como rentável, a TIR nos diz que existe uma taxa de crescimento de 19,6% o que é 6,6% acima da taxa Celic que foi considerada nossa taxa mínima de atratividade.

Por fim, utiliza-se a Tabela 5.9 e foi aplicada diferentes tarifações, fazendo isto se foi capaz de levantar um gráfico entre PayBack e Tarifação.

Figura 5.7 - Gráfico PayBack X Tarifação



Fonte: Próprio autor

O gráfico Payback x Tarifação se mostra muito interessante, especialmente quando se cruza os dados obtidos com a tabela de tarifação da EnergisaPb. Assim foi levantado quanto tempo demoraria para o investimento começar a dar retorno para os diferentes grupos de tarifação. Essas informações se encontram na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Grupos de interesse para a energia solar fotovoltaica na Paraíba

Tarifa	Classe	Tarifa (R\$)	Payback
B1	Residencial sem benefício	0,44026	10 anos e 2 meses
B1	Residencial BR – Consumo de 101 a 220 kWh	0,38115	14 anos
B1	Residencial BR – Consumo acima de 220 kWh	0,42351	10 anos e 10 meses
B3	Comerciais serviços e outros	0,44026	10 anos e 2 meses
B3	Industrial	0,44026	10 Anos e 2 meses
B3	Poderes Públicos	0,44026	10 Anos e 2 meses
B3	Serviço público	0,37422	14 anos e 6 meses

Fonte: Tabela de tarifação da Energisa modificada, encontrada em <http://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx#>

6 CONCLUSÕES

A cada ano, o homem busca mais e mais alternativas para suprir sua necessidade energética, a energia fotovoltaica se apresenta como uma das alternativas para a resolução deste problema. Além disso ela se mostra como alternativa viável para problemas de cunho socioeconômico.

O mercado fotovoltaico se encontra em forte expansão nos últimos anos no Brasil e no mundo e tende a continuar crescendo nos próximos anos, gerando assim empregos e oportunidades de negócios.

No estudo de caso apresentado mesmo sempre se optando pelas estimativas mais modestas, o sistema fotovoltaico se mostrou viável para o caso estudado. Além disso foi verificado que os sistemas fotovoltaicos se mostraram viáveis para uma grande quantidade de modelos tarifários aplicados na Paraíba.

Obviamente muitas ações ainda devem ser feitas para auxiliar o desenvolvimento do setor, mas é inegável sua evolução e desenvolvimento tanto no cenário mundial quanto no cenário nacional.

REFERÊNCIAS

- ANEEL – Resolução normativa nº482/2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: dezembro de 2016.
- ANEEL – Resolução normativa nº687/2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: dezembro de 2016
- Energisa – Norma de distribuição unificada 013. Disponível em: <http://www.energisa.com.br/>. Acesso em: dezembro de 2016
- Energisa – Tarifa de energia – disponível em: <http://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx#>. Acesso em: janeiro de 2017
- Painel Solar Fotovoltaico UpSolar. Manual técnico. Disponível em: <http://brasolis.com.br/datasheets/modulos/Upsolar%20Datashet%20Poly%2060%20Cells%20265-270%20Wp%20PT.PDF>. Acesso em: janeiro de 2017
- Inversor Fronius Galvo. Manual técnico. Disponível em: http://brasolis.com.br/datasheets/Fronius_Galvo_M06_0091_EN.pdf. Acesso em: janeiro de 2017
- PINHO, J.T., GALDINO, M.A, et al. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CRESESB, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: dezembro de 2016
- Cresesb. **Manual de Engenharia FV 2014**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: janeiro de 2017.
- SAMANEZ, C.P. **Engenharia Econômica** – 2009
- Sanchez, d. A. A., cataño, h. S. Z., **Libro Interactivo Sobre Energia Solar y Sus Aplicaciones** -2011
- Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, **Cadernos temáticos ANEEL – Micro e Minigeração Distribuída – Sistema de Compensação de Energia elétrica** – 2014
- BLUE SOL, **Os sistemas de energia fotovoltaica**
- SolarPowerEurope, **Tenders for solar projects** – 2016
- FU, R., CHUNG, D., LOWDER, T., **U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1- 2016**
- Pereira, Enio, Martins. Fernando, Abreu. Samuel, Ruther. Ricardo – **Atlas Brasileiro de Energia Solar 2006**
- UFPE - **Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000**
- Quanto custa A Energia Fotovoltaica – Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.html>. Acesso em: janeiro de 2017
- Sistema conectado na rede – disponível em: <http://carnielconstrutora.com>. Acesso dezembro de 2016
- IEA – International Energy Agency -**Snapshot of Global Photovoltaic Markets, 2015**
- MME – Ministerio de minas e energia
- Projeção de crescimento da energia distribuída – disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/2017/01/geracao-distribuida-mantem-crescimento-com-quase-8mil-conexoes/>, Acesso em janeiro de 2017

APÊNDICE A – RELATÓRIO PVSYSY

PVSYSY V6.52		20/01/17	Page 1/4
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	Projeto residencial TCC		
Geographical Site	Boqueirao-PB	Country	Brazil
Situation	Latitude 7.48° S	Longitude	36.13° W
Time defined as	Legal Time Time zone UT-3	Altitude	355 m
	Albedo 0.20		
Meteo data:	Boqueirao-PB	Synthetic	
Simulation variant :	TCC		
	Simulation date	18/01/17 00h46	
Simulation parameters			
Collector Plane Orientation	Tilt	10°	Azimuth 0°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Array Characteristics			
PV module	Si-poly	Model	UP-M265P
Original PVsyst database	Manufacturer	Upsolar	
Number of PV modules	In series	12 modules	In parallel 1 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	12	Unit Nom. Power 265 Wp
Array global power	Nominal (STC)	3180 Wp	At operating cond. 2609 Wp (70°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	311 V	I mpp 8.4 A
Total area	Module area	23.1 m²	Cell area 17.5 m²
Inverter			
Original PVsyst database	Model	Galvo 3.0-1	
Characteristics	Manufacturer	Fronius International	
Inverter pack	Operating Voltage	165-440 V	Unit Nom. Power 3.0 kWac
	Nb. of inverters	1 units	Total Power 3.0 kWac
PV Array loss factors			
Array Soiling Losses		Loss Fraction	3.0 %
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	688 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
LID - Light Induced Degradation			Loss Fraction 1.5 %
Module Quality Loss			Loss Fraction -0.8 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param. 0.05
Unavailability of the system	7.3 days, 3 periods		Time fraction 2.0 %
User's needs :	Unlimited load (grid)		
Auxiliaries loss	Constant (fans)	0 W	... from Power thresh. 0.0 kW

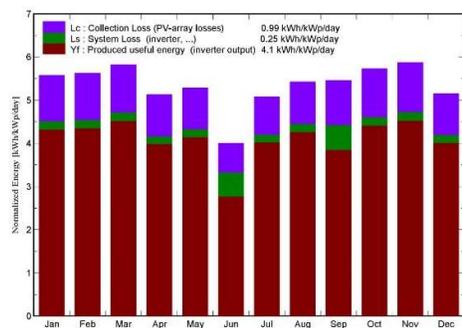
Grid-Connected System: Main results

Project : Projeto residencial TCC
Simulation variant : TCC

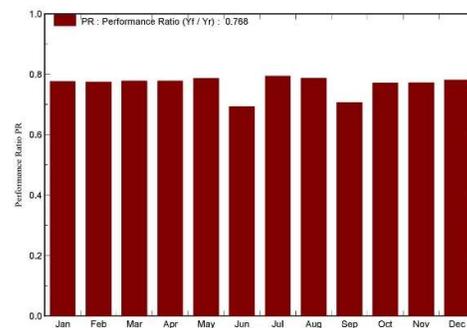
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	10°	azimuth 0°
PV modules	Model	UP-M265P	Pnom 265 Wp
PV Array	Nb. of modules	12	Pnom total 3180 Wp
Inverter	Model	Galvo 3.0-1	Pnom 3000 W ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Main simulation results
System Production **Produced Energy 4763 kWh/year** Specific prod. 1498 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 76.79 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 3180 Wp



Performance Ratio PR



TCC

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	182.4	25.40	172.8	161.7	445.5	426.2	11.16	10.68
February	161.7	25.40	157.5	147.7	405.1	387.6	11.14	10.66
March	179.6	25.20	180.4	169.2	465.8	446.0	11.18	10.71
April	148.1	24.50	153.9	144.7	398.1	380.7	11.20	10.71
May	152.2	24.10	163.7	153.7	427.2	409.0	11.30	10.82
June	111.7	23.30	120.1	112.3	318.1	264.6	11.47	9.54
July	145.4	22.70	157.4	147.7	414.8	397.2	11.41	10.93
August	159.7	23.40	168.1	158.2	439.4	420.6	11.32	10.83
September	161.0	24.50	163.7	153.8	422.7	367.7	11.18	9.73
October	181.4	25.50	177.4	166.6	455.1	435.2	11.11	10.62
November	185.4	25.80	176.0	164.8	451.5	432.0	11.11	10.63
December	169.1	25.70	159.6	149.1	414.2	396.2	11.24	10.75
Year	1937.7	24.62	1950.6	1829.5	5057.6	4763.1	11.23	10.57

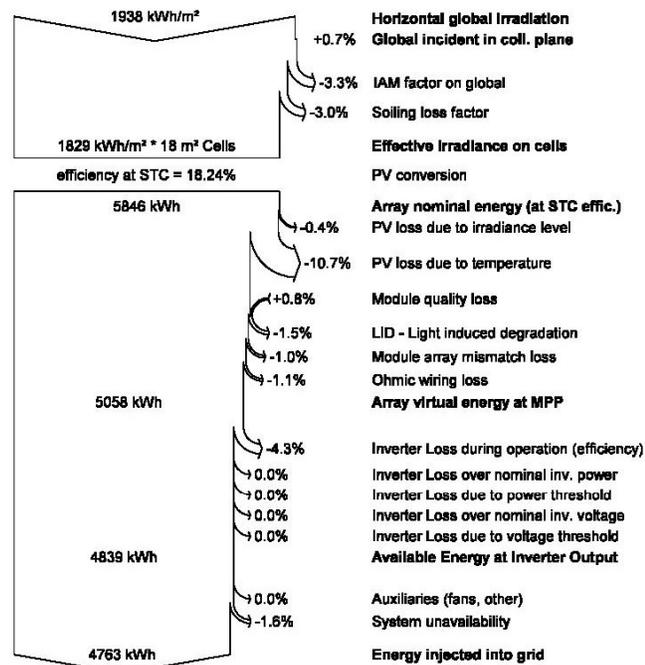
Legends: GlobHor Horizontal global irradiation EArray Effective energy at the output of the array
T Amb Ambient Temperature E_Grid Energy injected into grid
GlobInc Global incident in coll. plane EffArrR Effic. Eout array / rough area
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings EffSysR Effic. Eout system / rough area

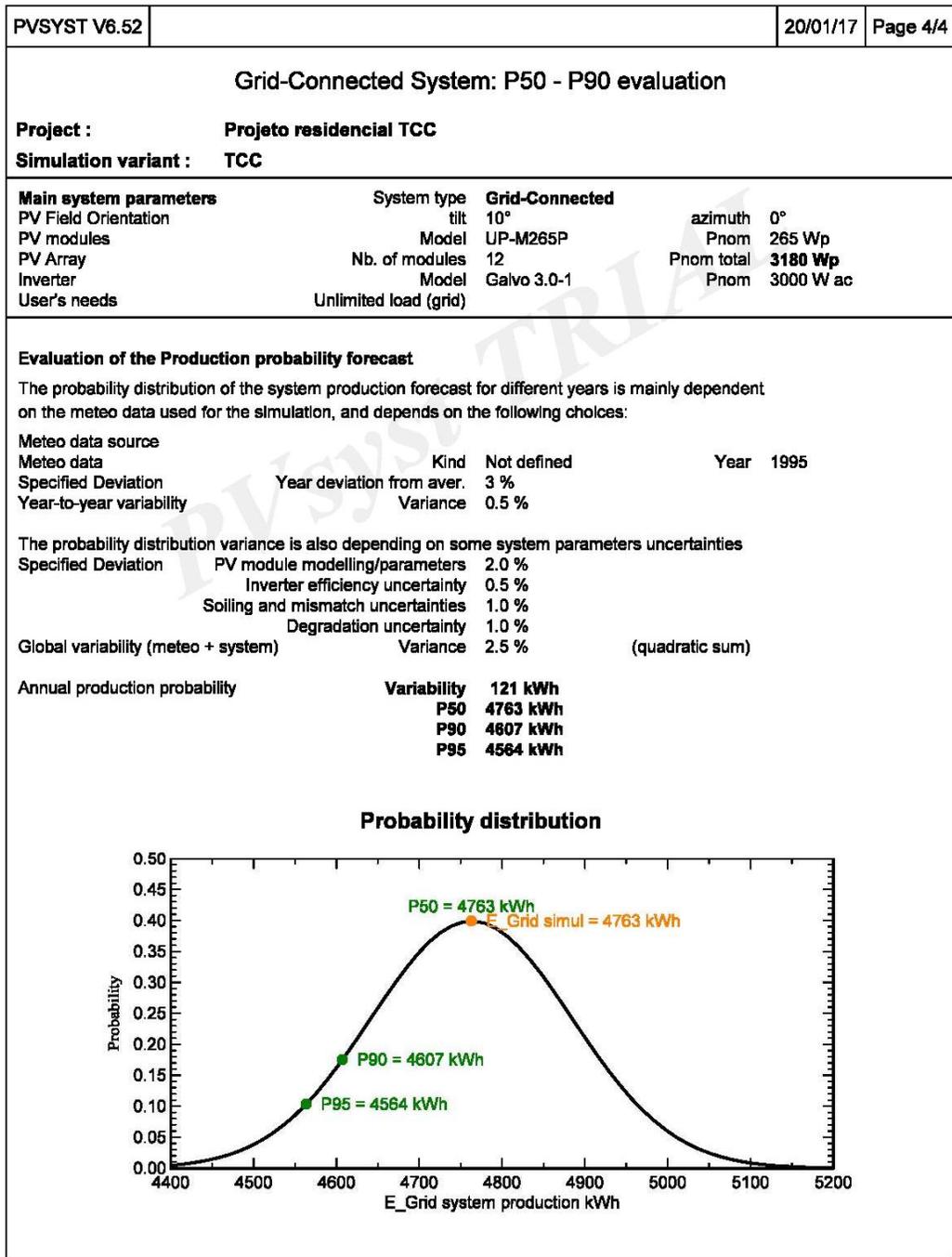
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Projeto residencial TCC
Simulation variant : TCC

Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	10°	azimuth	0°
PV modules	Model	UP-M265P	Pnom	265 Wp
PV Array	Nb. of modules	12	Pnom total	3180 Wp
Inverter	Model	Galvo 3.0-1	Pnom	3000 W ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year





APÊNDICE B – ORÇAMENTO DO PROJETO

Orçamento Sistema 3.18kWp						
Item	Produto	Qty	Preço p/ Unit	Preço p/W	TOTAL	
1	Kit IV I -4-b					
1.1	Painéis Up Solar 265wp	12	R\$ 592.60	R\$ 2.24	R\$ 7,111.20	
1.2	Inversor Fronius Galvo 3.0-1,220V,60Hz	1	R\$ 4,979.24	R\$ 1.57	R\$ 4,979.24	
1.3	Estrutura Alusin Bulnes System 10º					
1.3.1	Estrutura BULNES 10º	7	R\$ 106.88	R\$ 0.24	R\$ 748.16	
1.3.2	JUNTA EPDM 50X30X3MM	14	R\$ 1.11	R\$ 0.00	R\$ 15.54	
1.3.3	ALUMINIO RAIL CLAMP	28	R\$ 3.10	R\$ 0.03	R\$ 86.80	
1.3.4	PARAFUSO HEXAGONAL DIN 933 M8x25mm	28	R\$ 0.66	R\$ 0.01	R\$ 18.48	
1.3.5	PORCA HEXAGONAL DIN 6923 M8	54	R\$ 0.37	R\$ 0.01	R\$ 19.98	
1.3.6	PERFIL AL V3 L=5350mm	4	R\$ 160.68	R\$ 0.20	R\$ 642.72	
1.3.7	PERFIL AL V3 L=2675mm	1	R\$ 80.34	R\$ 0.03	R\$ 80.34	
1.3.8	FINAL CLAMP	4	R\$ 4.05	R\$ 0.01	R\$ 16.20	
1.3.9	PARAFUSO CABEÇA MARTELO M8x70mm	4	R\$ 2.95	R\$ 0.00	R\$ 11.80	
1.3.10	INTERMEDIO CLAMP 26mm	22	R\$ 2.80	R\$ 0.02	R\$ 61.60	
1.3.11	PARAFUSO CABEÇA DE MARTELO M8x60mm	22	R\$ 2.28	R\$ 0.02	R\$ 50.16	
1.3.12	UNIÃO PERFIL V3	4	R\$ 6.13	R\$ 0.01	R\$ 24.52	
1.3.13	PARAFUSO HEXAGONAL DIN 933 M8x45mm	8	R\$ 1.11	R\$ 0.00	R\$ 8.88	
1.3.14	PORCA HEXAGONAL DIN 6923 M8	8	R\$ 0.37	R\$ 0.00	R\$ 2.96	
1.4	Cabo solar					
1.4.1	CABO SOLAR 6MM<1000V_PRETO	20	R\$ 4.92	R\$ 0.03	R\$ 98.40	
1.4.2	CABO SOLAR 6MM<1000V_VERMELHO	20	R\$ 5.07	R\$ 0.03	R\$ 101.40	
1.5	Conectores MC4					
1.5.1	CONECTORES FEMEA	2	R\$ 8.13	R\$ 0.01	R\$ 16.25	
1.5.2	CONECTORES MACHO	2	R\$ 8.13	R\$ 0.01	R\$ 16.25	
1.6	Caixa de Proteção PV DC Weidmuller 10A - 1000Vdc					
1.6.1	Caixa de Proteção PV DC Weidmuller 1IN	1	R\$ 772.95	R\$ 0.24	R\$ 772.95	
2	Placa de advertência	1	R\$ 50.00	R\$ 0.02	R\$ 50.00	

3	Medidor bidirecional padrão Energisa	1	R\$ 150.00	R\$	0.13	R\$ 400.00
4	Outros	1	R\$ 1,000.00	R\$	0.31	R\$ 1,000.00
	Total do material					R\$ 16,333.83
	Frete do kit					R\$ 2,238.38
	Projeto/Instalação/Manutenção					R\$ 5,500.00
	Total					R\$ 24,072.21