

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

EDVALDO ANGELO DA COSTA JÚNIOR

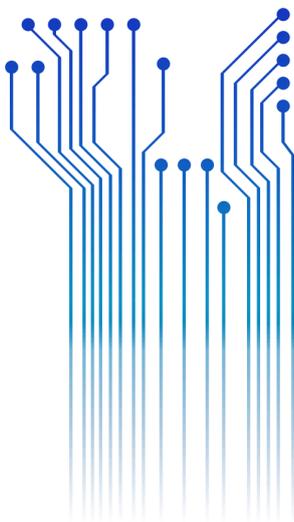


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
FOTOVOLTAICA LIGADA A REDE VERSUS TÉRMICA: UM ESTUDO DE CASO EM
CONJUNTO HABITACIONAL



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2016

EDVALDO ANGELO DA COSTA JÚNIOR

FOTOVOLTAICA LIGADA A REDE VERSUS TÉRMICA: UM ESTUDO DE CASO EM CONJUNTO
HABITACIONAL

*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: Geração de Energia

Orientador:

Leimar de Oliveira, M. Sc.

EDVALDO ANGELO DA COSTA JÚNIOR

FOTOVOLTAICA LIGADA A REDE VERSUS TÉRMICA: UM ESTUDO DE CASO EM CONJUNTO
HABITACIONAL

*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: Geração 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 à minha avó que, onde estiver, sabe o motivo e o tamanho da gratidão que tenho.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas oportunidades. A minha mãe, Miriam, pelo cuidado excepcional que sempre teve comigo, nos melhores sentidos que uma mãe faz. Ao meu pai, Edvaldo, pelo amor e cuidados, e aos meus irmãos por mostrar o belo significado de uma família.

Serei sempre grato a Deus por me enviar um amor que me encanta toda manhã e que sempre está disposta a me escutar. Obrigado pela ajuda nos trabalhos e pelas opiniões.

Agradeço aos meus tios e tias, primos e primas, uma bela família formada pelo meu avô e minha avó. Também aos amigos de faculdade, pela grande carga de experiência que agora carrego, e aos amigos que levo comigo desde a infância.

Também dedico minha gratidão ao primeiro engenheiro com quem trabalhei, pela experiência passada e a dedicação em ensinar e ao meu orientador, não só por este trabalho mas pelos ensinamentos em sala de aula e por sempre acreditar nos alunos. A todos da coordenação de Engenharia Elétrica da UFCG pelo esforço que sempre desempenharam para os alunos.

“Tenha em mente que tudo que você aprende na escola é trabalho de muitas gerações. Receba essa herança, honre-a, acrescente a ela e, um dia, fielmente, deposite-a nas mãos de seus filhos.”

Albert Einstein.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso objetiva explorar uma área que merece ser expandida no país. Ao longo do desenvolvimento deste, será apresentado uma introdução e um breve resumo das características da energia solar, diferenciando a térmica da fotovoltaica. Em seguida, será abordado a fundo o funcionamento de cada uma destas duas tecnologias e os requisitos abordados para a troca de uma tecnologia por outra, assim como a resolução normativa 482/2012, e sua atualização em 2015, que foi decisiva para esta escolha. Será apresentado o ponto de vista da CEHAP para explicar a necessidade de troca assim como as consequências que o pioneirismo desse projeto trouxe a mesma. Após o entendimento da tecnologia, será abordado o aspecto tecnológico exigido pela distribuidora local, a Energisa, afim de esclarecer as funções do consumidor e da empresa que participará do empréstimo de energia. Por fim, serão reunidas todas as informações dissertadas no decorrer do trabalho para realizar um estudo de caso. Este estudo visa demonstrar o resultado desse empreendimento, analisar a viabilidade econômica e a energia realmente gerada e consumida após a instalação das placas fotovoltaicas. Ao término, tem-se acesso as conclusões do autor.

Palavras-chave: Fotovoltaica, Energia Solar, 482/2012, Minha Casa Minha Vida, Conjunto habitacional, Solar Térmica, Fototérmica, Sistema Fotovoltaico Isolado, Sistema de Compensação Energética.

ABSTRACT

This term paper aims to explore an area that deserves to be expanded in the country. Throughout this development, an introduction going to be presented and a summary of the characteristics of solar energy, showing the difference between thermal and photovoltaic. It going to be showed the operation of each of these two technologies and requirements discussed for the exchange of technology for another, as well as the rules Resolution 482/2012, and its update in 2015, which was decisive for this project. Going to be presented to explain the need for change as well as the consequences that the pioneering project that brought it. After understanding the technology, the technological aspect required by local distributor, Energisa, going to be addressed in order to clarify end user functions and the company that will participate in the energy loan. This study aims to demonstrate the result of this project, analyze the economic feasibility and the energy actually generated and consumed after the installation of photovoltaic panels. To the end of this term paper, the conclusions going to be clarified from the author and written in the last chapter of this.

Keywords: Photovoltaic, Solar Energy, Thermal Energy, Photovoltaic Panels, Economic Feasibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Recursos e Consumo de Energia no Mundo.....	16
Figura 2 – Exemplo de figura para prática com estilos.....	17
Figura 3 – (a) Heliógrafo Campbell; (b) Cartas de registo.....	18
Figura 4 – Piranômetro com sensor fotovoltaico.....	19
Figura 5 – Piranômetro do tipo preto e branco (Black e White) Eppley.....	19
Figura 6 – Mapa mundial de irradiação solar em média anual.....	21
Figura 7 – Radiação Solar Global Horizontal (Média Anual).....	23
Figura 8 – Radiação Solar no Plano Inclinado (Média Anual).....	24
Figura 9 – Radiação Solar Global Diária, média anual (MJ/m ² .dia).....	25
Figura 10 – Funcionamento do Aquecedor Solar Plano.....	28
Figura 11 – Coletor Solar Instalado.....	30
Figura 12 – Estrutura de Bandas de Energia em (a) condutores, (b) semicondutores e (c) isolantes.....	34
Figura 13 – Exemplo de uma célula Fotovoltaica.....	35
Figura 14 – Curva I x V de um módulo fotovoltaico.....	36
Figura 15 – Curva I x V em função de diferentes Irradiâncias.....	37
Figura 16 – Curva I x V em função de diferentes temperaturas.....	38
Figura 17 – Diagrama de um sistema fotovoltaico conectado a rede.....	41
Figura 18 – Configuração de um sistema com tensão reduzida com um inversor central.....	42
Figura 19 – Configuração de uma ligação com inversores descentralizados.....	42
Figura 20 – Configuração do sistema com módulos AC.....	43
Figura 21 – Esquema com Interconexão entre a medição e o consumo.....	45
Figura 22 – Esquema com Interconexão Antes da Medição.....	46
Figura 23 – Fatura de um dos beneficiário.....	50
Figura 24 – Gráfico de Consumo da beneficiária Rosinalva Coutinho.....	51
Figura 25 – Gráfico de Consumo da beneficiária Evandro Oliveira.....	52
Figura 26 – Gráfico de Consumo da beneficiária Mônica Amorim.....	53
Figura 27 – Gráfico de Consumo da beneficiária Ednaldo Carvalho.....	54
Figura 28 – Gráfico de Consumo da beneficiária Raquel Pereira.....	55
Figura 29 – Gráfico de Consumo da beneficiária Maria Saulustiano.....	56
Figura 30 – Gráfico de Consumo da beneficiária Dayse Batista.....	57
Figura 31 – Gráfico de Consumo da beneficiária João da Silva.....	58
Figura 32 – Fatura zerada de um dos moradores.....	63
Figura 33 – Capacidade de geração de energia por mês, kWh, do empreendimento em Mangabeira.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição do Micro Inversor Mod. SUN-600G	43
Tabela 2 – Requisitos de proteção exigidos pela Energisa	47
Tabela 3 – Consumo de energia ao longo dos meses (2014).....	51
Tabela 4 – Consumo de energia atualizado (2016)	51
Tabela 5 – Consumo de energia ao longo dos meses (2014).....	52
Tabela 6 – Consumo de energia atualizado (2016)	52
Tabela 7 – Consumo de energia ao longo dos meses (2014).....	53
Tabela 8 – Consumo de energia atualizado (2016)	53
Tabela 9 – Consumo de energia ao longo dos meses (2014).....	53
Tabela 10 – Consumo de energia atualizado (2016).....	54
Tabela 11 – Consumo de energia ao longo dos meses (2014).....	54
Tabela 12 – Consumo de energia atualizado (2016).....	55
Tabela 13 – Consumo de energia ao longo dos meses (2014).....	55
Tabela 14 – Consumo de energia atualizado (2016).....	56
Tabela 15 – Consumo de energia ao longo dos meses (2014).....	56
Tabela 16 – Consumo de energia atualizado (2016).....	57
Tabela 17 – Consumo de energia, em R\$ ¹ , ao longo dos meses (2014).....	57
Tabela 18 – Consumo de energia atualizado (2016).....	58
Tabela 19 – Cálculo do fator de recuperação do capital	61
Tabela 20 – Valores para cada bloco de 32 apartamentos.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACIT	Zona de Convergência Intertropical
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
CEEF	Coefficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens
CEHAP	Companhia de Habitação Popular do Estado da Paraíba
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CONFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
DR	Disjuntor Diferencial-Residual
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FRC	Fator de Recuperação de Capital
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MCMV	Minha Casa Minha Vida
MPP	Ponto de Máxima Potência
PIS	Programa de Integração Social
PV	Painel Fotovoltaico
STC	Standard Test Conditions
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USP	Universidade de São Paulo
WMO	World Meteorological Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔT	Diferença de Temperatura
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CI	Custo Inicial
d	Taxa de Juros ao Ano
Eg(ano)	Energia Produzida pelo Sistema Fotovoltaico ao Ano
E_M	Eficiência Média Anual
E_N	Perdas Térmicas
FRC	Fator de Recuperação do Capital
I	Irradiação que Atinge a Superfície do Coletor
i	Inflação
I_{MP}	Corrente de Máxima Potência
I_{sc}	Corrente de Curto Circuito
kg	Quilograma
KW	Quilowatt
MW	Megawatt
N	Número de Módulos Necessários
n	Número de Anos
η	Rendimento
P_{MP}	Potência Máxima (pico)
P_p	Potência Nominal de Cada Pannel
PRD	Período de Retorno Descontado
PRS	Período de Retorno Simples
P_t	Potência Nominal Total de Instalação Fotovoltaica
Q_N	Potência Térmica Disponível
Q_v	Irradiação Disponível
R\$(eco)	Valor Economizado ao Ano
T	Tarifa Cobrada pela Energisa
U_L	Coefficiente Global de Perdas

V_{MP}	Tensão de Máxima Potência
V_{oc}	Tensão de Circuito Aberto
VP1	Valor Presente para um Item
W	Watt
W/m ²	Watt por Metro Quadrado
Wh	Watt Hora
W_p	Watt Pico
α	Coefficiente de Absorção
τ	Coefficiente de Transmissão

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Objetivos	14
2	Energia Solar Térmica e Fotovoltaica	15
2.1	Radiação Solar	15
2.2	Radiação Direta e Difusa	16
2.3	Solarimetria e Instrumentos de Medição	17
2.4	Atlas Solar	20
2.5	Atlas Solar no Brasil	22
2.6	Atlas Solar na Região Nordeste	25
3	Energia Solar Térmica	27
3.1	Dimensionamento de um Aquecedor Solar	29
3.2	Aspectos Construtivos dos Coletores Solares	30
3.3	Aquecedores do Programa Minha Casa Minha Vida	32
3.3.1	Detalhes Técnicos	32
4	Energia Solar Fotovoltaica	33
4.1	Princípio de Funcionamento	33
4.2	Curva característica IxV	36
4.3	Associações de Células e Módulos Fotovoltaicos	38
4.3.1	Associação em Série	38
4.3.2	Associação em Paralelo	39
4.4	Resolução Normativa nº 482/2012 e 687/2015	39
4.5	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	40
4.5.1	Inversores	41
4.5.1.1	Inversor Utilizado	43
4.5.2	PV Utilizado	44
4.5.3	Proteção Contra Descargas Atmosféricas	44
4.5.4	Ligação na Rede Elétrica Pública (Ponto de Interconexão)	45
4.5.4.1	Requisitos de Proteção para Conexão (Energisa)	47
5	Análise Econômica: Estudo de Caso	48
5.1	Valores do Sistema Fotovoltaico	48
5.2	Energia Gerada e Consumida	50
5.2.1	Residência 1	51
5.2.2	Residência 2	52
5.2.3	Residência 3	52
5.2.4	Residência 4	53
5.2.5	Residência 5	54
5.2.6	Residência 6	55

5.2.7	Residência 7	56
5.2.8	Residência 8	57
5.3	Cálculo da Energia Economizada	58
5.3.1	Período de Retorno	59
5.3.2	Viabilidade	62
6	Conclusão.....	66
	Referências	67

1 INTRODUÇÃO

É inegável que o homem depende cada vez mais da energia elétrica. Quer na economia, ou na qualidade de vida. Devido ao aumento expressivo da sua utilização nas últimas décadas, é necessária, então, o estudo e aprimoramento das energias secundárias, as vindas de fontes renováveis.

Ainda são poucos os que conhecem as formas de aproveitamento da energia solar direta, sedo a indireta, por exemplo, a proveniente dos ventos, visto que são originados do aquecimento desigual das massas de ar. Ainda há um equívoco que faz com que perdue a crença de que a energia solar, embora ecologicamente correta, é muito cara, impossibilitando a sua adoção por consumidores simples.

Por sua vez, os investimentos nessas fontes devem ser diversificados, afim de aproveitar ao máximo a fonte de energia disponível por região. Um exemplo é o Plano de Habitação do Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) que é um equívoco, em relação ao sistema de aquecimento proposto, para a região nordeste.

As diretrizes do programa indicam o uso da energia solar para aquecimento de água. Porém, para a nossa região a proposta muitas vezes se torna desnecessária, visto que as temperaturas atingidas na Paraíba, na maioria dos municípios, supera a média de 30°, podendo ter picos de 40° no sertão do estado.

Sendo assim, este trabalho visa mostrar na prática a alteração da utilização da energia solar como aquecedora d'água, para uma energia que pudesse ser utilizada em toda a casa, a fotovoltaica.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como foco realizar uma análise de viabilidade da substituição dos coletores solar térmicos por coletores solar fotovoltaicos como fonte de energia em um conjunto habitacional. Aproveitando os incentivos previstos na nova norma regulamentadora nº 482/2012, a qual foi revisada em novembro de 2015, que criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

2 ENERGIA SOLAR TÉRMICA E FOTOVOLTAICA

Devido às necessidades atuais de racionalização do consumo de energia, por motivo econômico ou ambiental, muito se tem falado sobre o uso da energia solar. Já não é incomum encontrar painel solar em residências, seja para aquecer água ou gerar eletricidade.

A energia solar térmica, também chamada de fototérmica, está relacionado ao aquecimento de líquidos ou gases pela absorção dos raios solares para aquecer estes materiais. Geralmente essa forma de energia é utilizada para aquecer água para uso em chuveiros, com intuito, claro, de baratear a conta de energia. Também é usada para aquecer gases para secagem de grãos ou uso em turbinas. Para a energia fototérmica existem dois tipos de coletor, o concentrador, que usa dispositivos para concentrar a radiação solar, e o coletor plano, este sendo mais conhecido por ser usado em telhados residenciais.

A energia fotovoltaica visa a conversão da energia solar em energia elétrica por células que dão o nome ao sistema, fotovoltaicas. Sendo as mais comuns feitas de silício, as quais passam por um processo de dopagem para adquirir as características necessárias. A associação de várias células fotovoltaicas e sua ligação a algum dispositivo ou sistema elétrico gera corrente elétrica que funcionará enquanto houver sol.

2.1 RADIAÇÃO SOLAR

Sabe-se que a base de toda a vida na terra é possível graças a energia em forma de radiação vindo do sol. No seu centro, a fusão transforma núcleos de hidrogênio em hélio. É neste processo que parte da massa é transformada em energia. Ou seja, o sol é um enorme reator de fusão.

Por causa da grande distância que existe entre a terra e o sol, uma mínima parte, aproximadamente duas partes por milhão, da radiação solar emitida por ele atinge a superfície da terra. Esta corresponde a uma quantidade de energia de 1×10^{18} kWh/ano.

A unidade de irradiância solar é W/m^2 . Define-se a constante solar como o valor da irradiância solar que é medida quando incide num plano perpendicular à direção de propagação e tem o valor de $1,367 W/m^2$. Considerando o raio médio da Terra de 6371 km, sendo a irradiância incidindo sobre a área terrestre projetada em um plano, a potência total devido à radiação emitida pelo Sol que chega à superfície terrestre é de aproximadamente 174 mil TW. Dessa quantidade, cerca de 51% chega efetivamente à superfície terrestre, sendo o restante refletido pela atmosfera.

Figura 1 – Recursos e consumo de energia no mundo



Fonte: (PETROBRAS, 2010)

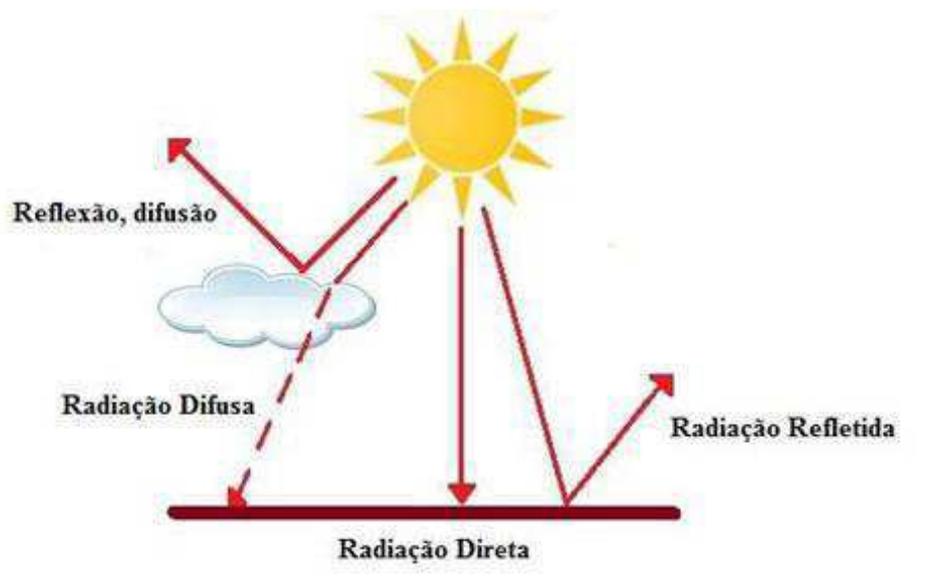
De acordo com dados de 2011, o consumo mundial de energia ficou em torno de 143 mil TWh. Dessa maneira, em duas horas de energia solar recebida na superfície terrestre, resultando em 177,5 mil TWh, a demanda mundial média de energia seria suprida. A quantidade de energia solar que atinge a superfície da terra corresponde, aproximadamente, a dez mil vezes a procura global de energia. Ou seja, teríamos de utilizar apenas 0,01% de sua energia para satisfazer a demanda energética total da humanidade.

2.2 RADIAÇÃO DIRETA E DIFUSA

A luz proveniente do sol que atinge a superfície terrestre é composta por uma fração direta e por uma difusa. A direta vem segundo a direção do sol, produzindo

sombras bem definidas em qualquer objeto. A difusa é a radiação solar que alcança a superfície da terra a partir de todas as direções, após ter sido dispersada pelas moléculas e partículas presentes na atmosfera (nas nuvens, por exemplo), parte dela também é refletida acima das nuvens e atmosfera e também pela superfície da terra. A radiação difusa pode ser interpretada como a claridade do céu quando o sol está totalmente encoberto por nuvens. Nos dias claros, a fração da radiação direta prevalece. Já na maioria dos dias cobertos de nuvens, a radiação solar é quase completamente difusa, como pode ser vista na Figura 2.

Figura 2 – Ilustração da radiação solar no planeta terra.



Fonte: (<http://focusolar.com.br/potencial-solar-brasileiro/>, 2004).

Sistemas de aquecimento de água e painéis fotovoltaicos são capazes de utilizar a radiação difusa para seu funcionamento, Não sendo significativa para sistemas heliotérmicos.

2.3 SOLARIMETRIA E INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

Através da medição da radiação solar, tanto a componente direta como a difusa, pode-se viabilizar as instalações de sistemas térmicos e fotovoltaicos em uma certa região, garantindo o máximo aproveitamento dos equipamentos e ao longo do ano onde as variações da intensidade da radiação solar sofrem significativas alterações. Então, faz-se

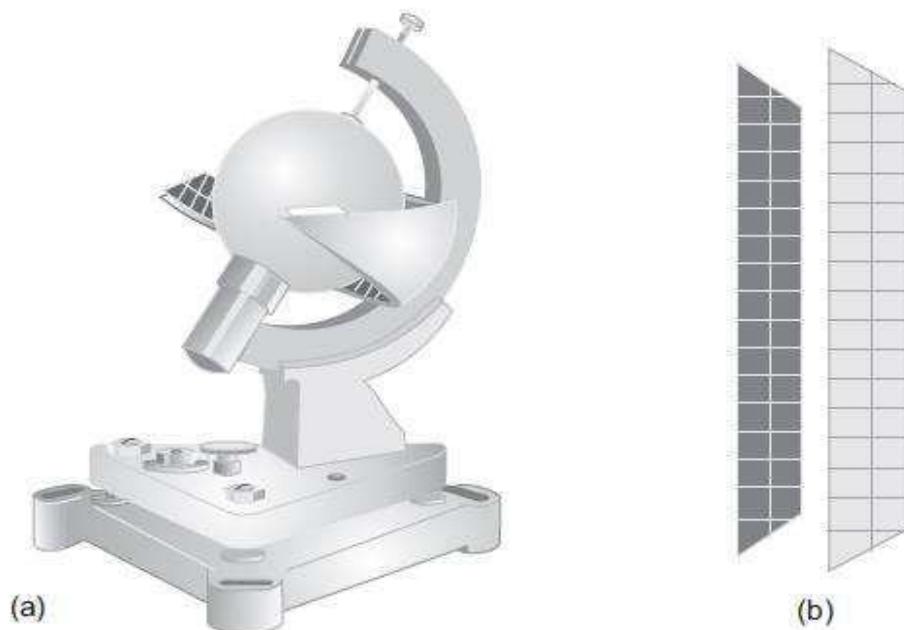
necessário o levantamento de dados para a realização de estudos das condições climáticas e atmosféricas da região.

As normas estabelecidas pela *World Meteorological Organization* (WMO) determinam limites de precisão para quatro tipos de instrumentos: os de referência ou padrão, instrumentos de primeira, segunda e terceira classe. Já as medições padrões são: radiação global e difusa no plano horizontal e radiação direta normal. A seguir, alguns instrumentos de medição de radiação:

- **Heliógrafo**

Instrumento para registrar a duração da insolação, ou seja, o período de tempo em que a radiação solar supera um dado valor de referência. Devido ao relativamente grande número deles instalados em todo o mundo, ainda são de grande importância.

Figura 3 – (a) Heliógrafo Campbell; (b) Cartas de registro



Fonte: (Atlas Solarimétrico do Brasil, 2016)

- **Piranômetros**

Estes medem a radiação global. Caracteriza-se pelo uso de termopilha que mede a diferença de temperatura entre duas superfícies. Uma expansão sofrida pelas superfícies provoca um diferencial de potencial que, ao ser medida, mostra o valor da energia solar. Existe também um outro modelo que utiliza uma célula fotovoltaica de silício monocristalino para coletar medidas solarimétricas. Estes

são mais usados por apresentarem custos bem menores que outros equipamentos tradicionais.

Figura 4 – Piranômetro com sensor fotovoltaico



Fonte: (Atlas Solarimétrico do Brasil; <http://www.cresesb.cepel.br/>, 2016)

- Pireliômetros

Medindo a radiação direta, os pireliômetros, apresentam uma pequena abertura que visualiza apenas o disco solar e a região próxima denominada circunsolar. O instrumento segue o movimento solar onde é constantemente ajustado para focalizar melhor a região do sensor. Muitos dos pireliômetros hoje são autocalibráveis.

Figura 5 – Piranômetro do tipo preto e branco (Black e White) Eppley



Fonte: (Atlas Solarimétrico do Brasil; <http://www.cresesb.cepel.br/>, 2016)

2.4 ATLAS SOLAR

Um dos pioneiros e principal, na época, avaliação do potencial de energia solar no Brasil foi o *Atlas de Irradiação Solar do Brasil*, de 1998, elaborado pelo INMET e pelo laboratório da UFSC. Logo após surgiu um de tamanha importância que foi elaborado pela UFPE, trata-se do *Atlas Solarimétrico do Brasil*, de 2000, em parceria com a Chesf. Em 2006 foi publicado o *Solar and Wind Energy Resource Assessment*, sob coordenação do INPE. Mas, na opinião da maioria dos especialistas, o Atlas Brasileiro de Energia Solar é considerado a referência mais atual e completa.

Dentre as informações contidas no Atlas, no período de 1995 a 2005, estão:

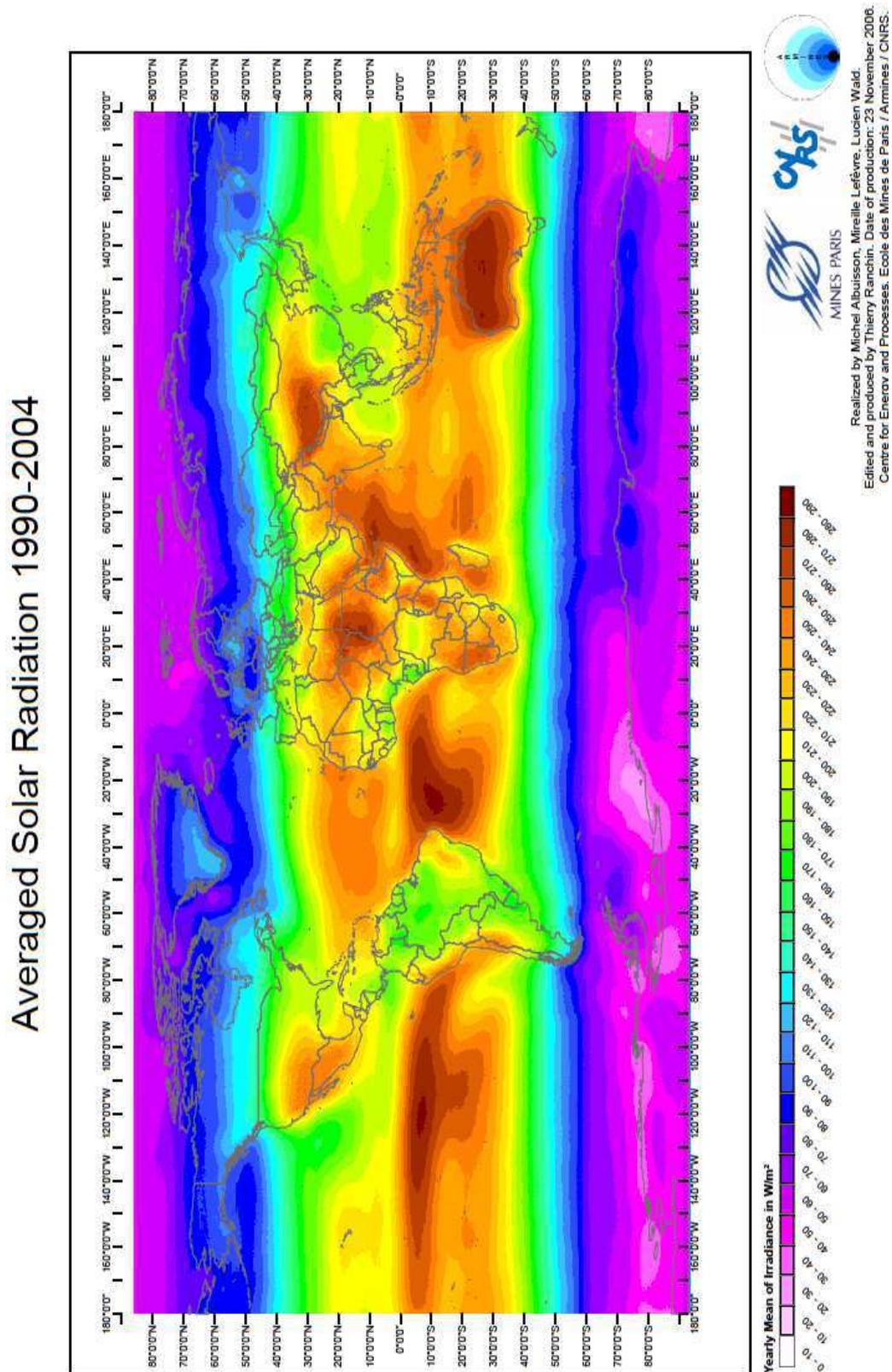
- Radiação solar global horizontal – média anual e sazonal;
- Radiação solar no plano inclinado – média anual e sazonal;
- Radiação solar difusa – média anual e sazonal;
- Variabilidade média – anual e sazonal.

A Figura 6 ilustra a distribuição espacial da irradiância solar média anual (W/m^2) que incide sobre a superfície da terra. Dados estes que foram estimados a partir de imagens feitas por satélites meteorológicos obtidos no período de 1990 e 2004. Deve-se multiplicar por 24h para se obter a irradiação solar na base temporal diária média anual.

O tratamento das imagens dos satélites inclui o recebimento, a qualificação, a reamostragem e a extração da informação de cobertura efetiva de nuvens. Para determinação do coeficiente de cobertura efetiva de nuvens (C_{eff}) é necessária a composição de imagens de céu claro e de céu encoberto por meio de análise estatística de imagens do período de interesse. Os valores C_{eff} não representam apenas fração do céu que se apresenta com cobertura de nuvens, mas uma composição desta fração com as propriedades óticas das nuvens de modo que o céu coberto com nuvens Cirros apresentará um valor de C_{eff} diferente do céu encoberto por nuvens Altostratus (SWERA, 2004).

Os projetos de sistemas fotovoltaicos normalmente exigem uma irradiação de no mínimo 3 a 4 $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{dia}$ (125 a 166 W/m^2 no mapa), estes valores estão disponíveis em quase todas as áreas entre os tópicos.

Figura 6 – Mapa mundial de irradiação solar em média anual.



Fonte: (<https://thestarlightwalker.wordpress.com/2013/10/08/australia-where-the-sun-hits-the-hardest/>, Michel Albuissou, Mireille Lefèvre & Lucien Wald, 2016)

Conforme pode ser visto na Figura 6, o Nordeste do Brasil encontra-se numa área continental de boa radiação e proximidade dos centros de consumo.

2.5 ATLAS SOLAR NO BRASIL

De uma forma geral, a irradiação global é relativamente bem distribuída pelas regiões do país. Mas, todo o litoral leste do Rio Grande do Sul ao recôncavo baiano, área mais densamente povoada, apresenta os menores índices de irradiação verificados no país.

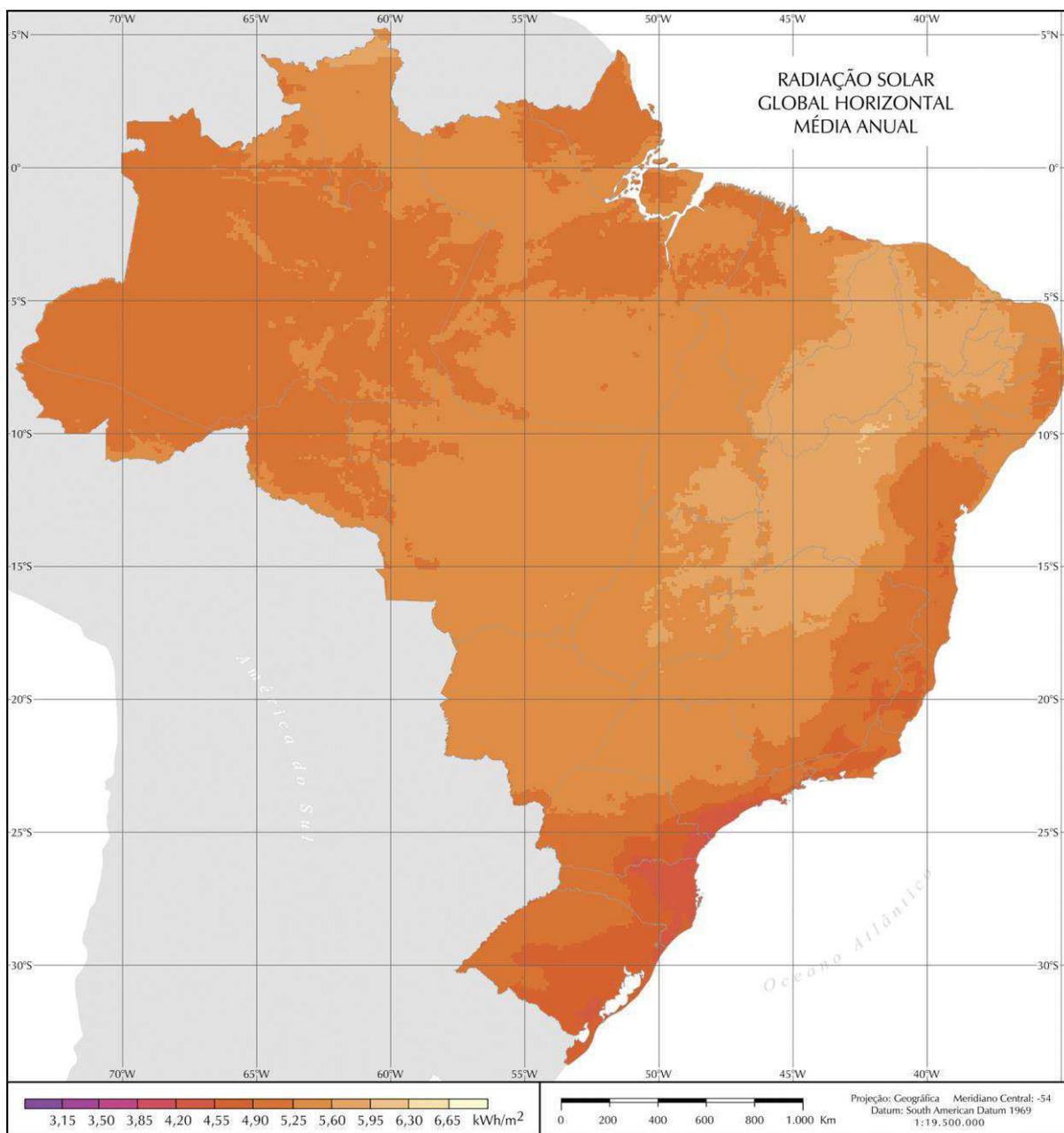
Isso acontece porque a incursão dos ventos Alísios explica a menor radiação solar no litoral e região costeira do Nordeste Brasileiro. Os valores máximos de irradiação solar são observados a oeste da região Nordeste, incluindo parcialmente o norte de Minas Gerais, o nordeste de Goiás e o sul de Tocantins. Durante todo o ano, a influência da Alta Tropical, que está associada ao Anticiclone Tropical do Atlântico Sul, confere um regime estável de baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar para essa região semi-árida.

Na região Sul é registrada a irradiação solar global com a maior variação inter-sazonal. Também nesta região estão os menores valores de irradiação global do país. Isto se deve ao fato de possuírem um clima temperado e a influência de sistemas frontais associados ao Anticiclone Polar Antártico, que aumentam a nebulosidade da região, sendo mais notado este efeito no inverno.

A região Central do Brasil e no Norte, em estações secas (outono e inverno), recebem maior incidência de radiação solar, pois a precipitação é baixa e o número de dias com céu claro é maior. O norte também se destaca por receber uma maior parcela de radiação difusa, comparada a outras regiões. Isto se deve a maior nebulosidade na região em decorrência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

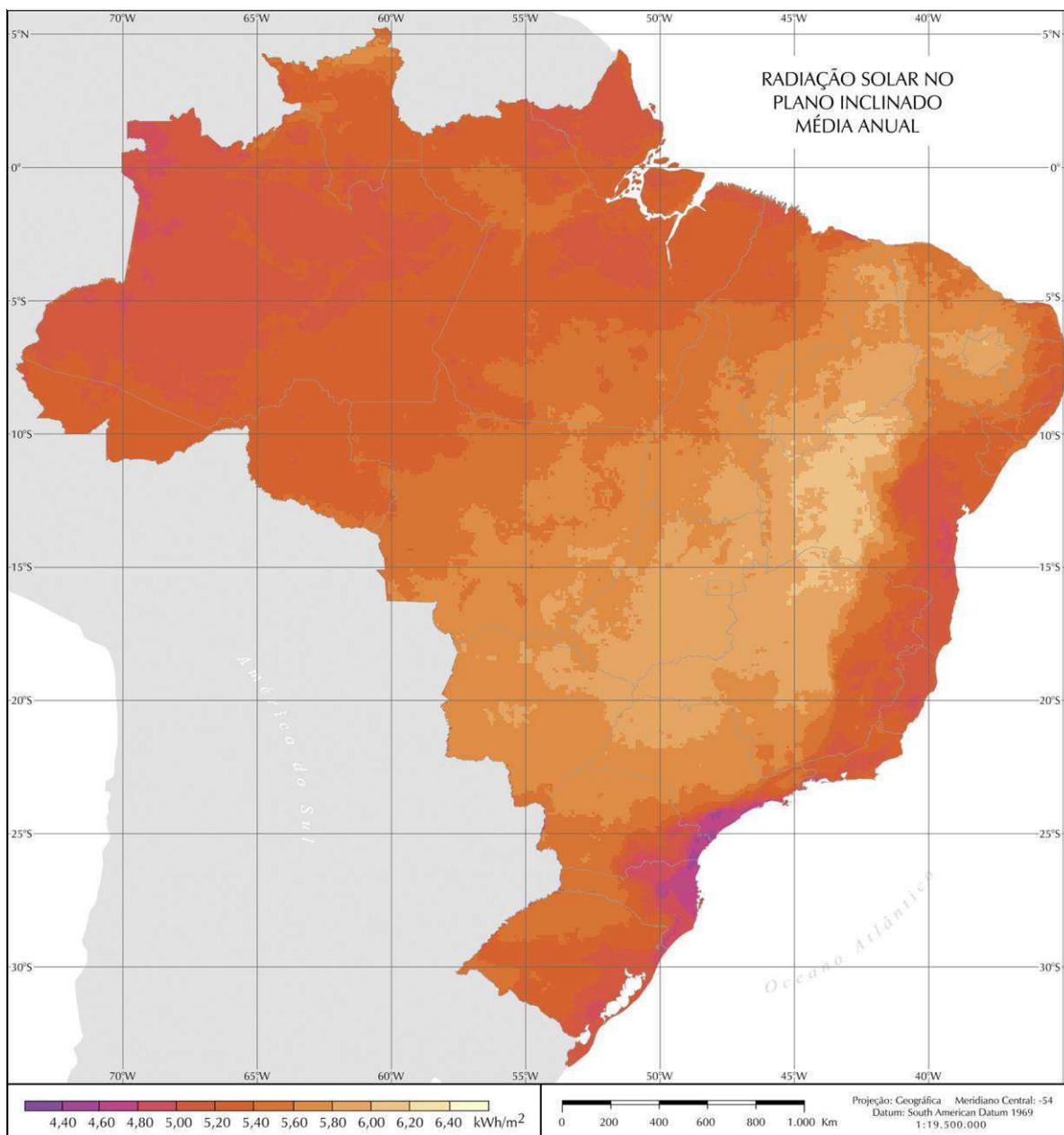
A região Nordeste apresenta os maiores valores de irradiação solar, pois apresenta uma maior média e a menor variabilidade anual entre as regiões geográficas. Na região central da Bahia é onde se encontram os valores máximos de irradiação solar no país, 6,5 kWh/m²/dia), incluindo parcialmente o noroeste de Minas Gerais. Conferindo como sendo um local com baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar para essa região semi-árida, conforme pode ser vista na Figura 7.

Figura 7 – Radiação Solar Global Horizontal (Média Anual)



Fonte: (Brazil Solar Atlas, 2016)

Figura 8 – Radiação Solar no Plano Inclinado (Média Anual)



Fonte: (Brazil Solar Atlas, 2016)

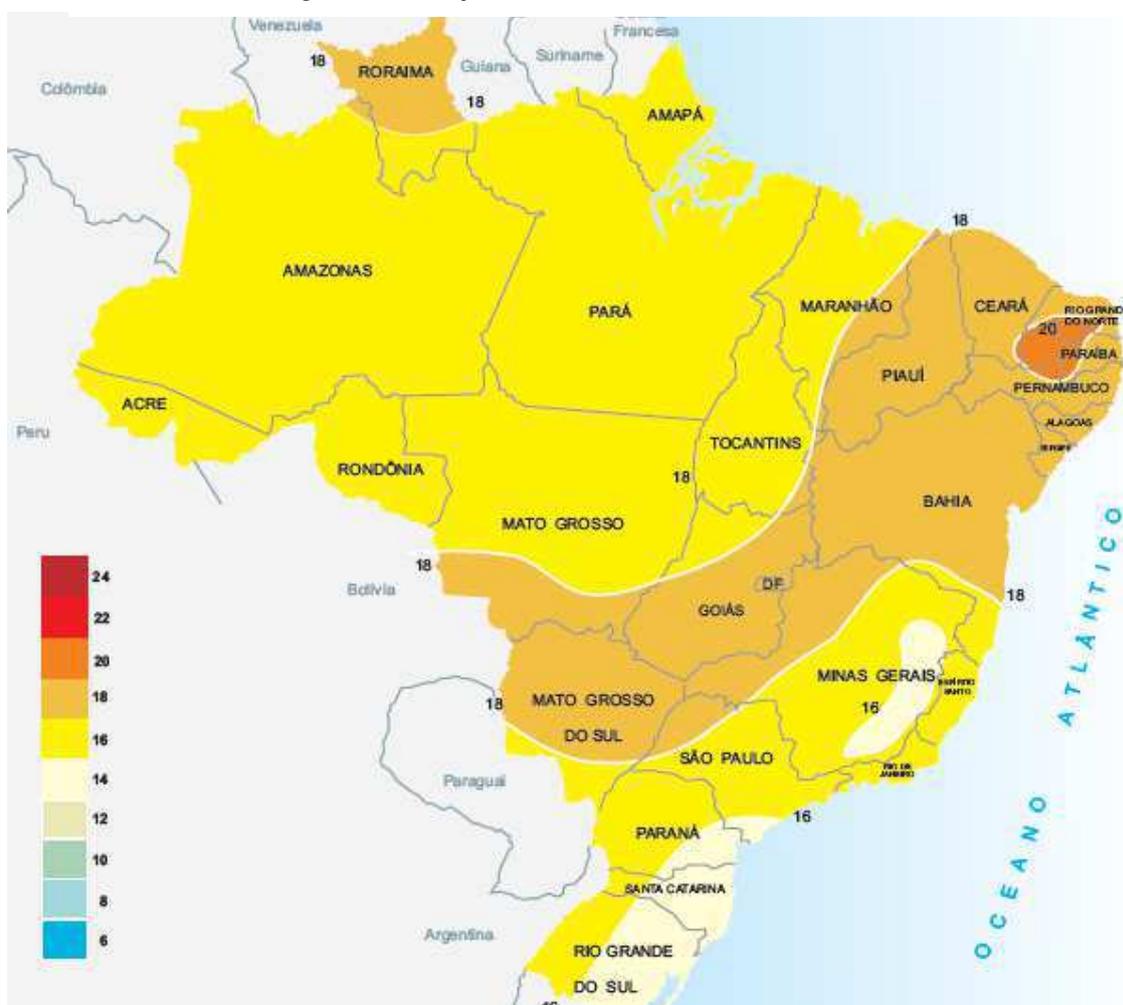
Na maioria dos casos as aplicações de energia solar utilizam uma superfície absorvedora inclinada em relação a horizontal, sendo assim capaz de aumentar a captação de energia ao longo de um ano. No entanto, a radiação solar medida é realizada, geralmente, em superfície horizontal. Dessa forma se faz necessário criar modelos para a conversão da componente difusa horizontal para o plano inclinado. A conversão da radiação direta é feita através de relações geométricas, não necessitando nenhum modelo empírico.

2.6 ATLAS SOLAR NA REGIÃO NORDESTE

A Região Nordeste apresenta a maior disponibilidade energética, seguida pelas regiões Centro-Oeste e Sudeste. As características da região Norte reduzem seu potencial solar médio a valores próximos da região Sul.

Na figura 9 pode-se ter uma amostra da capacidade do nordeste em energia solar. São valores de radiação solar diária e média anual comparáveis as melhores regiões do mundo. Além disso, as variações sazonais para o NE são menores, o que poderá resultar em importantes vantagens técnicas e econômicas dos sistemas solares instalados nesta região.

Figura 9 – Radiação Solar Global Diária, média anual (MJ/m².dia)



Fonte: (Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000)

Também na região Nordeste, em sua parte central, se encontra o menor índice de nebulosidade (maior índice de radiação solar), na qual as influências de costa marítima, da ZCIT e dos sistemas Frontais do Sul são menores.

O maior índice de irradiação solar no país pode ser observado, também na Figura 9, na região Noroeste da Paraíba, junto com parte do Rio Grande do Norte, Pernambuco e Ceará. Um recurso quase não aproveitado que deveria ajudar a conviver com a seca na região.

Alguns trabalhos utilizados como fontes para este, sobre a disponibilidade de radiação solar, apresentam métodos diferentes para o cálculo da radiação solar diária global, em sua média anual. Vê-se que os valores de irradiação, em alguns casos, estão em Wh/m² ou kWh/m², sendo as mais usuais. Contudo, o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000) apresenta seus resultados adotando o Sistema Internacional que é expresso em kJ/m². Para converter para o SI, basta multiplicar por 3,6 os valores de irradiação expressos em Wh/m².

Segundo o cientista alemão Gerherd Knies, o sertão da Paraíba e de todo o nordeste é o segundo melhor do mundo para captação de energia solar. Perde apenas para o Deserto do Saara, no continente africano. Mas todo esse potencial não está sendo utilizado. Para se ter ideia, o consumo de energia dos 3,8 milhões de habitantes do estado poderia ser suprido com a instalação de 2,5 milhões de placas de energia solar, capazes de gerar 633 MW. Para isso, seria necessária a ocupação de uma área de 4.433 hectares com usinas fotovoltaicas, um espaço que equivale a apenas 0,07% do território da Paraíba.

Em 2014, o governo federal realizou o primeiro leilão nacional de energia solar fotovoltaica, que contratou 1.048 MW em 31 projetos com investimentos totais estimados em R\$ 5 bilhões. Em 2015 teve mais dois leilões como o mesmo propósito. A Bahia vem se destacando com o maior crescimento de usinas, com previsão de ultrapassar o estado do Rio Grande do Norte em 2019.

3 ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Com uma tecnologia bem mais simples que a fotovoltaica, a energia solar térmica, também chamada de fototérmica ou solar ativo, está relacionado ao aquecimento de líquidos ou gases pela absorção dos raios solares para aquecer estes materiais. Geralmente essa forma de energia é utilizada para aquecer água para uso em chuveiros, com intuito, claro, de baratear a conta de energia. Também é usada para aquecer gases para secagem de grãos ou uso em turbinas. Apesar de existir uma forma de energia térmica bastante eficiente chamada de Coletores Concentradores, o foco deste trabalho são os Coletores Planos, este é mais conhecido por ser usado em telhados residenciais.

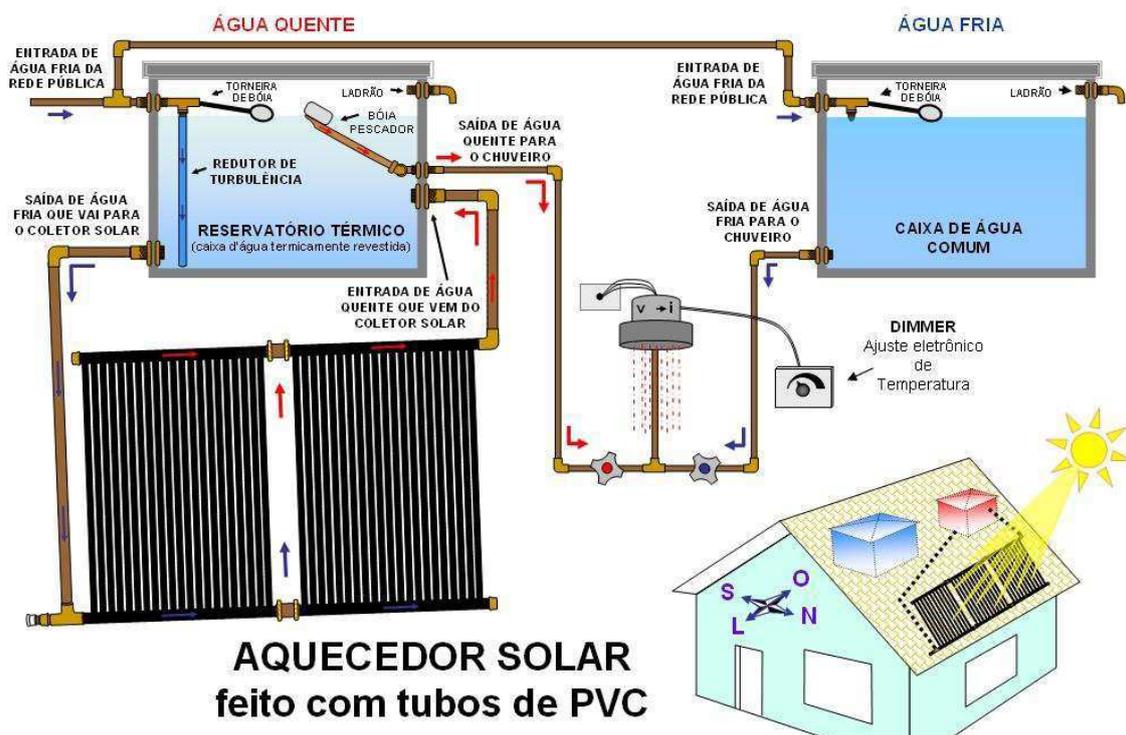
O aquecedor solar é uma das tecnologias mais viáveis na atualidade. Talvez por falta de conhecimento ou de competência de empresas da área, ela ainda não é tão utilizada como esperado. Hotéis são exemplos de empreendimentos que enxergaram a economia proveniente dos aquecedores, sabendo que os chuveiros elétricos estão na parte de cima da lista de maiores equipamentos a consumir energia elétrica numa residência.

Um exemplo do consumo de energia elétrica de um chuveiro:

- Em média é utilizado um chuveiro de 4.000 a 8.000 W nas residências
- Uma pessoa que toma banho de dez minutos por dia nele, gasta 5 horas de banho por mês (média nacional). Ou seja, consome de 20 a 40kWh/mês
- Para uma família com 4 pessoas, 20 horas banho por mês e um consumo médio de 5000W do chuveiro, 5kWh;
 - $5\text{kWh} \times 20 = 100 \text{ kWh} \text{ mês}$
- Isso representa de 25 a 50% a fatura de energia mensal da maioria dos brasileiros.

Basicamente, os coletores são colocados, geralmente, nos tetos das residências e aquecem água a uma temperatura em torno de 70°C, dependendo da localização geográfica. Na Figura 10 encontra-se o funcionamento de um coletor solar plano instalado.

Figura 10 – Funcionamento do Aquecedor Solar Plano



Com um sistema composto por coletores ligados a uma caixa de água revestida com isolante térmico ou *Boiler*, o qual servirá para armazenar a água aquecida. No banheiro da residência terá um misturador de água quente/fria e também um chuveiro com *dimmer*, ou chuveiro elétrico, para servir de suporte térmico para os dias sem sol.

A transferência do calor, captada pelos coletores, pode realizar-se de duas maneiras: circulação forçada por meio da instalação de uma bomba ou circulação natural, conhecida como termossifão (recomendado para pequenas instalações). A escolha do tipo de sistema depende da carga energética a cobrir e da possibilidade de colocar o depósito a um nível superior aos coletores.

O sistema em estudo funciona por termossifão, ou seja: a água do fundo do reservatório, a fria, desce para os coletores instalados e é aquecida dentro deles; a água quente vai ficar menos densa e será empurrada de volta para o reservatório térmico pela água mais fria (mais densa). Essa circulação será natural, sem a necessidade de uma bomba, e constante enquanto tiver sol.

Apesar da física comprovar este fenômeno, o sistema de aquecimento solar que funciona por termossifão não tem boa eficiência a noite, podendo ocorrer uma inversão do sentido de circulação do fluido, o que tem como consequência o arrefecimento do fluido do depósito.

3.1 DIMENSIONAMENTO DE UM AQUECEDOR SOLAR

Afim de não se projetar um sistema sobre ou subdimensionado, para se saber o dimensionamento correto de um sistema de aquecimento solar, o dado mais importante é saber quantos m³ as pessoas da casa consomem de água para os banhos. Para isso é preciso saber qual a vazão no chuveiro e quanto tempo as pessoas demoram no banho.

Exemplo, uma vazão de água média de um chuveiro convencional é de 3,5 litros por minuto, e o tempo médio de um banho é de 10 minutos; então um banho de 10 minutos vai consumir 35 litros de água. Na teoria, um reservatório de 35 litros seria necessário, mas é preciso fazer um projeto além do possivelmente utilizado, visto que nem todos os dias são de insolação intensa e nem toda a água do reservatório fica igualmente aquecida. Em lugares mais frios, um reservatório de 50 a 60 litros seria o ideal, aqui no nordeste, um de 45 litros seria o ideal. Para uma família de 4 pessoas, um reservatório de 220 litros seria o recomendado. Para um cálculo mais próximo, é recomendado que se marque o tempo de banho de cada pessoa.

Caso queira calcular a vazão do chuveiro, coloque um balde ou reservatório que contenha as medidas indicadas, abra o registro e marque um minuto, fechando imediatamente após o tempo. Este valor do líquido pelo tempo será a vazão utilizada nos cálculos. Também é recomendado que se a o valor estiver acima de 5 (cinco) litros por minuto, deve-se adquirir um redutor de vazão entre o chuveiro ou a ducha e a conexão na parede.

Em seguida é necessário calcular a área do(s) coletor(es) solar(es). A indústria adota que, para cada 100 litros é necessário um coletor de 1m² em regiões com boa insolação, citando Belo Horizonte como referência. Numa região mais quente, 1m² para cada 120 litros. É sempre importante verificar junto a empresa contratada as referências utilizadas por ela. É importante ressaltar que um coletor maior não vai aquecer mais a água, e sim aquecer mais rápido, aproveitando melhor cada rajada de sol.

Figura 11 – Coletor Solar Instalado



Fonte: (<http://www.soletrol.com.br/produtos/residencias-prontas>, 2016)

3.2 ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS COLETORES SOLARES

A eficiência de um coletor pode ser definida como o produto da energia térmica utilizada pelo total da irradiação de energia solar incidente. A eficiência é influenciada diretamente pelas características do coletor, principalmente pelas perdas por reflexão. Temos que:

$$\eta = Q_N/I \quad (1)$$

No qual:

η - Rendimento;

Q_N – Potência térmica disponível (W/m^2);

I – Irradiação que atinge a superfície do coletor (W/m^2).

As perdas térmicas totais são diretamente dependentes da diferença de temperatura entre o coletor solar e o ar exterior, da insolação incidente e dos aspectos

construtivos do coletor. A influência da construção é descrita através do coeficiente global de perdas, expresso em W/m^2K .

Já a potência térmica disponível é calculada por meio da irradiação disponível no aquecedor solar plano que é convertido em calor útil, subtraído das perdas térmicas de transmissão, convecção e irradiação.

$$Q_N = Q_V - E_N \quad (2)$$

No qual:

Q_V – Irradiação disponível (W/m^2);

E_N – Perdas térmicas (W/m^2).

Estas fórmulas servem para serem comparadas afim de avaliar a qualidade e eficiência para diferentes tipos de coletores solares.

As perdas ópticas (Π_o) descrevem a proporção de irradiação solar que não pode ser absorvida pela placa do aquecedor solar, sendo diretamente dependendo da transparência da cobertura de vidro, expressa pelo coeficiente de transmissão (τ) e pela capacidade de absorção da superfície da placa, coeficiente de absorção (α) e são descritas pela fórmula:

$$\Pi_o = \tau \times \alpha \quad (3)$$

De um modo geral, por conceito, os coletores planos devem apresentar uma eficiência óptica inferior a 0,8 e um valor do coeficiente global de perdas inferior a $6 W/m^2K$, afim de serem considerados equipamentos eficientes.

Para tanto, as perdas térmicas dependem da diferença de temperatura entre o trocador de calor e o ar (ΔT). Esta é considerada uma relação linear e pode ser descrita com a utilização do coeficiente global de perdas (U_L):

$$E_M = U_L \times \Delta T \quad (4)$$

A eficiência média anual de um sistema completo com coletores planos apresenta valores entre 35 e 40%, ou seja, para um montante anual de $1.000 kWh/m^2$ de radiação solar incidente, a produção de energia útil correspondente deve ser aproximadamente 350 ou 400 kWh/m^2 (ALTENER, 2004).

3.3 AQUECEDORES DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA

Inicialmente, os projetos de empreendimentos localizados nos municípios das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste viriam contemplados com sistemas de aquecimento d'água. Com uma meta de atingir 1 milhão de casas em todo o país, o preço teto de cada aquecedor foi estipulado em R\$2.500,00 para residências verticais e R\$2.000,00 para unidades horizontais. É comum as empreiteiras oferecerem certa resistência ao tema, pois pode significar um pouco mais de trabalho para eles. A recomendação é que o importante é que o Município seja firme e ter como diretriz ações ambientais e sociais que reduzam as emissões e poupem dinheiro da população.

A maioria dos sistemas não necessitam que sejam quebradas as paredes e/ou azulejos para a sua implantação, necessitando apenas que a residência possua a rede hidráulica de água quente e de água fria nos locais onde desejar. O equipamento já acompanha um kit hidráulico de tubos especiais para a água quente pronto para instalação. O mesmo também possibilita a instalação mútua com chuveiro elétrico, para este ser usado em dias chuvosos.

3.3.1 DETALHES TÉCNICOS

Placa Coletora

- Material: tubos de cobre e aletas em alumínio enegrecido.
- Isolamento Térmico: manta de polietileno “aluminizado”.
- Dimensões aproximadas: 1,00 x 1,50 x 0,06 cm (AxLxP).
- Vedação: vidro liso transparente e borracha de silicone.
- Perfil em monobloco de alumínio.

Reservatório de 200lts

- Material: tubos de cobre e aletas em alumínio enegrecido.
- Isolamento térmico com poliuretano expandido rígido.
- Dimensões: 0,50mm x 1400mm (diâmetro x Comprimento externo).
- Pode ser alimentado pela rede de água pública.
- Pressão de trabalho interno máxima 5 M.C.A.

4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Fotovoltaico é uma tecnologia que gera corrente elétrica (nível DC) a partir de semicondutores quando estes são iluminados por fótons. Enquanto há brilho de luz nas células solares (nome dado para o elemento individual do painel fotovoltaico), é gerado eletricidade. Quando a luz acaba, a produção é interrompida. As células solares nunca precisam serem recarregadas como uma bateria. Um exemplo são as placas que operam no espaço por mais de 30 anos.

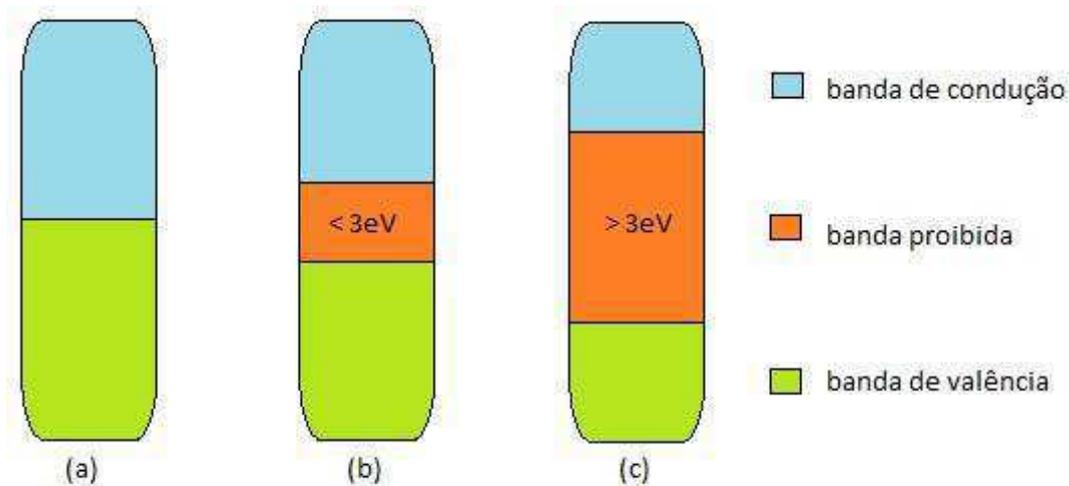
4.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O cristal de silício puro não possui elétrons livres e, portanto é um mal condutor elétrico. Para alterar isto acrescentam-se porcentagens de outros elementos, processo denominado de dopagem. São exemplos de materiais semicondutores: o silício, arsenieto de gálio ou disselenieto de cobre e índio. Na tabela periódica, os elementos semicondutores pertencem principalmente aos grupos 14 a 16, incluindo Carbono (C), o próprio Silício (Si), Arsênio (As), Fósforo (P), Selênio (Se) e Telúrio (Te). A mais comum é a célula de silício cristalina. Por volta de 95% de todas as células solares do mundo são de silício. Numa posição próxima a do oxigênio, é o segundo elemento químico mais frequentemente utilizado na terra. Este elemento químico é encontrado apenas associado a areia de sílica.

Os semicondutores se caracterizam por possuírem uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução “vazia” (sem elétrons) na temperatura de zero absoluto (0 K). Assim sendo, um semicondutor comporta-se como um isolante de 0 K.

A separação entre as duas bandas de energia permitidas dos materiais semicondutores, denominada de banda proibida (ou *gap*), pode atingir até 3 eV (elétron-volt), diferenciando estes materiais dos materiais considerados isolantes, onde a banda proibida supera este valor. A figura 12 apresenta a estrutura de separação de bandas e energia para condutores, semicondutores e isolantes.

Figura 12 – Estrutura de Bandas de Energia em (a) condutores, (b) semicondutores e (c) isolantes.



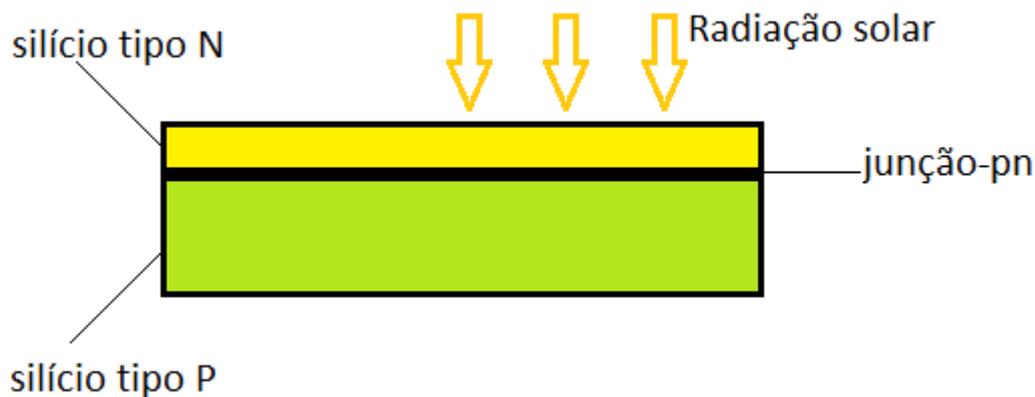
Fonte: (PINHO e GALDINO), 2014.

Em função da existência de bandas de energia, uma característica importante dos semicondutores é o aumento da condutividade com a temperatura, proporcionado pela excitação térmica de elétrons da banda de valência para a banda de condução, deixando na banda de valência as lacunas, as quais constituem portadores de carga positiva, cuja mobilidade, todavia, é cerca de um terço da dos elétrons da banda de condução. Então, para temperaturas superiores a 0° K, há sempre no semicondutor um certo número de elétrons ocupando a banda de condução e o mesmo número de lacunas na banda de valência, denominados portadores intrínsecos.

A dopagem do silício com o fósforo obtém-se um material com elétrons livres ou materiais com portadores de carga negativa (silício tipo N). Realizando o mesmo processo, mas agora acrescentando Boro ao invés de Fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, falta de elétrons ou material com cargas positivas livres (silício tipo P).

Cada célula solar compõe-se de camada fina de material tipo N e outra mais grossa da camada tipo P.

Figura 13 – Exemplo de uma célula Fotovoltaica



Fonte: (CASSIO NASCIMENTO, 2004).

Separadamente, ambas as capas são eletricamente neutras. Mas ao serem unidas, na junção P-N, forma-se um campo elétrico devido aos elétrons livres do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P. Ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons chocam-se com outros elétrons da estrutura do silício fornecendo-lhes energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo elétrico gerado pela junção P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada P para a camada N (Cássio Nascimento, 2004).

Por meio de um condutor externo, ligando a camada negativa a positiva, gera-se um fluxo de elétrons (corrente elétrica). Esta intensidade de corrente elétrica gerada variará de acordo com a incidência dos raios luminosos sobre a placa. A mesma célula não tem capacidade de armazenar energia, sendo necessário a ligação com um circuito elétrico enquanto estiver produzindo energia. A este fenômeno se dá o nome de Efeito Fotovoltaico, que é a conversão de energia luminosa em energia elétrica associada a uma corrente elétrica e uma diferença de potencial.

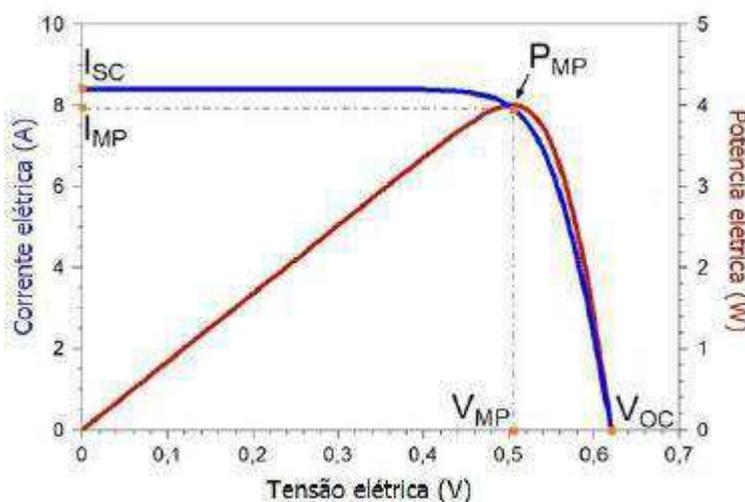
Os fatores que limitam a eficiência de conversão de uma célula fotovoltaica são: 1) reflexão na superfície frontal; 2) sombra proporcionada pela área da malha metálica na face frontal; 3) temperatura das células; 4) absorção nula de fótons de energia menor que do que o gap ($E_f < E_g$); 5) baixa probabilidade de coleta, pela junção P-N, dos portadores de carga gerados fora da zona de carga espacial; 6) recombinação dos portadores de carga, isto é, o “reencontro” dos elétrons e lacunas em impurezas e defeitos do material e 7) resistência elétrica no dispositivo e nos contatos metal-semicondutor, bem como possíveis caminhos de fuga da corrente elétrica (resistência em paralelo) (João; Marco, 2014).

4.2 CURVA CARACTERÍSTICA IxV

O funcionamento dos módulos fotovoltaicos é descrito pela curva característica corrente-tensão, definida para as condições STC (*Standard Test Conditions*). Os fabricantes dos módulos fotovoltaicos fornecem, em geral, um conjunto de parâmetros característicos extraídos da curva IxV, a corrente de curto circuito, I_{sc} , a tensão em circuito aberto, V_{oc} , a potência máxima ou potência de pico, P_{MP} , os coeficientes de variação da corrente e tensão com a temperatura, e a tensão e corrente no ponto de potência máxima, V_{MP} e I_{MP} .

Esta curva característica é obtida fazendo variar a carga aos seus terminais, normalmente através da ligação a um equipamento com condensadores que são carregados de uma forma controlada. Com o condensador descarregado, toda a corrente produzida pelo módulo poderá fluir para o condensador e neste caso a corrente é máxima e igual a corrente de curto-circuito, I_{sc} , não havendo oposição a passagem da corrente, a tensão aos terminais do módulo é nula. Com o condensador completamente carregado, a oposição a passagem de corrente é tão elevada que esta deixa de fluir, e a tensão toma o seu valor máximo, o da tensão de curto-circuito, V_{oc} . Estes fabricantes geralmente utilizam a definição da norma IEC 61215, a qual estabelece o valor da radiação solar de 1000 W/m^2 a temperatura das células de 25°C .

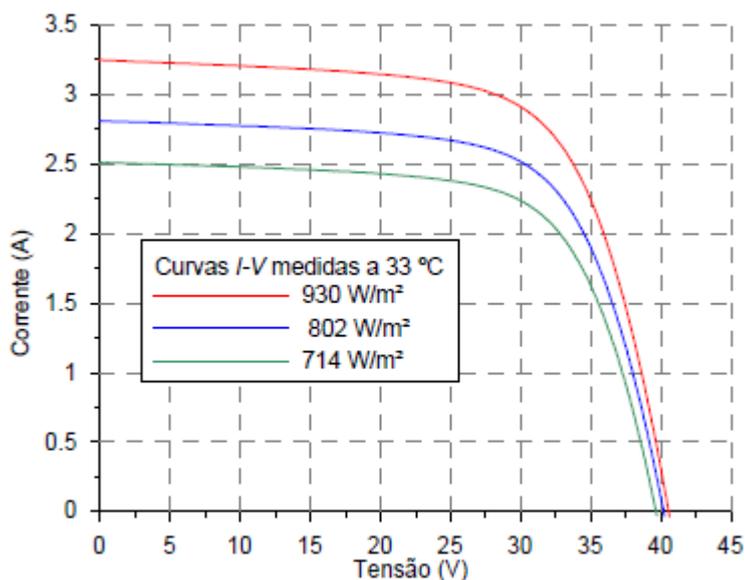
Figura 14 – Curva IxV de um módulo fotovoltaico



Fonte: (Buhler, 2007)

A corrente elétrica em uma célula fotovoltaica está diretamente relacionada com a irradiância incidente. Quantidades diferentes de irradiância produzem quantidades diferentes de corrente elétrica. Essa variação ocorre de maneira linearmente proporcional, ou seja, quanto maior a irradiação maior será a corrente gerada. Na Figura 15 é apresentada a curva característica em função de diversos valores de irradiância. Segundo a norma NBR – 1386, a irradiância padrão para a determinação da curva característica é de 1000 W/m^2 .

Figura 15 – Curva I x V em função de diferentes Irradiâncias

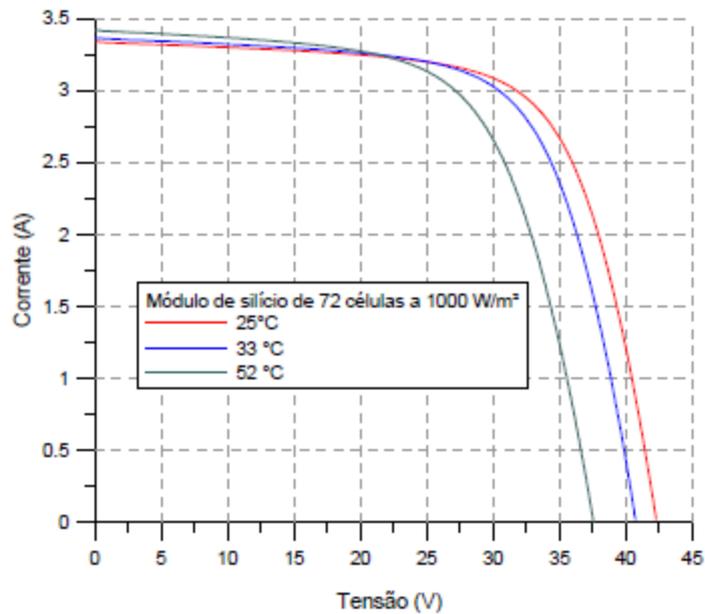


Fonte: (Buhler, 2007)

Da mesma maneira que a irradiância, a temperatura também influi na forma da curva característica de um dispositivo fotovoltaico. Essa influência ocorre mais profundamente na corrente de curto-circuito, que aumenta ligeiramente com o aumento da temperatura. Isso ocorre porque com o aumento da temperatura há uma diminuição no valor da banda de energia do material. A tensão também sofre variação devido à temperatura. Essa variação se dá de forma linear e o incremento exponencial da corrente de saturação reversa faz com que a tensão decaia.

Assim, para maiores valores de temperatura, a tensão diminuirá como pode-se verificar na Figura 16.

Figura 16 – Curva I x V em função de diferentes temperaturas.



Fonte: (Buhler, 2007)

Este fenômeno implica em uma menor potência.

4.3 ASSOCIAÇÕES DE CÉLULAS E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O módulo é composto por células conectadas em série e em paralelo com a finalidade de produzir níveis de tensão e corrente suficientes para a utilização para a utilização da energia, visto que apenas uma célula fotovoltaica fornece em torno de 0,6 V e uma densidade de corrente na ordem de 30 mA/cm². Além de fornecer níveis de tensão e corrente desejáveis, o agrupamento de células em um módulo é necessário para proteção contra esforços mecânicos e fatores ambientais, pois as células apresentam uma espessura muito reduzida.

Um exemplo básico é que para carregar uma bateria de 12 V, os módulos devem produzir aproximadamente 16 V devido ao efeito da temperatura e as perdas que ocorrem nos cabos de diodo de bloqueio.

4.3.1 ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE

Nesta associação, o terminal positivo de um painel fotovoltaico é conectado ao negativo do outro dispositivo, e assim sucessivamente. Para dispositivos idênticos e

submetidos a mesma irradiância, quando a ligação é em série, as tensões são somadas e a corrente elétrica não é afetada, ou seja:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

Este resultado pode ser ilustrado por meio da característica I-V. Se os dispositivos são idênticos e encontram-se sob as mesmas condições de irradiância e temperatura, então, as correntes elétricas individuais são iguais. No caso de se associarem os dispositivos em série com diferentes correntes de curto-circuito, a corrente elétrica da associação será limitada pela menor corrente. Esta associação de módulos com correntes diferentes não é recomendada na prática, pois pode causar sobreaquecimento.

4.3.2 ASSOCIAÇÃO EM PARALELO

Já neste caso, os terminais positivos dos dispositivos são interligados entre si, acontecendo o mesmo com os terminais negativos. As correntes elétricas são somadas, permanecendo inalterada a tensão. Ou seja:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

4.4 RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482/2012 E 687/2015

A Resolução Normativa nº 482/2012 criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, permitindo que o consumidor instale pequenos geradores (tais como painéis solares fotovoltaicos, microturbinas eólicas, entre outros) em sua unidade consumidora e deposite o excesso de energia no sistema elétrico da distribuidora local com objetivo de reduzir o valor da sua fatura de energia elétrica.

O empreendimento abordado neste trabalho utiliza a normativa 482 como base para emprestar, sem custo para ambos os lados, o excedente de energia gerada por cada residência. De 2012 para cá, essa normativa teve uma evoluída considerável a qual possibilitou principalmente a criação da geração compartilhada, onde consumidores ou cooperativas podem se reunir e gerar a energia para mais de um consumidor, barateando os custos finais de instalação, desde que a porcentagem de geração seja predeterminada a concessionária.

Desde de 1º de março de 2016, a revisão dessa normativa, chamada de Resolução Normativa nº 687, trouxe, entre a vantagem citada anteriormente, o aumento da categoria denominada microgeração distribuída, passando agora para até 75 kW e o aumento da categoria de minigeração para a faixa de 75 kW até 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), que podem ser conectadas a rede de distribuição local.

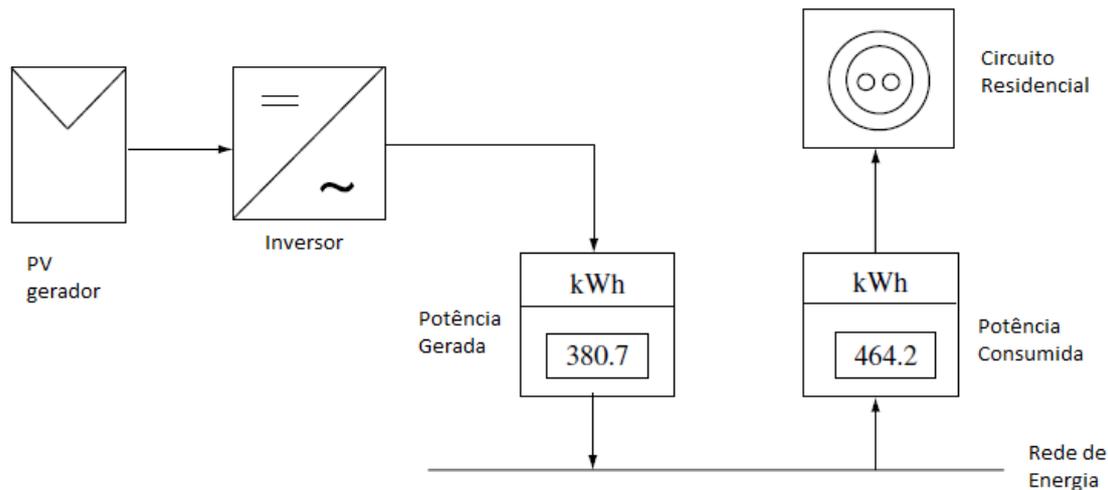
Quanto a energia que não for consumida no mês, agora passa de 36 para 60 meses o vencimento dos créditos, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora.

A revisão da normativa também trata dos 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 (ANEEL.GOV.BR, 2015).

4.5 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

Sistema fotovoltaico pode ser conectado ao serviço público de energia através de um inversor adequado, conforme a Figura 17.

Figura 17 – Diagrama de um sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: (Antonio Luque & Steven Hegedus, 2003, traduzido pelo autor)

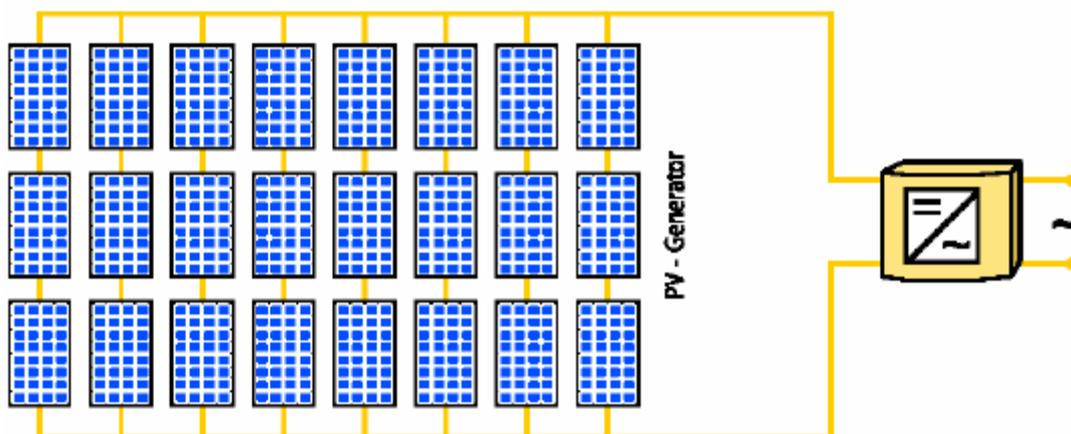
Neste caso não é necessário um armazenamento de energia. Toda a energia gerada pelos painéis é consumida ou entregue a concessionária, a fim de garantir créditos (no caso do Brasil) e abater na fatura final de energia.

4.5.1 INVERSORES

Embora simples de ser comprado, uma parte importante da instalação é a escolha do inversor. Este é o maior receio das distribuidoras de energia quando se trata de uma geração conectada à rede. A consulta de catálogos de fabricantes e de literatura que reporta os resultados de testes levados a cabo para medir o rendimento de vários inversores, permite concluir que o rendimento do inversor é pouco sensível a variações de carga, mantendo-se sensivelmente constante numa faixa bastante alargada de regimes de funcionamento. Apesar disso, as concessionárias têm de se prevenir para não aceitar uma energia com má qualidade ou diferente da adotada pelo sistema. Um rendimento do inversor considerado muito bom, e muitas vezes tomado como referência, é de 90%.

Durante muito tempo, foi comum utilizar um único e grande inversor central para todo o sistema. Atualmente, os sistemas de dimensão média, estão com uma tendência para a instalação de vários inversores de pequena dimensão (conceito de inversor descentralizado).

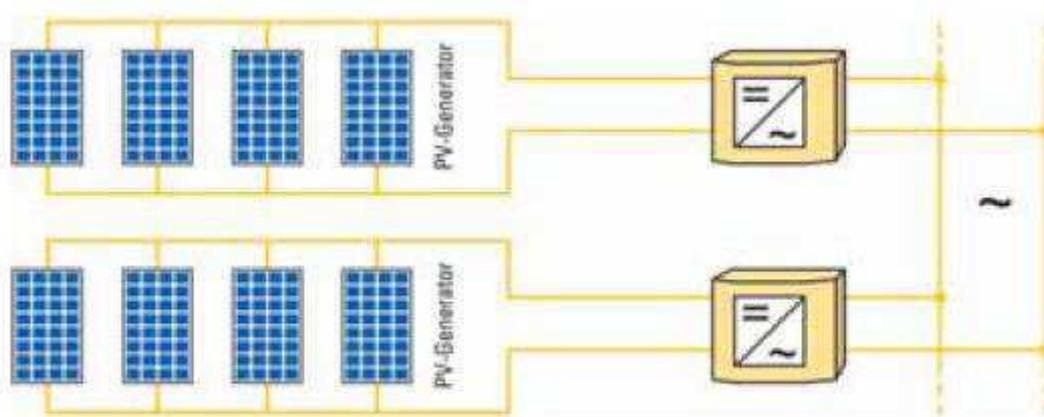
Figura 18 – Configuração de um sistema com tensão reduzida com um inversor central



Fonte: (GREENPRO, 2004)

A principal vantagem, dentre poucas, do inversor centralizado é o preço. Recomenda-se inversores descentralizados para subsistemas com áreas de captação individuais, com diferentes orientações ou inclinações das placas, ou que estão parcialmente sombreados. Além de darem uma eficiência melhor ao sistema, já que, por exemplo, uma corrente diferente em uma das placas pode afetar a ligação em série. Esta regra permite uma melhor adaptação da potência às condições de irradiação.

Figura 19 – Configuração de uma ligação com inversores descentralizados



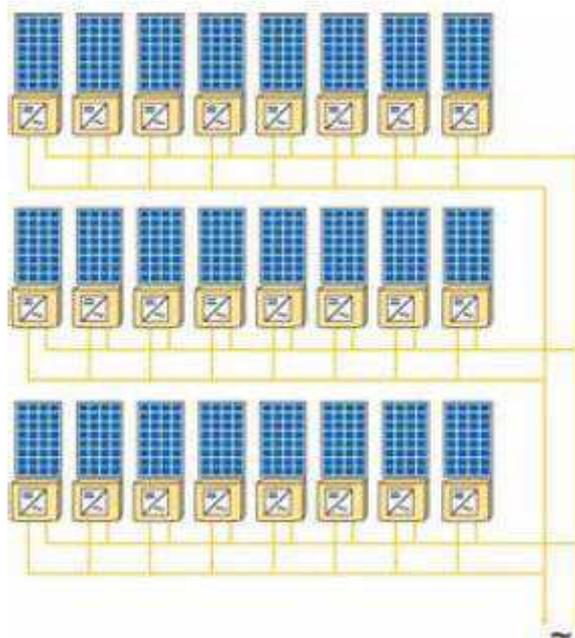
Fonte: (GREENPRO, 2009)

Um dos pré-requisitos para a maior eficiência global do sistema, consiste na compatibilidade entre os inversores e os módulos fotovoltaicos. Seria por certo mais vantajoso se cada módulo estivesse funcionando permanentemente no seu ponto de máxima potência (MPP). Na prática isto é possível. No entanto, o ajuste do MPP será sempre mais bem sucedido se os módulos fotovoltaicos e os inversores forem integrados

numa única unidade. Estas unidades módulos/inversores estão atualmente disponíveis no mercado e são designadas por módulos AC.

Alguns destes aparelhos são tão pequenos que possibilitam a montagem na própria caixa de junção do módulo.

Figura 20 – Configuração do sistema com módulos AC



Fonte: (GREENPRO, 2004)

4.5.1.1 INVERSOR UTILIZADO

O inversor escolhido foi o Micro Inversor modelos SUN-600G, descrito na tabela 1. Os três painéis fotovoltaicos ligados em paralelo estão conectados diretamente ao micro inversor nos bornes de entrada de corrente contínua (CC). Do borne de saída em CA, um condutor está conectado diretamente a um disjuntor de 10^a instalado na caixa de comando e distribuição, interna na residência, onde é interligado ao condutor de entrada (barramento) vindo do medidor da rede elétrica da Energisa.

Tabela 1 – Descrição do Micro Inversor Mod. SUN-600G

Pot. Nominal de saída CA	540W
Pot. Máxima de saída AC	600W
Tensão de saída AC	190V ~ 260V

Frequência de saída AC	46Hz ~65Hz
THD – Distorção Harmônica Total	<5%
Fator de Potência	0,99
Tensão de Entrada DC	22V ~ 60V
Eficiência do Inversor de Pico	92%
Possui proteção contra superaquecimento Possui proteção contra ligação de polaridade inversa Equipado com sistema para proteção sobre corrente Proteção anti-ilha (Anti-Island Protection)	Sim

Fonte: (GRID TIE, 2014)

4.5.2 PV UTILIZADO

Em cada telhado será instalado 03 (três) painéis solar fotovoltaicos (PV's) e uma inclinação média de 15°, com as seguintes especificações: PV 200Wp/36V – Vmp(V) 36,6; Imp(A) 5,63; Voc(V) 43,5; Isc(A) 6,3. Os três painéis foram ligados em paralelo e apresentam características finais: 600W/36V – Vmp(V) 36,6; Imp(A) 11,26; Voc(V) 43,5; Isc(A) 12,6.

A potência nominal de geração de 600Wp, utilizando uma área da telhado de cobertura da residência de 3,91m², gera uma potência nominal final fornecida ao micro inversor de 540Wp. O painel é da fabricante Yingli Green Energy, tem dimensões 808 x 1.580 x 49mm e pesa 16Kg. O mesmo possui certificado exigido pelo INMETRO, o ISO 9001-2000. É do tipo policristalino, possui fusível de diodo de 15ª e limite de corrente reversa de 0,2A.

4.5.3 PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Basicamente, neste projeto, utilizamos premissas iguais as recomendadas por várias fontes no tema. A necessidade de uma proteção se torna indispensável quando o sistema é instalado em locais que já possuem uma proteção contra descargas ou em projetos fotovoltaicos que utilizam bases de apoio, deixando o sistema a uma altura consideravelmente alta a sua redondeza. Os sistemas fotovoltaicos não aumentam, normalmente, o risco do edifício de vir a ser atingido por uma descarga atmosférica.

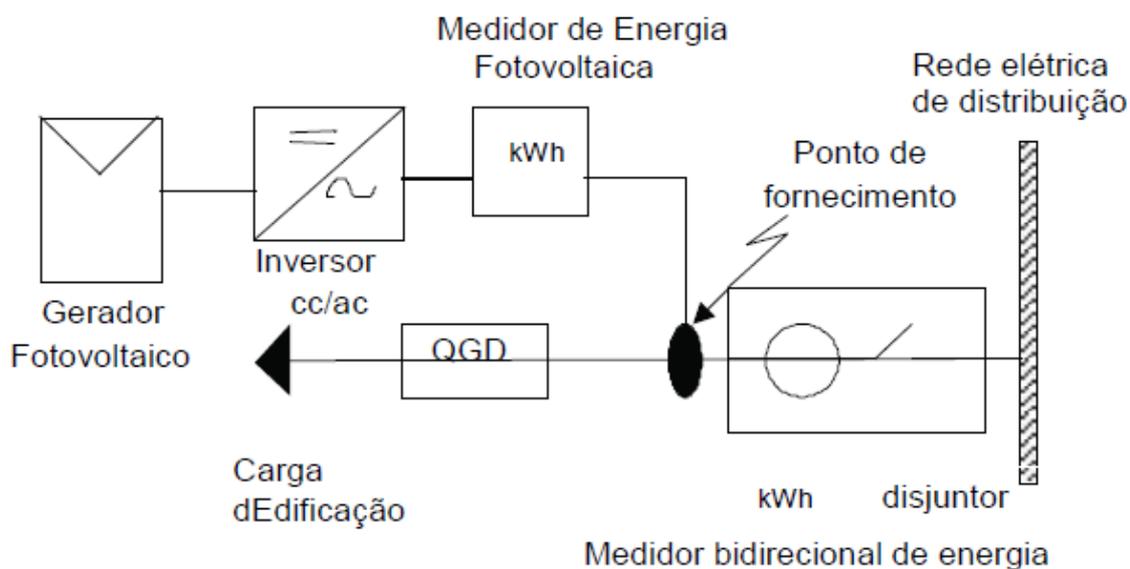
Se já existir um sistema de proteção, o gerador fotovoltaico deverá ser ligado ao mesmo. Feito por um especialista, o circuito de proteção interno do sistema fotovoltaico deverá ser executado de forma cuidadosa. Já os sistemas que são situados em locais expostos, deverão possuir um sistema próprio de proteção contra descargas atmosféricas.

Normalmente também se utiliza uma proteção contra sobretensões no lado AC do sistema.

4.5.4 LIGAÇÃO NA REDE ELÉTRICA PÚBLICA (PONTO DE INTERCONEXÃO)

Existem duas possibilidades que caracterizam o modelo de consumo da energia gerada. O primeiro, trata-se de uma interconexão entre o disjuntor geral da edificação, junto a medição, e o quadro geral de distribuição (Figura 21). Em casos em que utilizem o diferencial-residual geral (DR), o ponto deve ser colocado antes dele. A vantagem é que quando atua a proteção geral da instalação (disjuntor), isola o sistema fotovoltaico da rede de distribuição e a atuação desse disjuntor do quadro geral isola o usuário do sistema fotovoltaico.

Figura 21 – Esquema com Interconexão entre a medição e o consumo.



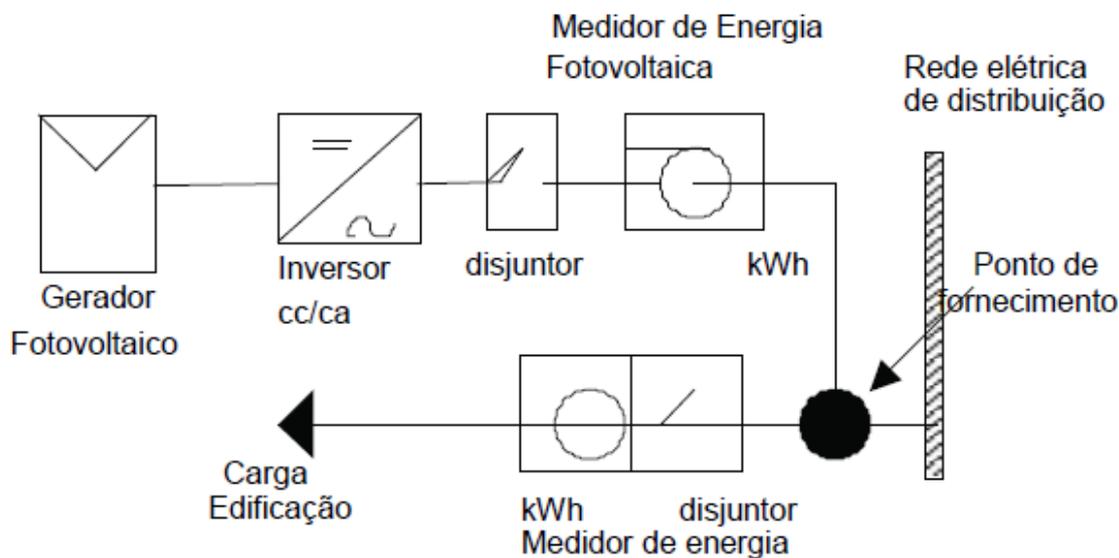
Fonte: (ORLANDO L. JÚNIOR, USP, 2005)

Nesta interconexão, pode-se observar que a energia gerada excedente da própria edificação será entregue à rede de distribuição, descontando o consumo acumulado no medidor, pois estes medidores são bidirecionais.

Esta ligação prioriza o consumo do cliente. O inversor é projetado para dar preferência a uma “matriz”, no caso o gerador de energia fotovoltaica. O excedente é jogado na rede como forma de crédito, num país como o Brasil, por exemplo.

Outra ligação possível para se fazer a interconexão é antes do disjuntos geral de medição (Figura 22). Neste caso, será necessário colocar outro disjuntos para isolar o sistema fotovoltaico da rede de distribuição.

Figura 22 – Esquema com Interconexão Antes da Medição



Fonte: (ORLANDO L. JÚNIOR, USP, 2005)

Neste esquema, a energia fotogerada será toda entregue a rede de distribuição. É a ligação mais comum, pois no final das contas, tomando como exemplo a Energisa, toda a energia produzida e entregue a concessionária será descontada na fatura. Até o presente momento (2016), não há alguma vantagem ou desvantagem, com relação a tributação, que justifique a não utilização deste sistema.

4.5.4.1 REQUISITOS DE PROTEÇÃO PARA CONEXÃO

(ENERGISA)

Os requisitos de proteção exigidos para as unidades consumidoras que façam a adesão ao sistema de compensação e se conectem à rede de baixa tensão seguem as determinações com os dispositivos da tabela 1.

Tabela 2 – Requisitos de proteção exigidos pela Energisa

Requisito de Proteção	Potência instalada até 75 kW
Elemento de desconexão (chave seccionadora)	SIM
Elemento de Interrupção (acionado por proteção)	SIM
Proteção de sub e sobretensão	SIM
Proteção de sub e sobrefrequência	SIM
Proteção de sobrecorrente	SIM
Relé de sincronismo	SIM
Anti-ilhamento	SIM

Fonte: (ENERGISA, 2016)

Conforme descrito na norma NDU 013, nos sistemas que se conectam à rede através de inversores, as proteções relacionadas na tabela 1 podem estar inseridas nos referidos equipamentos, sendo a redundância de proteções desnecessária.

5 ANÁLISE ECONÔMICA: ESTUDO DE CASO

Visando a parte prática, e mais importante, para ser usada como base para apresentações futuras, este tópico tem como objetivo uma análise de viabilidade entre os dois sistemas, afim de poder criar argumentos para esclarecer o melhor sistema solar para a região.

Com coletor solar, por ser uma forma de conversão de energia simples, não foi necessário ir a fundo nos cálculos. O que devemos saber é que, como mencionado anteriormente, o programa MCMV disponibiliza *boilers* com capacidade para 200 litros, geralmente com duas placas de coletores horizontais e comprimento de 1.20m e 0.56m de diâmetro. O custo total do sistema é de R\$2.000. Deve-se também considerar que estes aquecedores tem uma durabilidade de 15 a 20 anos, segundo o fabricante, dependendo também de uma boa conservação do usuário (como a limpeza dos coletores, por exemplo).

Tendo em mãos estes dados, e tomando como base o dimensionamento já explicado anteriormente, pode-se comparar a viabilidade deste sistema com o fotovoltaico ligado à rede. Mas antes, é necessário ver a parte econômica do sistema gerador de eletricidade.

5.1 VALORES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

De acordo com Almonacid (2004), existem três formas para se dimensionar o tamanho de um sistema fotovoltaico que será instalado de acordo com a potência nominal (em kWp) do gerador, são:

- a) Produção máxima de energia fotovoltaica;
- b) Produção de energia fotovoltaica equivalente ao consumo da instalação ao qual o gerador será conectado (autossuficiência líquida);
- c) Produção de energia fotovoltaica para atender uma determinada fração do consumo elétrico.

Em se tratando de um conjunto habitacional, normalmente se usa a terceira opção citada a cima devido aos recursos financeiros para a realização dos empreendimentos serem limitados. Partindo como base a necessidade de suprir parte do consumo elétrico

do beneficiário, foi necessário fazer uma pesquisa com o histórico de consumo dos futuros beneficiários.

Partindo dos sorteados (Rosinalva Coutinho, Evandro Oliveira, Monica Amorim, Ednaldo Carvalho, Raquel Pereira, Maria Saulustiano, Dayse Batista e João Batista da Silva), e tendo um conhecimento preliminar dos gastos de uma residência em um conjunto habitacional, o valor médio de consumo de energia elétrica é de 140kWh/mês.

A partir da potência nominal do gerador fotovoltaico, o dimensionamento dos módulos necessários é dado pela equação 5:

$$N = \frac{Pt}{Pp} \quad (5)$$

No qual:

N – número de módulos necessários;

Pt – potência nominal total de instalação fotovoltaica, em Wp;

Pp – potência nominal de cada painel escolhido, em Wp.

A partir do valor base, foi projetado um sistema que atendesse ao menos metade da demanda desses consumidores. Foi escolhido um sistema de potência nominal de 600Wp que geraria entre 60 e 70kWh por mês. Pela maior disponibilidade do mercado, foi escolhido o módulo de 200Wp. Portanto, calculou-se a necessidade de 3 painéis fotovoltaicos do mesmo para cada residência.

Quanto ao inversor, no país ainda existem poucos laboratórios credenciados a certificar estes aparelhos, reduzindo a quantidade de produtos disponíveis no mercado e aumentando necessidade de importação (com certificado de aprovação do país de origem). Foi escolhido o modelo SUN-600G muito popular no *ecommerce* e importado. O mesmo tem uma potência nominal de saída CA de 540W e potência máxima de 600W. Como os painéis geram no máximo 600W em sua máxima eficiência, este inversor atende as exigências de funcionamento.

Partindo do princípio que obras públicas precisam ser feitas por vencedores de licitações, a construtora Jetta era a responsável pela construção dessas casas populares. Conseqüentemente foi ela a responsável por contratar um serviço de compra e instalação dos painéis solares para este projeto. A empresa escolhida foi a US Matic, do responsável técnico Misael Elias de Moraes.

De acordo com a ART e os documentos necessários para execução do projeto, o projeto teve como valor final de execução, divulgado pela US Matica, R\$52.512,80. Incluindo todas as despesas necessárias para a instalação nas oito residências, ficou um valor de R\$6.564,00 para cada casa.

5.2 ENERGIA GERADA E CONSUMIDA

Desde o começo, sabendo da realidade de uma empresa de poder público, as instalações solares tinham uma projeção de diminuir a fatura dos moradores necessitados e não a intenção de zerar o consumo pela rede pública. Como pode-se ver na Figura 23, ouve uma devolução da energia gerada em horário de pico, ou seja, uma geração maior que o consumo.

Figura 23 – Fatura de um dos beneficiário

Endereço da Unidade Consumidora:
RUA MARIA FRANCISCA DA CUNHA, S/N - Q 200 SL H
JOAO PESSOA (AG: 1)

Classe/Subclasse: COM MTC B3-4711/COMERCIAL-OUTROS SERVIÇOS E OUTRAS ATIVIDADES
Roteiro: 003 - 005 - 332 - 3040
LIGAÇÃO: MONOFÁSICO
Nº do Medidor: DOM. BANC.
MATRÍCULA: CNPJ
DOM. ENT.: Ins. Est.

ENERGISA
SOL, INOVAÇÃO, EFICIÊNCIA

ENERGISA PARABÁ DISTRIBUIDORA DE ENERGIA SA
BR200 KM 26, S/N - CRISTO REDENTOR - JOAO PESSOA / PB - CEP 58071-680
CNPJ 08 095 185/0001-40 Ins. Est. 001.001.982-30
Nota Fiscal/Conta de Energia Elétrica
Nº: 000.514.081

Atendimento ao Cliente ENERGISA
Ao ligar, tenha sempre em mãos a conta. ☎ 0800 083 0196 ligação gratuita Acesse: www.energisa.com.br

SEGUNDA VIA Emissão: 09/12/2014 Identificador para Débito Automático:

CDC - CÓDIGO DO CONSUMIDOR	Demonstrativo			
	Descrição	Consumo	Tarifa	Valor
	Consumo em kWh	72,00	0,36787	26,48
	PIS			0,60
	COPINS			2,77
	CONTRIB SERV. ILUM. PÚBLICA			1,77
	DEVOÇÃO CONSUMO MIC. GERAÇÃO 12/2014			-24,27
	ICMS (Base de Cálculo R\$ 39,80 Alíquota 25,00%)			9,94

Conta referente a
Dezembro/2014

Apresentação
12/12/2014

Data prevista da próxima leitura
07/01/2015

Fonte: (energisa.com.br, 2015)

Através do acompanhamento das faturas pelo site da Energisa, ficou comprovada a redução do valor, alguns casos, em mais da metade do consumo, como serão representados pelos tópicos a seguir. Vale salientar que o sistema de geração foi implantado no mês de setembro, entretanto o medidor bidirecional só foi instalado pela Energisa no mês de novembro/2014.

Nos próximos tópicos estão mencionados os 8 contemplados pelo programa habitacional do Governo do Estado feito em João Pessoa no bairro Cidade Verde.

5.2.1 RESIDÊNCIA 1

Latitude: S 07° 10' 500.

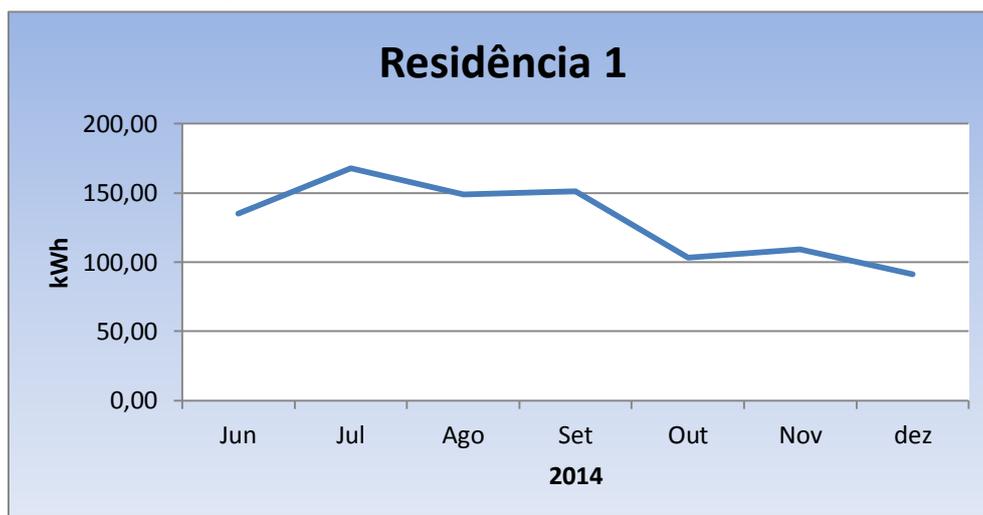
Longitude: W 34° 49' 705.

Tabela 3 – Consumo de energia ao longo dos meses (2014)

Nome	Faturado (Kwh)						
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Residência 1	135	168	149	151	103	109	91

Fonte: (energisa.com.br, 2015)

Figura 24 – Gráfico de consumo do beneficiário em kWh



Fonte: (CEHAP, 2015)

Tabela 4 – Consumo de energia atualizado (2016)

Nome	Faturado (kWh)				
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Residência 1	134	115	122	69	67

Fonte: (energisa.com.br, 2016)

Nesta residência obteve-se um dos melhores resultados na redução do consumo de energia elétrica, observado principalmente nos picos de geração.

5.2.2 RESIDÊNCIA 2

Latitude: S 07° 10' 509.

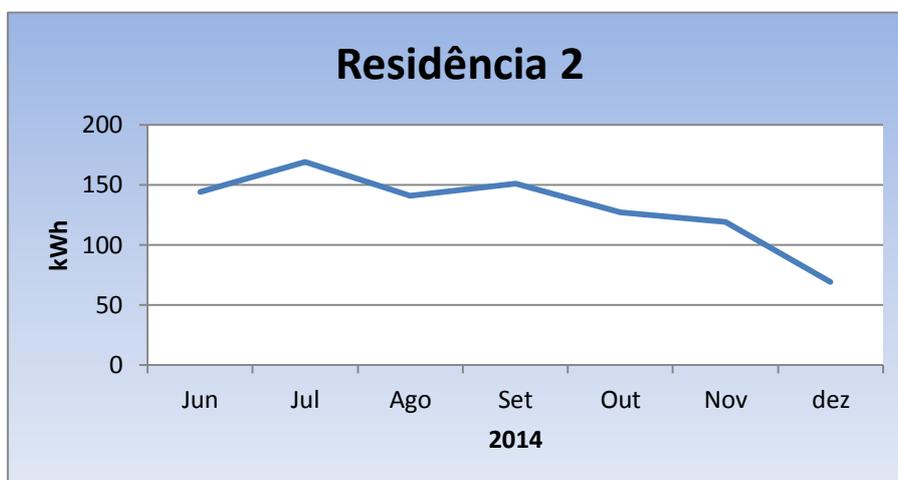
Longitude: W 34° 49' 704.

Tabela 5 - Consumo de energia ao longo dos meses (2014)

Nome	Faturado (Kwh)						
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Residência 2	144	169	141	151	127	119	69

Fonte: (energisa.com.br, 2015)

Figura 25 – Gráfico de consumo do beneficiário em kWh



Fonte: (CEHAP, 2015)

Tabela 6 – Consumo de energia atualizado (2016)

Nome	Faturado (kWh)				
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Residência 2	94	93	118	91	111

Fonte: (energisa.com.br, 2016)

5.2.3 RESIDÊNCIA 3

Latitude: S 07° 10' 518.

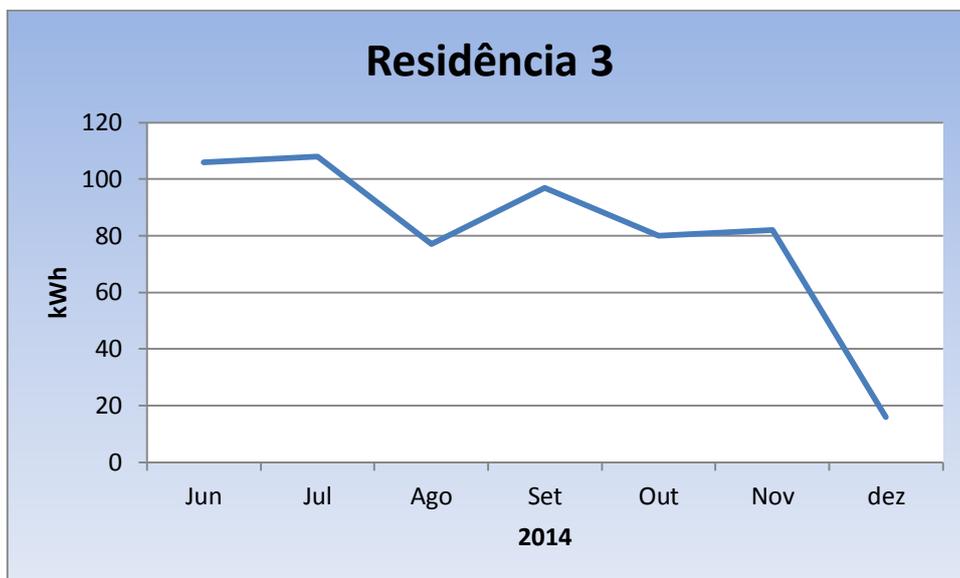
Longitude: W 34° 49' 706.

Tabela 7 - Consumo de energia ao longo dos meses (2014)

Nome	Faturado (Kwh)						
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Residência 3	105	111	78	95	80	82	17

Fonte: (energisa.com.br, 2015)

Figura 26 – Gráfico de consumo do beneficiário em kWh



Fonte: (CEHAP, 2015)

Tabela 8 – Consumo de energia atualizado (2016)

Nome	Faturado (kWh)				
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Residência 3	149	79	74	71	68

Fonte: (energisa.com.br, 2016)

5.2.4 RESIDÊNCIA 4

Latitude: S 07° 10' 497.

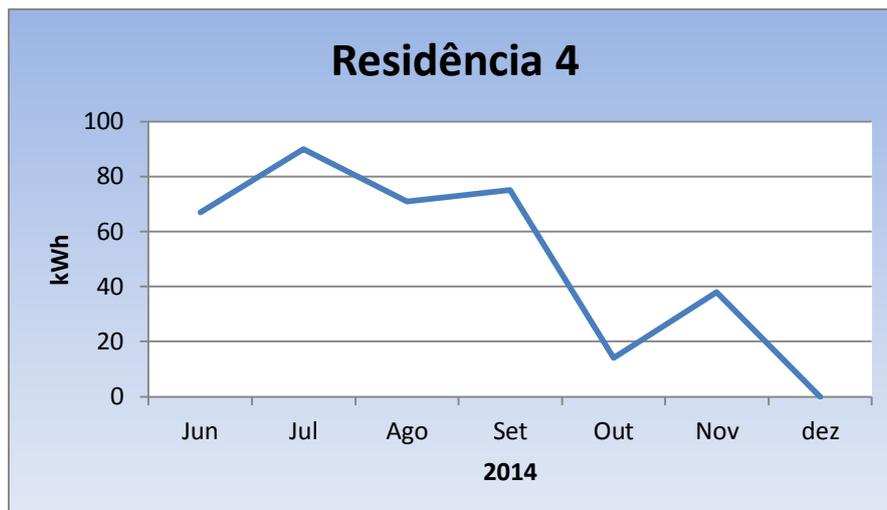
Longitude: W 34° 49' 713.

Tabela 9 - Consumo de energia ao longo dos meses (2014)

Nome	Faturado (Kwh)						
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Residência 4	67	90	71	75	14	38	0

Fonte: (energisa.com.br, 2015)

Figura 27 – Gráfico de Consumo do beneficiário em kWh



Fonte: (CEHAP, 2015)

Tabela 10 – Consumo de energia atualizado (2016)

Nome	Faturado (kWh)				
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Residência 4	0	13	0	0	15

Fonte: (energisa.com.br, 2016)

Neste caso é possível observar que, por causa da geração, chegou a zerar várias vezes a fatura do beneficiário. Gerando também créditos para uma utilização posterior.

5.2.5 RESIDÊNCIA 5

Latitude: S 07° 10' 513.

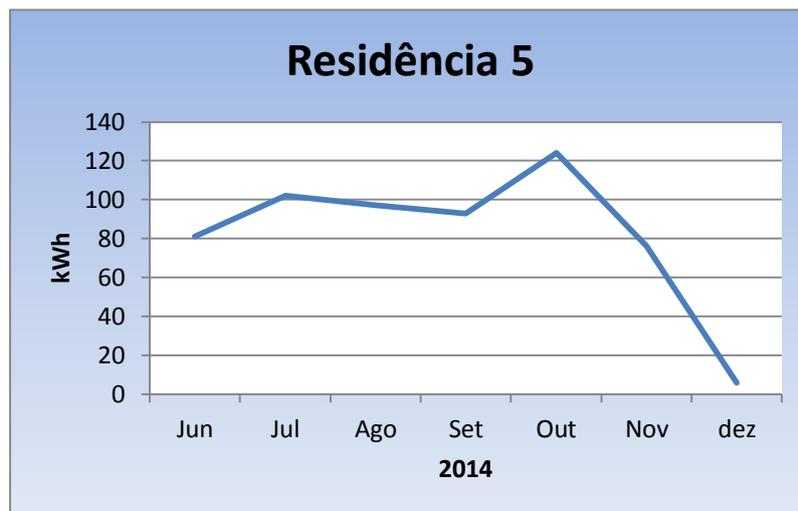
Longitude: W 34° 49' 719.

Tabela 11 - Consumo de energia ao longo dos meses (2014)

Nome	Faturado (Kwh)						
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Residência 5	81	102	97	93	124	76	6

Fonte: (energisa.com.br, 2015)

Figura 28 – Gráfico de consumo do beneficiário em kWh



Fonte: (CEHAP, 2015)

Tabela 12 – Consumo de energia atualizado (2016)

Nome	Faturado (kWh)				
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Residência 5	85	54	65	52	73

Fonte: (energisa.com.br, 2016)

5.2.6 RESIDÊNCIA 6

Latitude: S 07° 10' 514.

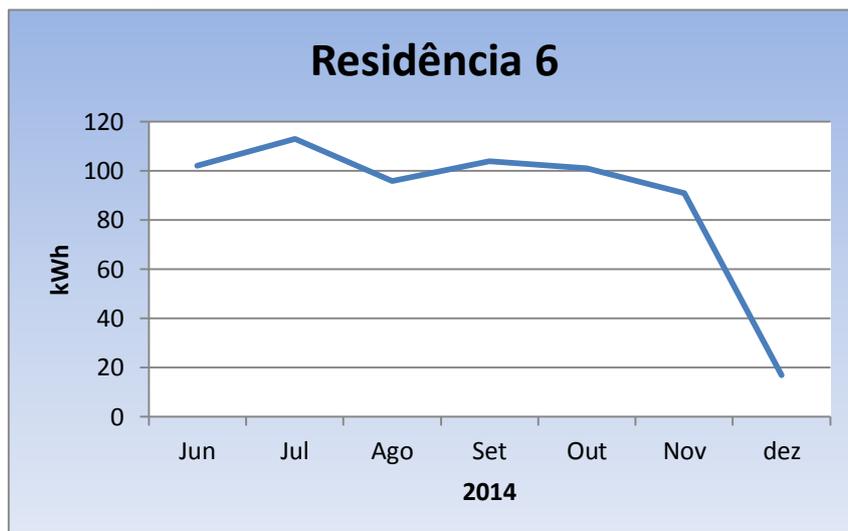
Longitude: W 34° 49' 716.

Tabela 13 - Consumo de energia ao longo dos meses (2014)

Nome	Faturado (Kwh)						
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Residência 6	102	113	96	104	101	91	17

Fonte: (energisa.com.br, 2015)

Figura 29 – Gráfico de Consumo do beneficiário em kWh



Fonte: (CEHAP, 2015)

Tabela 14 – Consumo de energia atualizado (2016)

Nome	Faturado (kWh)				
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Residência 6	46	32	61	46	105

Fonte: (energisa.com.br, 2016)

5.2.7 RESIDÊNCIA 7

Latitude: S 07° 10' 496.

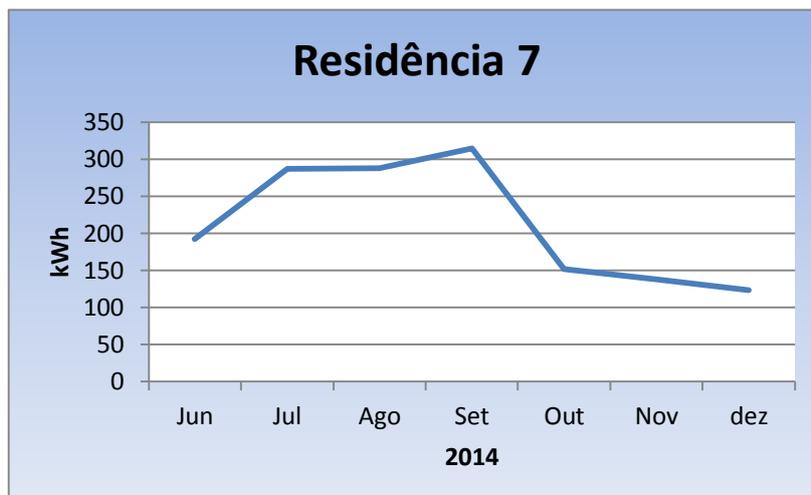
Longitude: W 34° 49' 717.

Tabela 15 - Consumo de energia ao longo dos meses (2014)

Nome	Faturado (Kwh)						
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Residência 7	192	287	288	314	152	138	123

Fonte: (energisa.com.br, 2015)

Figura 30 – Gráfico de Consumo do beneficiário em kWh



Fonte: (CEHAP, 2015)

Tabela 16 – Consumo de energia atualizado (2016)

Nome	Faturado (kWh)				
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Residência 7	232	190	219	201	240

Fonte: (energisa.com.br, 2016)

Neste caso, foi constatado um aumento do consumo desde a instalação. Fenômeno deverá ser evitado nos próximos empreendimentos através de palestras de conscientização feitas pelos engenheiros e responsáveis aos moradores de conjuntos habitacionais futuros.

5.2.8 RESIDÊNCIA 8

Latitude: S 07° 10' 504.

Longitude: W 34° 49' 716.

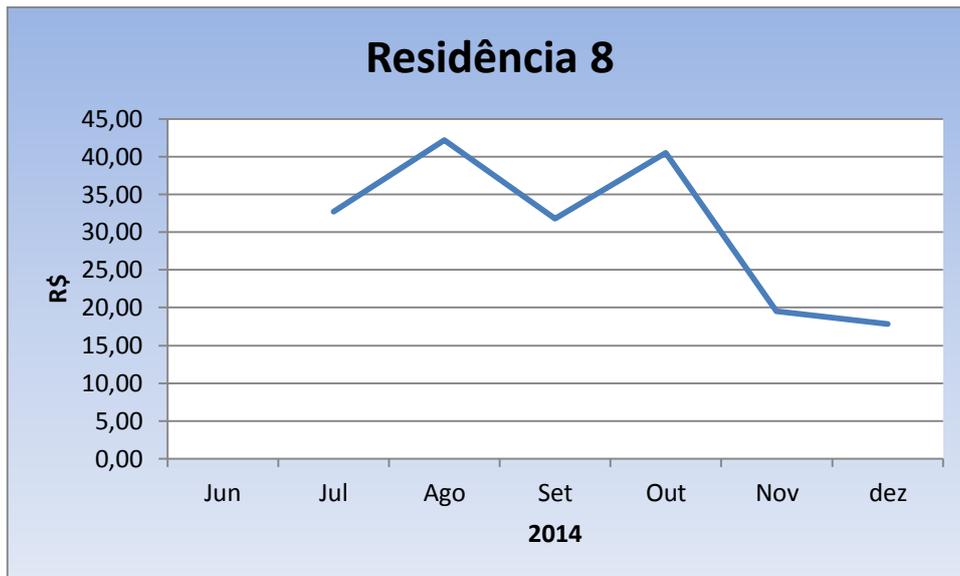
Tabela 17 - Consumo de energia, em R\$¹, ao longo dos meses (2014)

Nome	Consumo (Reais)						
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Residência 8	R\$ 31,50	R\$ 32,77	R\$ 42,24	R\$ 31,77	R\$ 40,55	R\$ 19,57	R\$ 17,82

Fonte: (CEHAP, 2015)

¹ A CEHAP não tinha os dados em kWh deste morador.

Figura 31 – Gráfico de Consumo do beneficiário em Reais (R\$)



Fonte: (CEHAP, 2015)

Tabela 18 – Consumo de energia atualizado (2016)

Nome	Faturado (kWh)				
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Residência 8	27	24	21	44	53

Fonte: (energisa.com.br, 2016)

5.3 CÁLCULO DA ENERGIA ECONOMIZADA

Para efetuar os cálculos da economia, é necessário tomar como base o valor da tarifa local. Em 2015, a Energisa efetuou um reajuste no qual passou de R\$0,368 para R\$0,418 o kWh, valores sem encargos (PIS, COFINS e ICMS). Portanto, a energia economizada durante um ano corresponderá, em termos financeiros, a uma redução dada pela equação abaixo:

$$R\$(eco) = Eg(ano) * T \quad (6)$$

Na qual:

R\$(eco) – valor em reais economizado durante um ano.

Eg(ano) – energia produzida pelo sistema fotovoltaico concentrado à rede e que deixará de ser comprada da concessionária.

T – tarifa, em R\$/kWh, que se paga à concessionária.

Então, o valor anualmente economizado será de:

$$R\$(eco) = 780 * 0,368$$

$$R\$(eco) = 287,04$$

Se considerarmos a tarifa atual:

$$R\$(eco) = 780 * 0,418$$

$$R\$(eco) = 326,04$$

Esses são os valores que, em média, os moradores deixaram e deixarão de pagar, respectivamente, anualmente de tarifa de energia elétrica por ter instalado o sistema de produção de energia elétrica com módulos fotovoltaicos.

5.3.1 PERÍODO DE RETORNO

Além da necessidade de um memorial descritivo explicando tecnicamente o sistema, é necessário também mostrar uma viabilidade econômica e um período de retorno, economicamente falando, deste sistema.

Em muitos casos, tecnologias mais eficientes requerem um alto custo de investimento. Torna-se necessária, então, uma metodologia que permita a avaliação financeira dos custos efetivos do investimento adicional. O custo efetivo depende da quantia adicional da quantidade adicional de investimento, da vida útil do investimento, da quantidade de energia economizada e de um fator que forneça o valor futuro de um investimento feito no presente.

O período de retorno simples (PRS) é uma conta simples a qual mede o prazo necessário para a recuperação do investimento realizado, faz uma comparação entre o investimento inicial na eficiência energética e as reais economias obtidas a cada ano, dada por:

$$PRS = \frac{\textit{investimento inicial (R\$)}}{\textit{economia anual (R\$)}} \quad (7)$$

Ou seja,

$$PRS = \frac{6.564,00}{326,04} = 20,13 \textit{ anos}$$

Vê-se que o investimento feito no sistema fotovoltaico se paga durando a vida útil prevista para o mesmo que é de 30 (trinta) anos. Entretanto, esse tipo de cálculo é simplista e de fácil utilização, porém não considera o valor do dinheiro no tempo, ou seja, o custo do capital. Por isso, utiliza-se uma outra fórmula econômica que é o Período de Retorno Descontado (PRD), que considera o valor do custo de capital, que é a taxa de desconto e o tempo de vida do investimento realizado. Assim, calcula-se o período de tempo em que o investimento será recuperado com a expressão abaixo:

$$PRD = n \times FRC(d, n) \times PRS = \text{investimento inicial (em anos)} \quad (8)$$

Na qual:

n – tempo de vida útil do investimento.

FRC – fator de recuperação do capital.

PRS – período de retorno simples.

O Fator de Recuperação de Capital (FRC) é outra figura de mérito econômico que é atualizada para a análise de alternativas energéticas, que anualiza o valor de um determinado investimento feito no presente, considerando uma determinada taxa d de desconto e um período de n anos.

$$FRC(d, n) = \frac{d \cdot (1+d)^n}{(1+d)^n - 1} \quad (9)$$

Na qual:

d – taxa de desconto.

n – número de anos.

Na equação (9), quanto mais elevada a taxa de desconto d , maior será o período de retorno descontado do capital e mais longo o prazo de recuperação do investimento realizado.

A título de informação, a CEHAP custeou o sistema com um pagamento a vista. Esta fórmula leva em consideração juros adquiridos de empréstimos para tal investimento. Como exemplo, será utilizado uma vida útil de 30 anos e a taxa de desconto é a definida por um empréstimo bancário de 12% (doze por cento) ao ano. Então, o Fator de Recuperação de Capital será:

Tabela 19 – Cálculo do fator de recuperação do capital.

Vida (anos)	30
Taxa de Desconto	12%
FRC	0,12414

Então, pode-se calcular o Período de Retorno Descontado

usando (4): $PRD = 30 \times 0,12414 \times 20,13 = 74,97 \text{ anos}$

Pode-se concluir que, se considerado os juros de um eventual empréstimo com taxa de 12% a.a., obtém-se uma taxa de retorno inviável a de instalação, sendo ela estimada em 2,5 vezes a vida útil do empreendimento.

Outro cálculo também importante e extremamente necessário é o cálculo do custo da energia em R\$/kWh, considerando-se, mais uma vez, a taxa de desconto (d), a inflação (i) e a vida útil do empreendimento de acordo com a seguinte equação:

$$VP1 = \left(\frac{1+i}{1+d}\right)^2 CI \quad (10)$$

Na qual:

VP1 – valor presente para um item que seria adquirido n anos mais tarde.

i – taxa de inflação.

d – taxa de desconto.

n – número de anos.

CI – custo inicial.

Ou seja,

$$VPI = \left(\frac{1+0,09}{1+0,12}\right)^2 \times 6.564 = R\$ 6.217,06$$

Vale ressaltar que os recursos para tal empreendimento não necessita de empréstimos, como foi o caso deste.

5.3.2 VIABILIDADE

Pode-se observar pelos dados dos capítulos anteriores o resultado positivo do empreendimento pioneiro realizado pela CEHAP. Em um dos casos, a fatura chegou a zerar o seu valor total, visto que, para moradores de conjuntos habitacionais doados pelo governo, não é cobrada a taxa mínima de utilização do sistema elétrico. A título de exemplo, abaixo, tem-se a fatura de um dos moradores provando esse fato.

Figura 32 – Fatura zerada de um dos moradores

0800 083 0196 ligação gratuita Acesse: www.energisa.com.br

Assão: 09/03/2016 Identificador para Débito Automático: 0001673841-1

Demonstrativo

Descrição	Consumo	Tarifa	Valor
Consumo em kWh	47,00	0,418	19,65
Adic. B. Vermelha			1,05
Adic. B. Amarela			0,17
PIS			0,24
COFINS			1,12
LANÇAMENTOS E SERVIÇOS			
JUROS DE MORA	02/2016		0,05
MULTA	02/2016		0,39
CREDITO A COMPENSAR (-)	03/2016		-1,85
DEVOLUÇÃO CONSUMO MIC. GERAÇÃO	03/2016		-20,82

	BASE DE CÁLCULO	ALÍQUOTA	VALOR (R\$)
ICMS	0,00	ISENTO	0,00
PIS	22,23	1,1100%	0,24
COFINS		5,0800%	1,12

Reservado ao Fisco

68c7.ee6f.6e6e.858f.19f4.bc95.b174.a334

VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR
21/03/2016	R\$ 0,00

RECIBO DO SACADO

Fonte: (energisa.com.br, 2016)

Devido ao excesso de gastos, a CEHAP não adquiriu um filtro de linha ou algum outro equipamento, o qual permitiria a coleta diária de dados sobre a geração do sistema. Sendo assim, não foi possível determinar um valor exato gerado por cada sistema fotovoltaico, sendo utilizado os valores de comparações entre faturas pré e pós instalação como critério.

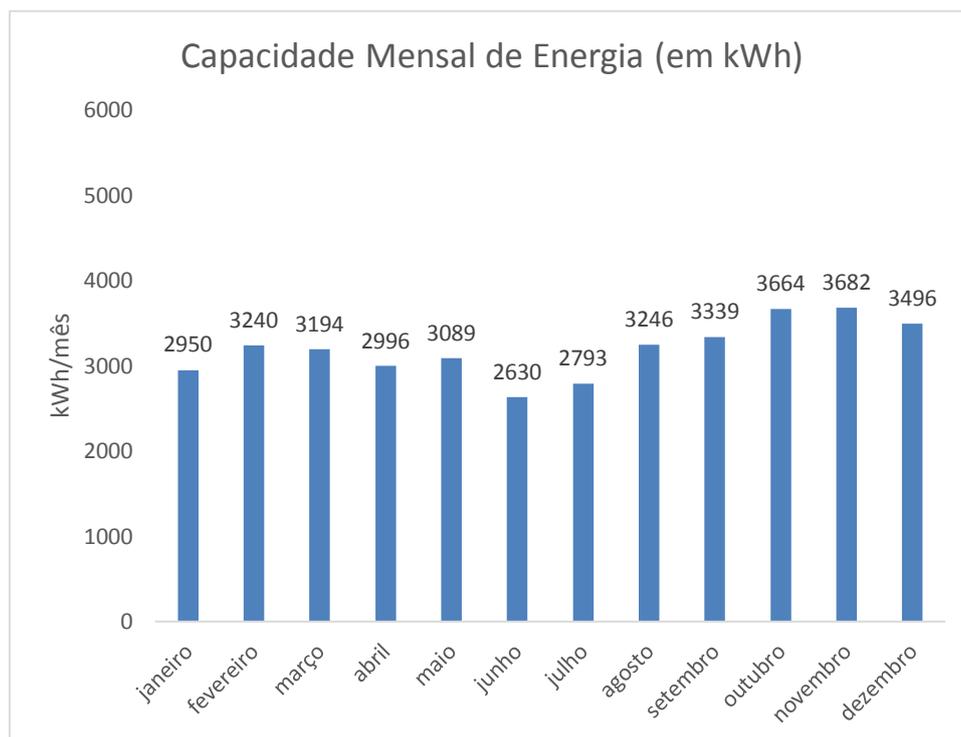
O projeto pioneiro atraiu visibilidade nacional e o interesse de implantar na próxima construção do governo do estado da Paraíba, em mangabeira, um conjunto habitacional com todas as residências participando do programa de compensação energética. Após a experiência do primeiro, esse próximo será com uma potência instalada bem maior e com a vantagem de ser um conjunto habitacional formado por condomínios de até 3 andares com 32 apartamentos, cada. Com um projeto estimado em 1000Wp por família, 400Wp a mais que o anterior, ele garante um custo total abaixo do anterior, visto que um das maiores motivos da redução do custo virá da quantidade de inversores, pois está previsto 1 ou 4 inversores por bloco para atender todos as 32 famílias, em vez de 1 por residência, como foi o caso do primeiro.

Tabela 20 – Valores para cada bloco de 32 apartamentos

Conjunto Habitacional em Mangabeira	
Área Superior Total	416 m ²
Área Do Projeto	136 m ²
Capacidade Instalada	21,23 kWp
Consumo Médio por Mês	3200 kWh/mês
Peso Médio por m ²	15 kg/m ²
Peso Total	2.040 kg
Quantidade de Inversores	1
Quantidade de Placas	85 placas de 250 Watts
Preço Médio	R\$ 137.973,49 a R\$ 180.426,87
Valor Médio Economizado ao Ano	R\$ 14.126,00
Retorno Total do Investimento	Média de 10 anos

O novo empreendimento, no qual este autor faz parte, está em fase de projeto já está sendo apresentado em convenções pelo Brasil pela presidente da companhia, Emília Lima, e tem o comprometimento do Governo Federal em disponibilizar mais recursos para atendê-lo. Ressaltando que o mesmo seria considerado uma revolução em residências populares no país.

Figura 33 – Capacidade de geração de energia por mês, kWh, do empreendimento em Mangabeira



Fonte: o próprio autor.

Na Figura 33 é apresentado um gráfico da geração anual da próxima construção da CEHAP. Conforme previsto, este terá uma geração média de 3200 kWh/mês, possibilitando o abatimento de até 100 kWh/mês da fatura de cada morador.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho contemplou aspectos técnicos e econômicos relacionados a implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. O custo desses sistemas ainda variam muito com a cotação do dólar, sendo possível passar de um sistema altamente viável a um temporariamente inviável em questão de meses ou anos.

Conclui-se que, além da demonstrada viabilidade do projeto, os projetos fotovoltaicos desta empresa de poder público renderam prêmios nacionais, um deles foi o Prêmio Selo de Mérito 2015 recebido na cidade de Campinas em São Paulo. A CEHAP concorreu com mais de 20 projetos inscritos e venceu nas categorias “Projetos de Impacto Regional” e “Projetos Focados no Atendimento de Grupos Específicos” numa convenção de todas as Companhias de Habitação do País e na presença de Governadores e Ministros da República. Esse pioneirismo trouxe uma visibilidade grande a verba que o Governo Federal estaria desperdiçando em regiões quentes, visto que os próprios moradores não se interessavam pelos aquecedores e claramente preferiam o sistema fotovoltaico.

Destaca-se ainda que, devido a esse projeto fotovoltaico, o Governo Federal reconheceu a melhor utilização do dinheiro público e anunciou que iriam disponibilizar mais verbas para que os governos estaduais pudessem modificar os projetos anteriores de coletores solares por fotovoltaicos. Por enquanto a verba não é suficiente para cobrir os custos totais de um sistema fotovoltaico para uma residência individual, mas foi uma grande conquista do estado da Paraíba, visto que ficou mais fácil o financiamento da CEHAP que agora também pode completar o investimento com a verba destinada a reforma ou alteração de projetos do MCMV para esse fim. Além do mais, isto possibilitará uma verba maior ao próximo projeto da CEHAP que visa um custo menor, como foi explicado anteriormente.

As análises feitas aqui tornam-se importantes porque o alto investimento em projetos fotovoltaicos ainda assusta investidores, no entanto foi possível observar que eles começam a serem viáveis economicamente, principalmente quanto maior for a potência instalada, e que o comprador desse tipo de energia tem em mãos uma energia de qualidade e que fere minimamente o meio ambiente, fatos poucos considerados quando se vê o lado financeiro do sistema.

REFERÊNCIAS

- Kannenber, A. R. (2006). *Economic Viability Study of Implantation of Photovoltaic Panels in a Residence How to Option for Reduction of Eletric Energy Conventional Consumption* - Artigo Publicado em 2006.
- Café, C. F. (2010). *Energia Solar em Habitações do Programa Minha Casa Minha Vida*. Coordenador Técnico Cidades Solares. Artigo Cidades Solares. Studio Equinício.
- Pereira; Martins; Abreu, Ruther. (2006). *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. Projeto SWERA. DMA; CPTEC; INPE; MCT.
- Luke, A.; Hegedus, S. (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, England.
- Castro, R. M. G. (2002). *Introdução à Energia Fotovoltaica*. Energias Renováveis e Produção Descentralizada. Universidade Técnica de Lisboa.
- ALTENER. (2001). *Energia Fovoltaica: Manual Sobre Tecnologias, Projeto e Instalação*. .
- Pinha, J. T.; Galdino, M. A. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Grupo de Trabalho de Energia Solar - GTES. CEPEL - CRESESB.
- EPE. (2012). *Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira*. Nota Técnica EPE. Ministério de Minas e Energia.
- Pereira, R. W. L.; Vianna, J, N, S. (2010). *Economia de Energia na Perspectiva do Plano Nacional de Energia 2030: O Papel do Aquecimento Solar*. Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável - Dissertação de Mestrado.
- FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente). (2014). *Potencial de Energias Renováveis Volume I*. Governo de Minas Gerais.
- Salami, I. T.; Ruther, R. (2004). *Pré-Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do CREA-SC*. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável.
- FERREIRA, T. V. (2015). *Radiação Solar Disponível*. Programa de P[os-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS.
- Perazzo, D. (2015). *Análise do Consumo e Geração de Energia Elétrica das Unidades Habitacionais do Programa de Microgeração Distribuída da CEHAP*. Companhia de Habitação Popular do Estado da Paraíba.
- Mizael. (2014). *Normativo Fotovoltaico - CEHAP*. ART Conjunto Habitacional do Minha Casa Minha Vida - US MATIC.
- ENERGISA. (2015). *Solicitação de Acesso para Micro Geradores*. Solicitação de Acesso ao Sistema de Distribuição de Energia Disposto na Resolução Normativa nº 482 de Abril de 2012.

Viana, R. (2015). *Memorial Técnico Descritivo*. CEHAP.

Energisa. *NDU 013; NDU 001; NDU 003*. Acesso em 12 de 03 de 2016, disponível em Energisa: www.energisa.com.br/documents/ndu

Lisita Júnior, O. (2005). *Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede: Estudo de Caso - 3 kWp Instalados no Estacionamento do IEE-USP*. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo.

Café, C. F. (2008). *A Integração da Energia Solar ao Desenvolvimento Urbano*. Segunda Conferência Nacional Energia Solar. Studio Equinócio.

ANEEL. (2015). *Resolução Normativa nº 687/2015*. Agência Nacional de Energia Elétrica. Acesso em 25 de 03 de 2016, disponível em ANEEL: www.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf

ANEEL. (2014). *Micro e Minigeração Distribuída*. Cadernos Temáticos ANEEL. Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

Universidade de São Paulo.

. (2008). *A Integração da Energia Solar ao Desenvolvimento Urbano*. Segunda Conferência Nacional Energia Solar. Studio Equinócio.

ANEEL. (2015). *Resolução Normativa nº 687/2015*. Agência Nacional de Energia Elétrica. Acesso em 25 de 03 de 2016, disponível em ANEEL: www.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf

ANEEL. (2014). *Micro e Minigeração Distribuída*. Cadernos Temáticos ANEEL. Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

BANDEIRANTE. (2004). *Crítérios de Contratação e Tarifas Aplicadas - GRUPO A*. Manual de Orientação aos Consumidores.

Nascimento, C. A. (2004). *Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica*. Monografia Apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais.

Carvalho, P. C. M. (2010). *Estudo Estatístico de Radiação Solar Visando o Projeto de Unidades de Dessalinização Acionadas por Painéis Fotovoltaicos Sem Baterias*. Artigo Publicado no DEE - Universidade Federal do Ceará.