

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL SOUSA OLIVEIRA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA RESIDÊNCIAS PADRÃO “R1-A” EM
SÃO LUÍS - MA**

São Luís

2018

GABRIEL SOUSA OLIVEIRA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA RESIDÊNCIAS PADRÃO “R1-A” EM
SÃO LUÍS - MA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Airton Egydio Petinelli.

São Luís

2018

Oliveira, Gabriel Sousa.

Análise de viabilidade para implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica para residências padrão “R1-A” em São Luís- MA / Gabriel Sousa Oliveira. – São Luís, 2018.

66f.

Monografia (Graduação) – Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Me. Airton Egydio Petinelli.

1. Energia solar. 2. Dimensionamento. 3. São Luís. I. Título.

CDU 620.92(812.1)

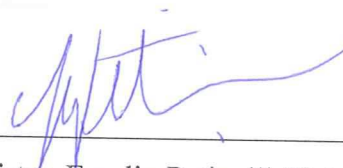
GABRIEL SOUSA OLIVEIRA

ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA RESIDÊNCIAS PADRÃO "R1-A" EM
SÃO LUÍS - MA

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Civil da Universidade Estadual do
Maranhão – UEMA, para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

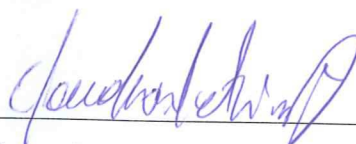
Aprovada em: 25 / 06 / 2018

BANCA EXAMINADORA

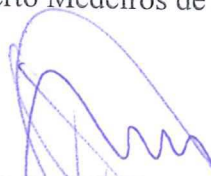


Prof. Me. Airton Egydio Petinelli (Orientador)

Universidade Estadual do Maranhão



Eng. Me. Cláudio Roberto Medeiros de Azevedo Braga Martins (Coorientador)



Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho (1ª examinador)

Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio (2ª examinador)

Universidade Estadual do Maranhão

A Deus, minha família, amigos, e todos que
me desejam sucesso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida, saúde e todas as oportunidades que tem dado na à mim, e de encerrar uma graduação desse nível.

Agradeço também à minha família, em especial meu pai e minha mãe por batalharem e se esforçarem diariamente pela educação dos filhos.

Aos amigos que contamos nos dedos que me incentivam desde Imperatriz, e os que fiz em São Luís durante o curso.

Agradeço ao meu orientador Airton e meu coorientador Cláudio, pela imensa ajuda, e por me guiar pelo caminho mais correto na produção da monografia.

“Você nunca alcança o sucesso verdadeiro a menos que você goste do que está fazendo”

Dale Carnegie

RESUMO

Problemas ambientais são assuntos corriqueiros no dia a dia da população mundial. No Brasil não é diferente, muitos avanços tecnológicos ocorrem, em detrimento do meio ambiente. Indústrias, produção de combustíveis e os gases consequentes de sua utilização, e claro, a produção de energia elétrica por fontes fósseis causam mazelas diversas ao ecossistema. Pode-se dizer que a limpa energia hídrica, principal fonte energética do Brasil, causa vários impactos ao meio ambiente. No Brasil, ocorrem, ainda, aumentos sucessivos na conta de energia. Portanto a procura por novas fontes de energia é obviamente necessária, e a energia solar fotovoltaica é uma das fontes renováveis de energia mais promissoras no país. Este trabalho então, estuda a viabilidade, o custo benefício, de um micro geração de energia solar fotovoltaica. Apresenta uma metodologia sucinta de dimensionamento, e uma análise econômica observando vários elementos como, os aumentos de tarifas, perdas de desempenho do sistema, e a inflação. Pelo consumo mensal de energia da casa foi possível dimensionar a potência necessária da unidade fotovoltaica, os módulos, inversor e prever os custos médios em São Luís – MA para os equipamentos necessários na instalação do sistema, bem como, estudar o tempo de retorno do investimento (payback).

PALAVRAS-CHAVE: Energia. Sistema fotovoltaico. Sustentável. Dimensionamento. Payback.

ABSTRACT

Environmental problems are everyday issues in the world's population. In Brazil it is not different, many technological advances occur, to the detriment of the environment. Industries, fuels production and the gases consequent to their use, and of course, the production of electricity by fossil sources cause various problems to the ecosystem. It can be said that clean water energy, the main energy source in Brazil, causes several impacts to the environment. In Brazil, the situation is still worsening, with successive increases in the energy bill in recent years, so the demand for new sources of energy is obviously necessary, and photovoltaic solar energy is one of the most promising renewable energy sources in the country. The work then studies the feasibility, cost-effectiveness, of a micro generation of photovoltaic solar energy. It presents a succinct methodology of sizing, and an economic analysis observing several elements such as tariff increases, losses of system performance, and inflation. Due to the energy demand of the house, it was possible to calculate the necessary power of the photovoltaic unit, size of modules and inverter, to forecast the average costs in São Luís - MA for the necessary equipment in the installation of the system, and to study the time of return of the investment (payback).

KEYWORDS: Energy. Photovoltaic system. Sustainable. Sizing. Payback.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de radiação solar	17
Figura 2 - Energia de fonte renovável e fóssil.....	18
Figura 3 - Evolução da produção de energia fotovoltaica.....	21
Figura 4 - Usina de Pirapora – MG	22
Figura 5 - Usina em Ribeira do Piauí	23
Figura 6 - Gráfico efeito fotovoltaico.....	24
Figura 7- Esquema de funcionamento da célula fotovoltaica.....	25
Figura 8 - Funcionamento sistema fotovoltaico	26
Figura 9 - Sistema fotovoltaico on-grid.....	27
Figura 10 - Sistema fotovoltaico off-grid.....	28
Figura 11- Tipos de células e eficiência	29
Figura 12 - Células e tensão	30
Figura 13- Orientação do módulo fotovoltaico	32
Figura 14 - Horas de sol pleno.....	36
Figura 15 - Irradiação solar São Luís e localidades próximas.....	36
Figura 16 - Modelo de módulo	38
Figura 17 - Equação valor presente líquido.....	41
Figura 18 - Cálculo de TIR.....	42
Figura 19 - Padrões residenciais.....	43
Figura 20: Localização da residência	44
Figura 21 – Fachada da residência	45
Figura 22 – Parte do croqui de cobertura	46
Figura 23 – Trecho de conta de energia, mostrando consumo	47
Figura 24 – Gráfico de consumo	48
Figura 25 – Inversor Fronius	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades do módulo.....	38
Tabela 2 – Histórico de consumo	47
Tabela 3 - Propriedades do inversor	50
Tabela 4 – Cotação primeira empresa em São Luís	52
Tabela 5 – Cotação segunda empresa em São Luís.....	52
Tabela 6 - Premissas de cálculo do payback	53
Tabela 7 – Análise do payback (tempo de retorno do investimento)	55
Tabela 8 – Tempo de retorno.....	56

LISTA DE SIGLAS

ABINEE - Associação Brasileira de Indústria Elétrica e Eletrônica

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AIE – Agência Internacional de Energia

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica)

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento

CEMAR – Companhia Energética do Maranhão

CEPEL – Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solas e Eólica Sérgio de S. Brito

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

NBR – Norma Brasileira

TIR – Taxa Interna de Retorno

VPL – Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

% - por cento

kW – kilowatts

MW – megaWatts

kWh – kilowatts hora

mW – microwatts

GW – gygawatts

MWp – megawatts pico

Ev – eletrovolts

kWh/m² - kilowatts hora por metro quadrado

m – metro

m² - metro quadrado

W – watts

V – volts

A – amperes

Wp – watts pico

a.a. - ao ano

Cmm – consumo mensal médio

Cdm – consumo diário médio

Impp – corrente de funcionamento

Isc – corrente de curto circuito

Vmpp – tensão de funcionamento máxima

Voc – tensão de circuito aberto

Qm – quantidade de módulos

Pp – potência de pico

Pm – potência fornecida pelo módulo

H. sol pleno – Horas de sol pleno

Δ Voc – variação de tensão de circuito aberto

C.T. – coeficiente de temperatura do módulo

Δ Vmpp – variação de tensão mínima

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	<i>OBJETIVO GERAL</i>	16
1.2.2	<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	16
1.3	JUSTIFICATIVA	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1	ENERGIA E MEIO AMBIENTE.....	19
2.2	HISTÓRIA: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	20
2.3	ENERGIA SOLAR NO BRASIL	21
2.4	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	23
2.4.1	<i>EFEITO FOTOVOLTAICO</i>	23
2.4.2	<i>FUNCIONAMENTO</i>	25
2.4.3	<i>VANTAGENS E DESVANTAGENS</i>	26
2.4.4	<i>CLASSIFICAÇÕES</i>	26
2.4.5	<i>APARELHOS E EQUIPAMENTOS</i>	28
2.4.5.1	<i>CÉLULAS FOTOVOLTAICAS</i>	28
2.4.5.2	<i>MÓDULOS</i>	29
2.4.5.3	<i>INVERSORES</i>	31
2.4.6	<i>CUIDADOS NA INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS</i>	32
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	AVALIAÇÃO DO CONSUMO DIÁRIO MÉDIO	35
3.2	DETERMINAÇÃO DE HORAS DE SOL PLENO PARA SÃO LUÍS - MA	35
3.3	AVALIAÇÃO DA POTÊNCIA DIÁRIA NECESSÁRIA	37
3.4	DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE MÓDULOS.....	37
3.5	AVALIAÇÃO DO INVERSOR.....	39
3.6	ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA	40
4	ESTUDO DE CASO	43

4.1	DESCRIÇÃO DA RESIDÊNCIA	43
4.2	DEMANDA ENERGÉTICA DA RESIDÊNCIA.....	46
4.3	DIMENSIONAMENTO.....	48
4.3.1	<i>CONSUMO DIÁRIO MÉDIO</i>	48
4.3.2	<i>POTÊNCIA DIÁRIA NECESSÁRIA</i>	48
4.3.3	<i>QUANTIDADE DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS</i>	49
4.3.4	<i>INVERSOR</i>	49
4.4	ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA	51
5	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	59
	ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES DOS MÓDULO	64
	ANEXO B – ESPECIFICAÇÕES DO INVERSOR	65
	ANEXO C – CONTA DE ENERGIA	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A discussão sobre sustentabilidade vem ganhando ainda mais importância no cenário atual mundial. Não é novidade que hoje a maior parte dos recursos naturais utilizados para produção de energia e combustível estão se esgotando, e muitos geram fortes impactos ambientais negativos. E conforme AIE (2017) a previsão de aumento da demanda por energia nos próximos anos é de 30%.

Nesse sentido, observando essa crescente demanda energética, devido ao crescimento industrial e urbano, faz-se necessário a busca ainda maior por fontes limpas e renováveis de energia, e que não causam danos ao meio ambiente.

Com isso, em se tratando de Brasil, a matriz energética é hídrica, que é uma fonte renovável. Porém a energia hídrica contém suas desvantagens. Segundo Liberato (2015) “a criação de barragens também pode criar alagamento de terras, o que significa meio ambiente natural e o habitat natural dos animais, e até mesmo pessoas, podem ser destruídos”. Além disso, existem ainda áreas isoladas que a energia hidrelétrica tem difícil acesso por grandes dificuldades de instalação de torres e cabos.

Nessa perspectiva, percebe-se uma necessidade, do país proporcionar e facilitar ainda mais o investimento em outros tipos de energias renováveis, como, por exemplo, a energia solar, que segundo Pinho e Galdino (2014, p. 47) o aproveitamento da energia que é gerada pelo Sol, tanto com fonte de calor quanto de luz, é uma das mais promissoras alternativas energéticas necessárias ao desenvolvimento humano.

É nítido perceber que na atualidade brasileira, e até mundial, a energia solar não é tão aproveitada como deveria. Segundo Souza (2016, p. 11) a energia solar que incide na terra em um ano é extremamente maior que o consumo humano de energia nesse mesmo período.

Nesse sentido, é importante relatar de que formas esse recurso energético pode ser aproveitado. Conforme Tolmasquim (2016, p.310) a geração de energia fotovoltaica consiste na conversão direta da luz do sol em eletricidade, e a heliotérmica, que é uma forma de geração termelétrica, na qual um fluido comum é aquecido pela energia para produzir vapor. No presente trabalho, a geração de energia fotovoltaica será o principal foco.

Vale ressaltar, que a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) vem facilitando, e de certa forma incentivando, a produção de energia fotovoltaica no país. Isso devido

ao fato de a Resolução Normativa de Nº 482 elaborada em abril de 2012, que estabelece condições gerais, inclusive para o sistema de compensação de energia elétrica, que é como o mercado de energia solar está regulamentado.

Segundo a norma, a unidade consumidora com micro (central geradora de energia elétrica com potência instalada de menor ou igual a 75kW) ou minigeração (potência instalada superior à 75kW e menor ou igual à 5MW) distribuída é que cede energia para a concessionária local por meio de empréstimo gratuito, e posteriormente é compensada com consumo de energia elétrica ativa. Por exemplo no período noturno, a produção fotovoltaica está comprometida, então, a unidade consumidora utiliza a energia da concessionária.

Ainda de acordo com a norma Nº482 da ANEEL, quando a geração for maior que o consumo, o saldo positivo de energia pode ser abatido no consumo dos meses posteriores. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses.

Essas medidas, são um bom indício da importância que as energias renováveis vêm ganhando no Brasil, no caso a solar. Atentar para esses tipos de fontes energéticas renováveis se mostra como solução sóbria e inteligente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade econômica da utilização de energia solar fotovoltaica em São Luís - MA para uma residência unifamiliar de padrão “R1-A” (Residência Unifamiliar Padrão Alto - ABNT NBR 12.721:2006).

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

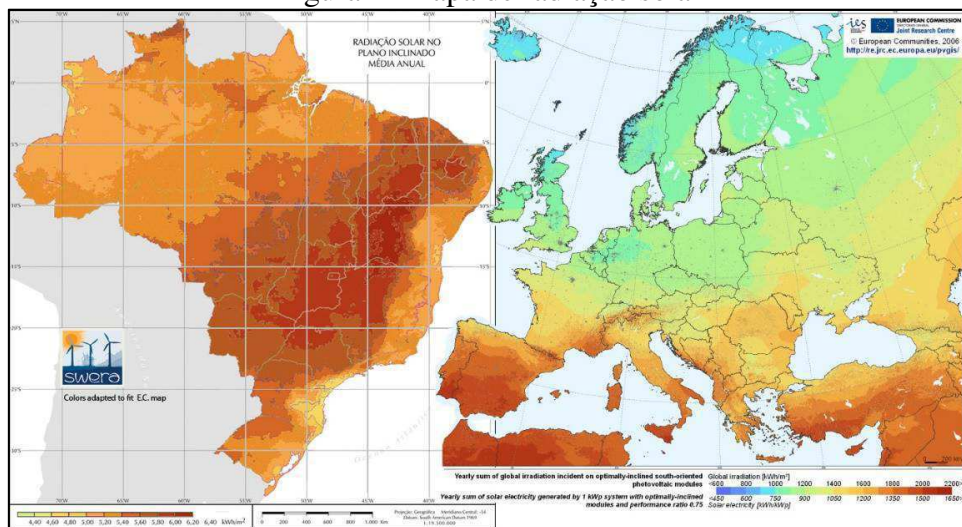
- Dimensionar e custear o sistema de energia solar fotovoltaico para uma residência unifamiliar de padrão “R1-A” (Residência Unifamiliar Padrão Alto - ABNT NBR 12.721:2006);
- Calcular o fluxo de caixa depois do investimento da implantação do sistema, para prever custos evitados;
- Calcular o tempo de retorno (payback) do investimento do sistema fotovoltaico.

1.3 JUSTIFICATIVA

O estudo se justifica pela preocupação ambiental, social, e econômica em relação à demanda energética. O custo da energia elétrica no Brasil é outro fator impactante, diversos aumentos em tarifas vêm ocorrendo nos últimos anos, e de acordo com O Globo (2017) a “Aneel aprovou aumento de 42,8% na taxa extra para conta de luz a partir de novembro de 2017”.

Na atualidade, como afirma Barbosa da revista Exame (2016), observando o ranking dos maiores produtores de energia solar tem-se China e logo depois a Alemanha, seguidos por vários países europeus. Dessa maneira é interessante analisar que de acordo com o mapa de radiação logo abaixo, percebe-se que o Brasil possui muito mais radiação solar que os europeus, inclusive Alemanha, segundo maior produtor desse tipo de energia no mundo segundo a Revista Exame (2016). Na figura 1, observa-se a diferença entre essas radiações.

Figura 1- Mapa de radiação solar

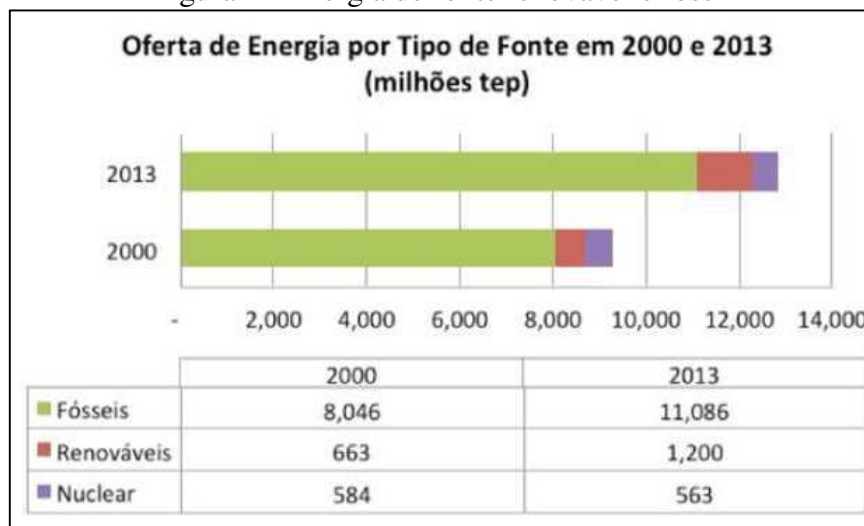


Fonte: Portal Solar (2017?)

Além disso, o fator ambiental no qual recursos naturais estão se esgotando, e os impactos ambientais necessitam ser freados é de grande valia. De acordo com Cravo (2017) e observando o gráfico abaixo, a emissão dos gases que contribuem para o efeito estufa, para a geração de energia cresceram 38% entre 2000 e 2013. E como afirma Cravo (2017) “a partir de 2011, o crescimento das emissões começou a desacelerar, mas ainda crescem 2% ao ano”. Ou seja, tem-se ainda energia sendo produzida em detrimento do meio ambiente, lembrando

dos efeitos devastadores do efeito estufa. Deste modo a figura 2 mostra a relação entre a oferta de energia renovável e fóssil.

Figura 2 - Energia de fonte renovável e fóssil



Fonte: Cravo (2017)

Nesse sentido, analisar a viabilidade de fontes renováveis de energia é de suma importância. O trabalho observará a viabilidade da energia fotovoltaica, que é um tipo de energia renovável no qual o país tem um grande potencial por ter uma grande irradiação solar, e como argumenta Tolmasquim (2016, p.311) o Brasil está situado numa região com incidência vertical de raios solares, que favorece elevados índices de irradiação em todo território do país. Analisará ainda se a energia solar fotovoltaica tem a capacidade de auxiliar a impulsionar a matriz energética brasileira para as fontes sustentáveis.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ENERGIA E MEIO AMBIENTE

Na atualidade, não só brasileira, como mundial, observamos um triste paradigma capaz de continuar acarretando sérias mazelas socioeconômicas e naturais, de acordo com Reis (2011, p.5) a atual matriz energética mundial depende ainda de 80% de combustíveis fósseis cuja a queima contribui para aumentar de forma muito rápida a concentração de gases- que são prejudiciais na atmosfera, que causam o efeito estufa.

Nessa perspectiva, o importante debate em torno da problemática ambiental já ocorre, segundo Reis, Kleinbach e Hinrichs (2014) ainda em 1997, 167 nações se reuniram no Japão e elaboraram o “Protocolo de Kyoto”, documento que foi a primeira tentativa internacional de legalmente estabelecer limites na emissão de gases estufa. Porém razões políticas e recessões econômicas dificultam os acordos internacionais em outros grandes encontros como em 1997.

Ao se deparar com esse tipo de estatística, percebe-se o quão importante é a questão energética, o quanto ela impacta no meio ambiente, e a busca para modificar esse dado com fontes alternativas de energia. Nesse sentido, as fontes renováveis seriam as mais adequadas e menos nocivas. “Fontes renováveis são aquelas cuja a reposição pela natureza é bem mais rápida do que sua utilização energética (como as águas dos rios, marés, sol, ventos)”. (REIS, 2011, p.3).

Nessa perspectiva, lembrando os estudos de Oliveira (2014) percebe-se que as energias renováveis oferecem uma grande possibilidade do desenvolvimento sustentável, através do desenvolvimento econômico, a igualdade social e a proteção ambiental, e ainda provoca a longo prazo a redução de gases poluentes na atmosfera que pode controlar o efeito estufa. Com isso, optar por opções renováveis na produção energética tende a ser o mais inteligente, e mais sensata.

Segundo Pena (2014?), algumas energias renováveis (que contam com recursos não esgotáveis) são: solar, eólica, hidráulica, biomassa, marés, geotérmica. Em relação a energia solar, é considerada altamente potente, pois uma grande quantidade de radiação é emitida no planeta todos os dias. Sendo o seu principal entrave é a forma de aproveitá-la, não sua disponibilidade.

2.2 HISTÓRIA: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia cedida pelo sol é gigantesca, estimada em $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia (CRESESB/CEPEL, 200-?). Conforme Tolmasquim (2016, p.310), desde os primórdios a humanidade utiliza da energia solar, pois através dele são supridas grandes necessidades básicas de aquecimento, iluminação e alimentação.

Porém a utilização direta da luz solar para produção de energia elétrica é recente, de meados do século passado. Mas antes disso, diversos estudiosos, físicos, químicos e cientistas estudaram o efeito fotovoltaico (o principal fenômeno que explica a energia fotovoltaica) no século XIX. Seguindo (VALLÊRA e BRITO, 2006?):

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez por Edmond Becquerel que verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num eletrólito, produzem uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz.

Então em 1954, surge a primeira célula fotovoltaica, segundo (VALLÊRA e BRITO, 2006?) “a primeira célula solar moderna foi apresentada em 1954. Tinha apenas dois centímetros quadrados de área e uma eficiência de 6%, gerando 5 mW de potência elétrica”.

De acordo com Pinho e Galdino (2014, p. 52) o desenvolvimento da nova tecnologia se apoiou na busca por empresas de telecomunicações, por fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas e até na “corrida espacial”. E fatos ímpares na história como a crise do petróleo renovou o interesse em aplicações para a energia solar fotovoltaica.

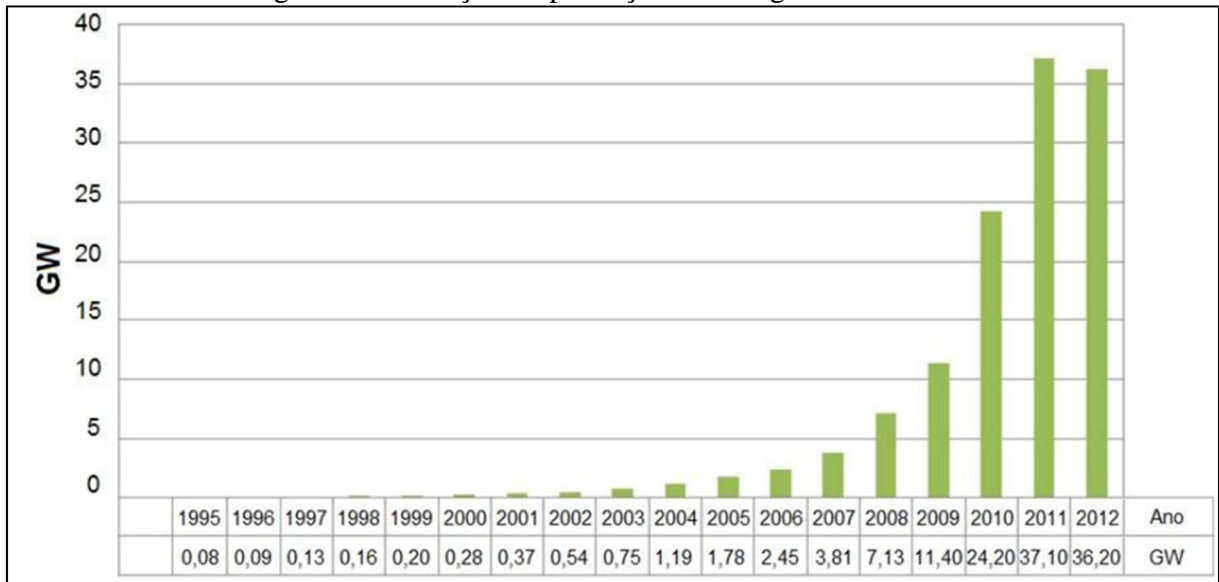
Com o passar dos anos, os investimentos e a utilização da energia solar fotovoltaica foi ganhando força. É útil lembrar o estudo de Vallêra e Brito (2006) em que declaram:

As décadas de 80 e 90 foram também marcadas por um maior investimento em programas de financiamento e de demonstração motivados sobretudo pela consciência crescente da ameaça das alterações climáticas devido à queima de combustíveis fósseis. Exemplos destas iniciativas são a instalação da primeira central solar de envergadura (1MWp) na Califórnia, em 1982, e o lançamento dos programas de “telhados solares” na Alemanha (1990) e no Japão (1993).

Portanto, percebe-se que o investimento e estudo voltado para a área foi evoluindo. Segundo Vallêra e Brito (2006?) em 2004 foram produzidos cerca de mil milhões de células.

las com eficiência maior, de 16%, ultrapassando 1GW de potência elétrica anual instalada pela primeira vez. Na figura 3, percebe-se dados sobre a produção de energia fotovoltaica.

Figura 3 - Evolução da produção de energia fotovoltaica



Fonte: Pinho e Galdino (2014, p.55)

2.3 ENERGIA SOLAR NO BRASIL

No Brasil, a história da energia solar fotovoltaica, conforme Pinho e Galdino (2014, p. 57) iniciou-se nos anos 50 com desenvolvimento de módulos fotovoltaicos e na realização do Primeiro Simpósio Brasileiro de Energia Solar, e só na década de 1970 o desenvolvimento da tecnologia de filmes finos começou. E com uma eficiência de 5%, um módulo fotovoltaico de 30 x 30 cm foi um dos principais resultados obtidos na época.

Já nos anos 80 e 90, Pinho e Galdino (2014) relembram do desenvolvimento em laboratórios em relação à purificação do silício para utilizar nas células. Posteriormente células fotovoltaicas de silício cristalino foram desenvolvidas e testadas no primeiro satélite brasileiro. Já no final dos anos 90 o país conseguiu desenvolver células com eficiência até de 7%.

Nesse sentido, um importante acontecimento contribuiu para desenvolver ainda mais os estudos desse tipo de energia renovável no Brasil. “Em 2011, entretanto, uma iniciativa do Governo Federal caracterizada pela criação do Fundo Setorial de Energia, resultou em um crescimento das atividades de P&D em energia fotovoltaica” (PINHO; GALDINO, 2014, p. 59).

Contudo, segundo a Abinee (Associação Brasileira de Indústria Elétrica e Eletrônica, 2012) até o final de 2011 a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos gira em torno de 31,5 MWp, que de acordo com Pinho e Galdino (2014) não faz do Brasil um mercado atrativo para instalação de indústrias de módulos fotovoltaicos, que necessitam de um mercado anual na ordem de centenas de MWp.

Porém, de 2011 para 2018, um incrível aumento na capacidade ocorreu. “A geração de energia fotovoltaica no Brasil já atingiu 1 GW de potência em usinas de fonte solar em operação pelo país”. (SOUZA, 2018). Nesse sentido, mais investimentos tornaram-se possíveis, de acordo com o Canal Energia (2017) o aumento na da participação de energias renováveis na matriz energética brasileira tem atraído cada vez mais investimentos, e uma captação de US\$ 141,7 milhões pelo BNDES junto ao fomento alemão Krefitanstalt fur Wiederaufbau será destinado a investimentos em projetos que envolvem eficiência energética e energias renováveis.

Um exemplo dos investimentos nacionais em energia solar é visto em Pirapora-MG, segundo Presse (2017), o complexo terá uma capacidade de 400MW (no final do primeiro semestre de 2018), que pode fornecer energia para 420 mil casas durante um ano. Mais de um milhão de painéis solares em um espaço de 800 hectares é a maior usina de energia solar da América Latina. A figura 4 mostra um pouco da dimensão dessa usina.

Figura 4 - Usina de Pirapora – MG



Fonte: Presse (2017)

Outro ótimo exemplo do crescimento nacional em energia solar está em Ribeira do Piauí, conforme Pamplona (2017) o Parque Solar Nova Olinda teve um investimento de US\$ 300 milhões, ocupa uma área 690 hectares, com quase 1 milhão de painéis solares com capacidade de 292 MW, energia suficiente para abastecer 300 mil residências. Na figura 5, observa-se a imagem do local.

Figura 5 - Usina em Ribeira do Piauí



Fonte: : Pamplona (2017)

2.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

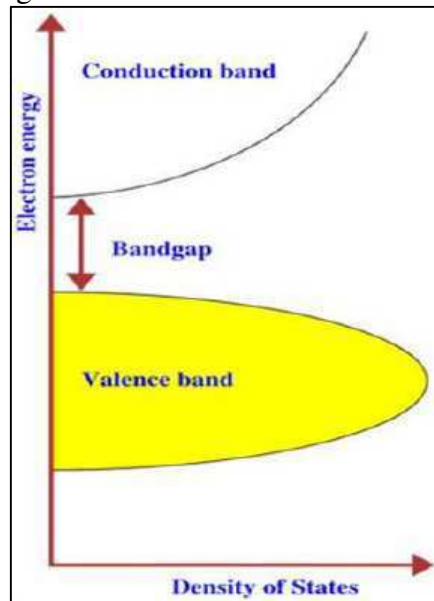
2.4.1 EFEITO FOTOVOLTAICO

Para se entender o funcionamento de um sistema fotovoltaico, primeiramente deve se estudar o fenômeno chamado de efeito fotovoltaico. “A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade e tem como base o efeito fotovoltaico”. (TOLMASQUIM, 2016, p.331).

Ainda segundo Tolmasquim (2016) o efeito fotovoltaico ocorre devido uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material formada por semicondutor, que é produzida pela absorção da luz. Nesse sentido, esses semicondutores (silício, o mais utilizado) são caracterizados pela presença de bandas de energia (banda de valência e banda de condução) onde é permitida presença de elétrons, e uma outra banda que é vazia denominada de gap ou banda proibida.

De acordo com a Souza (2017) a separação entre as duas bandas de energia (valência e condução) é a chamada gap, e é em torno de 1eV. Com isso os semicondutores têm característica de aumentar sua condutividade com o aumento da temperatura e passa a conduzir eletricidade. Na figura 6 observamos um gráfico explicativo.

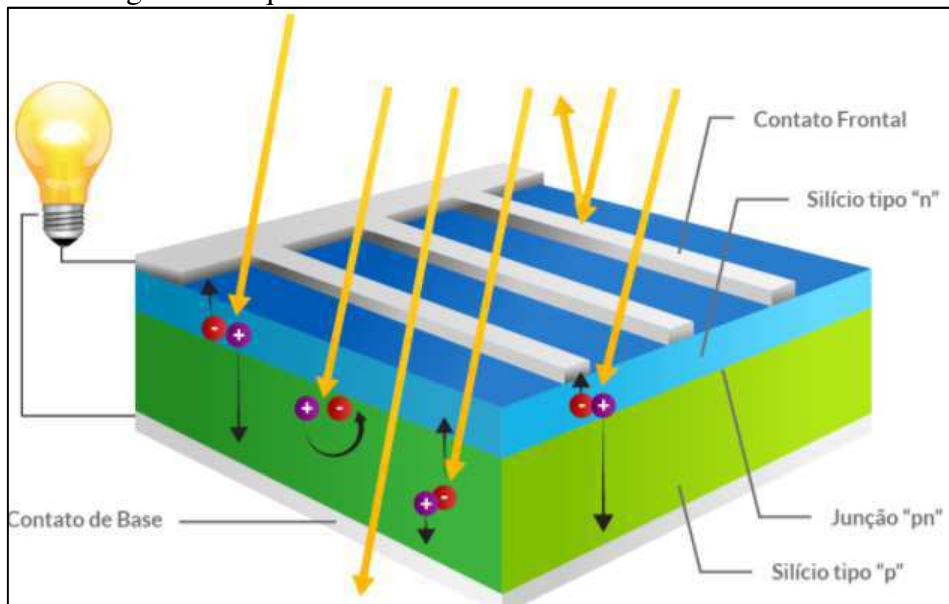
Figura 6 - Gráfico efeito fotovoltaico



Fonte: Souza (2016, p.27)

Nessa perspectiva, é substancial frisar que o fenômeno ocorre diretamente nas células fotovoltaicas (assunto que será detalhado futuramente neste trabalho), conforme a Ecycle (200?) as células fotovoltaicas são feitas de materiais semicondutores. Quando a célula é exposta a luz solar, parte dos elétrons do material iluminado absorve os fótons que são as partículas energéticas contidas na luz solar. Após isso, esses elétrons livres são transportados pelos semicondutores até serem atraídos para um campo elétrico (formado pela diferença de potencial na junção entre dois materiais semicondutores), formando corrente elétrica, e depois os elétrons livres saem da célula solar para serem utilizados como energia elétrica. A figura 7 mostra todo o esquema de funcionamento de uma célula fotovoltaica.

Figura 7- Esquema de funcionamento da célula fotovoltaica



Fonte: Souza (2017)

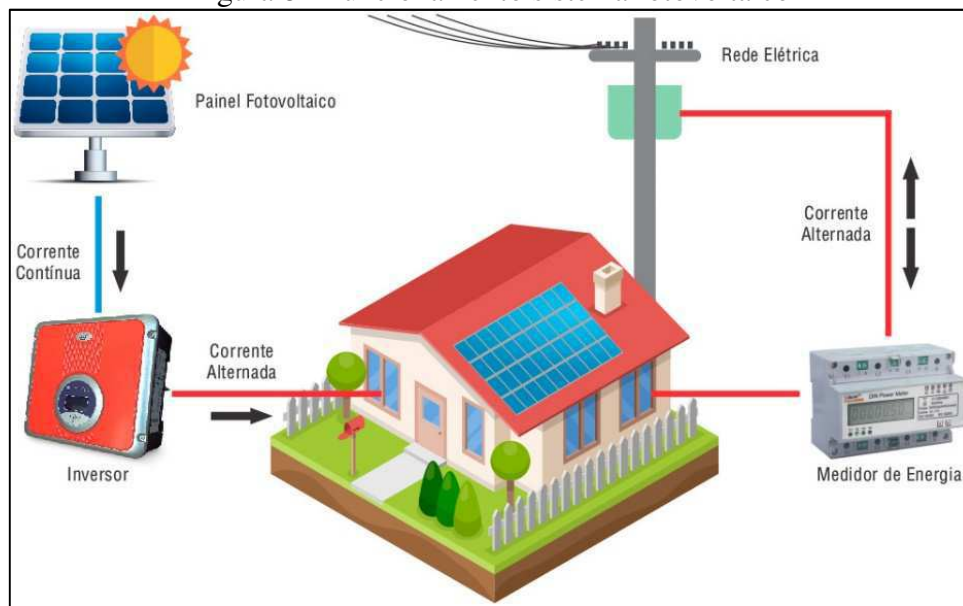
2.4.2 FUNCIONAMENTO

Entendido o efeito fotovoltaico, é importante salientar o funcionamento desse tipo de geração energética, e para se alinhar com o objetivo do trabalho, o exemplo será em uma residência como exemplo. Em conformidade com Souza (2016) o funcionamento acontece em cinco etapas.

1. Durante o dia, acontece o principal, que é a incidência de luz solar sobre os painéis, que é absorvida e convertida em energia elétrica, em corrente contínua;
2. Após isso, é hora de um aparelho denominado de inversor captar a corrente contínua e transformá-la em alternada que pode ser consumida pela residência.;
3. A corrente sai do alternador e vai para os aparelhos domésticos;
4. O excedente da produção elétrica do sistema é injetada na rede elétrica da concessionária, gerando créditos que podem ser utilizados em até 60 meses.

Ainda segundo Souza (2016), é importante lembrar que no período noturno, ou quando há mais consumo que a geração, utiliza-se a energia elétrica da concessionária. Na figura 8 o funcionamento de um sistema fotovoltaico on-grid.

Figura 8 - Funcionamento sistema fotovoltaico



Fonte: : Ajna Solar (201-?)

2.4.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Analisando vantagens e desvantagens da energia solar em geral, nota-se que a maioria das vantagens estão ligadas ao fator ambiental. É sabido, e já comentado anteriormente, que o tipo de energia é renovável. Conforme Pena (2014?) a fonte ser renovável, ocupar pouco espaço, não emitir poluentes, possuir baixa necessidade de manutenção e ser acessível em lugares remotos (por não demandar grandes investimentos em linhas de transmissão) são algumas vantagens da energia solar.

Em contrapartida, mesmo contando com todos esses proveitos a energia solar tem desvantagens também. Ainda segundo Pena (2014?) o elevado custo da tecnologia, dependência climática, baixa capacidade de armazenamento, baixo rendimento (energia solar fotovoltaica).

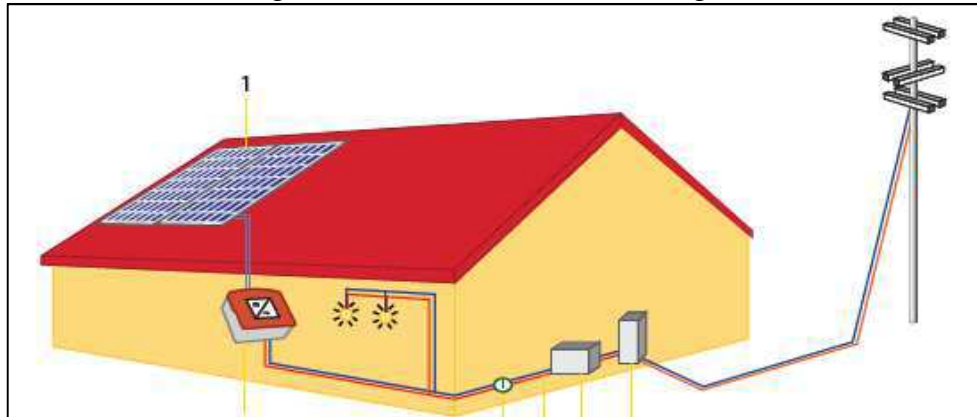
2.4.4 CLASSIFICAÇÕES

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados a partir do seu tipo de instalação. Discorrer sobre os dois mais importantes tipos para o atual estudo é substancial: sistemas conectados à rede (on-grid) e os isolados (off-grid).

De acordo com Souza (2016, p.17) os sistemas on-grid dependem da legislação pois escoam a energia excedida para a concessionária. Além disso, não utilizam sistemas de

armazenamento de energia, são mais eficientes que os sistemas isolados, e geralmente são mais baratos. A energia que é excedida escoo para a rede da concessionária, fazendo o relógio medidor girar ao contrário gerando créditos ao proprietário. Os principais componentes do sistema são: módulos fotovoltaicos, inversores, quadro de luz. Na figura 9 o esquema de um sistema on-grid.

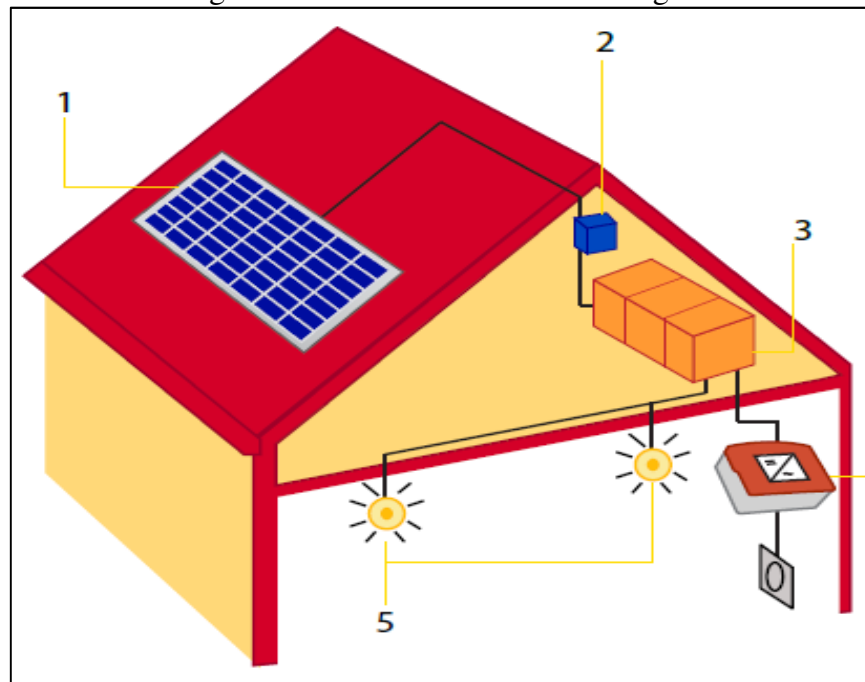
Figura 9 - Sistema fotovoltaico on-grid



Fonte: Souza (2016, p.17)

Nessa perspectiva, ainda conforme Souza (2016, p.15) os sistemas isolados ou autônomos não possuem outra forma de geração de eletricidade. Devido ao fato de depender de luz solar para produzir energia, esse tipo de sistema é dotado de acumuladores que armazenam energia para a noite e dias nublados ou chuvosos. Os principais componentes são: painel fotovoltaico, controlador de carga/descarga das baterias, banco de baterias, inversor. Na figura 10 observa-se um esquema de funcionamento de um sistema off-grid.

Figura 10 - Sistema fotovoltaico off-grid



Fonte: Souza (2016, p.15)

2.4.5 APARELHOS E EQUIPAMENTOS

2.4.5.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A célula fotovoltaica é o principal componente de um sistema fotovoltaico. Segundo Souza (2016, p.32) ela é responsável pela conversão de luz solar em energia que ocorre pelo efeito fotovoltaico, explicado anteriormente. Existem alguns tipos de células fotovoltaicas no mercado, as principais são Silício Monocristalino, Silício Policristalino, Silício Amorfo, Disseleneto de Cobre e Índio e Telureto de Cádmio.

Todos esses tipos de células se enquadram em dois tipos de classificação. Segundo Souza (2016) podem ser de Silício Cristalizado, na qual a fabricação ocorre na purificação do silício que é um processo caro. A outra categoria são as de Película Fina, na qual “o material semicondutor é aplicado em substrato, geralmente vidro, através da deposição por vaporização, deposição catódica ou banho eletrolítico”. (SOUZA, 2016, p.34). Este último, um processo mais barato. A figura 11 mostra eficiência de diferentes tipos de células.

Figura 11- Tipos de células e eficiência

Material	Eficiência em Laboratório	Eficiência em produção	Eficiência em produção em série
Silício Mono	24,7%	18%	14%
Silício Poly	19,8%	15%	13%
Silício Amorfo	13%	10,5%	7,5%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
CdTe	16,4%	10%	9%

Fonte: Souza (2016, p.38)

2.4.5.2 MÓDULOS

Um conjunto de células compõe um módulo fotovoltaico, que é capaz de gerar grandes potências elétricas. Os fabricantes de módulos apenas associam várias dessas células, encapsulam e formam um módulo.

Os módulos comerciais diferem entre si por vários fatores, como a capacidade de gerar potencial, chamado de potência-pico, fator de forma, área, etc. E esses valores se alteram de acordo ao tipo de célula fotovoltaica utilizada. (SOUZA, 2016, p.32).

Na atualidade, com base nos estudos de Pinho e Galdino (2014, p.145) com a produção em larga escala dos módulos fotovoltaicos está ocorrendo a diminuição significativa no preço e assegurando a manutenção desses produtos de alta qualidade.

As características físicas desse material são simples, tem forma quadrada ou retangular, a espessura é fina não passa de 4cm, o peso não é muito elevado de acordo com Souza (2016, p. 43).

As características elétricas, prosseguindo de acordo com Souza (2016, p.45) ficam na tensão padrão que o módulo foi desenvolvido a trabalhar. O que determina esse parâmetro é a quantidade de células fotovoltaicas. A figura 12 mostra a relação entre tensão e número de células.

Figura 12 - Células e tensão

Número de Células	Tensão Nominal	Tensão em Circuito Aberto (Voc)
18 células	6 volts	9,2 volts
36 células	12 volts	17,4 volts
72 células	24 volts	40,15 volts

Fonte: Souza (2016, p.45)

Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 148), os módulos estão sob influência da irradiação solar e temperatura. A corrente elétrica que o módulo gera, é diretamente proporcional à irradiância solar. Já em relação à temperatura, o aumento da mesma gera diminuição na tensão e pequeno aumento de corrente. Em concordância com Souza (2016, p. 48) “a queda de tensão é maior que o incremento de corrente, portanto o aumento de temperatura reduz significativamente a potência dos módulos.

Os módulos podem ser associados em conjunto formando um painel, a instalação pode ser em série e em paralelo. De acordo com Souza (2016, p.49) na associação em série (fileira), os módulos terão suas tensões somadas, e a corrente sendo a média das correntes de cada módulo. Por outro lado, a associação em paralelo a corrente é somada, e a tensão é a média dos módulos.

Diante disso, além de temperatura e irradiação solar, sombras podem interferir na capacidade de produção elétrica do módulo fotovoltaico. “Sob determinadas condições de operação, uma célula fotovoltaica, ao receber uma sombra, pode aquecer tanto que o material semicondutor pode ser danificado pelo calor.” (SOUZA, 2016, p. 50). O que explica tal fato é a construção de um módulo. De acordo com Pinho e Galdino (2014, p. 159), várias células se associam série e formam um módulo, então, quando uma ou mais destas células recebe menos irradiação solar, sua corrente vai limitar a corrente de todo o conjunto série.

Além de perder potência, a riscos de danos ao módulo sombreado pois em concordância com Pinho e Galdino (2014, p. 159) “uma vez que a potência elétrica gerada que não está sendo entregue ao consumo é dissipada no módulo afetado, às vezes sobre apenas uma de suas células”. Isso pode acarretar no fenômeno chamado de “ponto quente” ou “hotspot” que segundo Pinho e Galdino (2014, p. 159) que é produzido um intenso calor na célula afetada, com ruptura de vidro e fusão de polímeros e metais.

Nessa perspectiva, alternativas foram criadas para contornar esse tipo de problema, Souza (2016, p. 51) diz que a corrente deve ser desviada das células para evitar a forma-

ção de “pontos quentes” através de um diodo de derivação, também chamado de diodo de bypass que funciona limitando a dissipação de potência no conjunto de células sombreadas.

Importante lembrar, que geralmente os módulos tem garantia de 25 anos pelos fabricantes. (PINHO e GALDINO, 2014, p.132)

2.4.5.3 INVERSORES

Outro equipamento importantíssimo para o estudo de sistemas fotovoltaicos é o inversor. Afinal, conforme Tolmasquim (2016, p.340) é este aparelho que vai converter toda a energia solar gerada em corrente contínua para alternada, que é a corrente que os aparelhos domésticos utilizam. Chega a ter uma eficiência de 98%.

Na análise de Pinho e Galdino (2014, p.216) o funcionamento desse dispositivo elétrico se baseia no fornecimento de energia elétrica em corrente alternada a partir e uma fonte de energia elétrica em corrente contínua.

A classificação dos inversores pode ser em três tipos: centrais, string e microinversores. Os centrais, são de grande porte, com potências elevadíssimas, utilizados em usinas fotovoltaicas onde são conectados vários arranjos fotovoltaicos. Os “strings” (monofásico ou trifásico) são os mais utilizados em residências ou prédios comerciais, que reúnem um grupo de módulos. Enquanto que os microinversores são projetados para módulos individuais, o que acaba maximizando a produção, pois os efeitos de sombreamento ou defeitos em módulos são isolados, sem prejudicar todo o arranjo (diferentemente do que acontece se fosse apenas um inversor como os “strings”). (TOLMASQUIM, 2016, p.340).

Nesse sentido, um aspecto que determina a qualidade de um inversor é a eficiência de conversão. Nesse dispositivo, a eficiência tende a variar de acordo com a potência demandada pelos equipamentos e pelo seu fator de potência. (PINHO, GALDINO, 2014, p.231).

Outras características dos inversores, em concordância com Portal Solar é que a garantia dos inversores vai de 5 à 10 anos, e o inversor mais utilizado no mundo é o “string” que é um grid-tie (conectado à rede) e chega a representar cerca de 50% dos inversores utilizados no mundo.

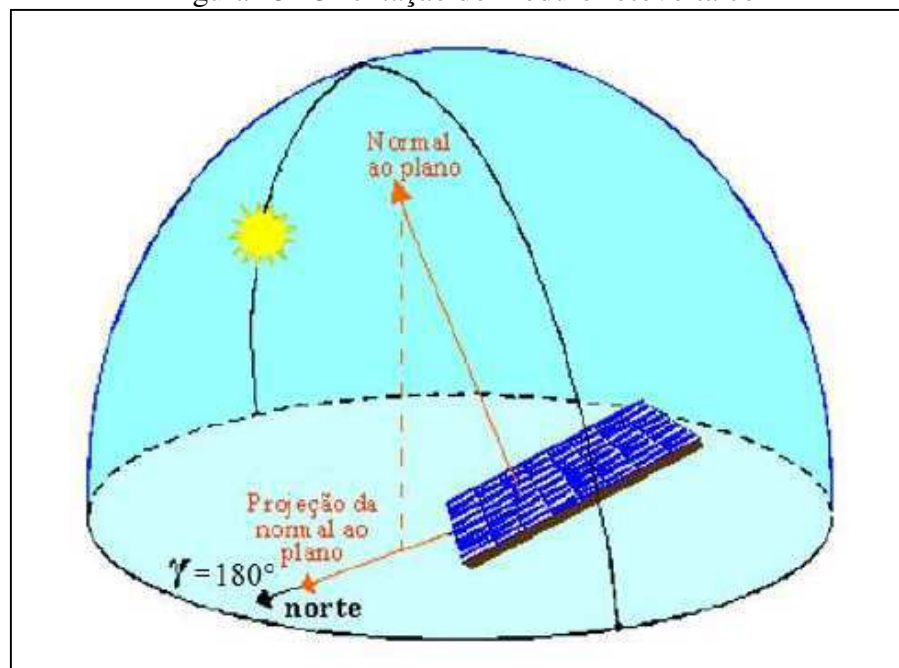
2.4.6 CUIDADOS NA INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Vale salientar alguns pontos importantes na instalação de um sistema fotovoltaico, afinal, dimensionar e projetar corretamente se torna inútil com uma instalação incorreta. Existem várias normas de segurança para esse tipo de serviço, fornecidas pela ABNT, que devem ser seguidas à risca.

Em relação aos módulos fotovoltaicos, além de recomendações de segurança no manuseio deste, é importante falar sobre a localização. É recomendada a instalação em ambiente com grande incidência solar, longe de possíveis sombras, e mais próximo possível de baterias e cargas. (PINHO, GALDINO, 2014, p.364).

A orientação do módulo é outro importante fator, pois garante o funcionamento eficiente. Basicamente, os módulos devem estar direcionados à linha do equador. No hemisfério norte, direcionados para o sul verdadeiro e vice-versa. Nessa perspectiva, a inclinação dos módulos na instalação também é substancial. E para geração máxima de energia, o ângulo de inclinação deve ser igual ao da latitude do local, porém uma mudança de 10° para mais ou menos não vai reduzir a produção de forma significativa. Já em áreas muito próximas ao equador, aconselha-se uma inclinação mínima de 10° , que favorece autolimpeza (PINHO, GALDINO, 2014, p.367). A figura 13 mostra como orientar um módulo.

Figura 13- Orientação do módulo fotovoltaico



Fonte: Pinho e Galdino (2014, p.366)

Em relação a manutenção, é recomendada limpeza periódica com flanelas simples para retirar excessos de poeira, prever possíveis sombreamentos com árvores. Também com inclinômetros e bússolas é possível revisar orientação e inclinação de módulos.

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho é baseada em pesquisa bibliográfica, aprofundamento no conteúdo e coleta de dados para aplicação do estudo de caso. Este, referente à análise de viabilidade econômica e construtiva de um sistema fotovoltaico em uma residência tipo R1-A em São Luís – MA.

A análise da viabilidade ocorre a partir do dimensionamento do sistema fotovoltaico, para prever o custo da implantação e posteriormente analisar o tempo do retorno do investimento.

Nessa perspectiva, a pesquisa bibliográfica se mostra substancial devido a compreensão dos elementos teóricos, tais como o próprio efeito fotovoltaico, os tipos de células, funcionamento dos módulos e todo o sistema em conjunto. A pesquisa bibliográfica consiste na consulta e estudo de acervo técnico referente ao tema proposto, como livros, artigos, dissertações, apostilas.

Para o dimensionamento, que é a principal etapa do estudo, primeiramente deve-se conhecer a residência, localidade, aspectos construtivos, e o consumo mensal de energia por meio das contas de energia elétrica fornecidas pela CEMAR. A localidade é importante para saber a orientação da casa em relação ao sol. Aspectos construtivos serão observados para verificar possíveis sombras na cobertura onde irá ser instalada os módulos. O consumo mensal de energia, principalmente, deve ser bem analisado para um correto dimensionamento.

Em seguida, utiliza-se equações matemáticas para cálculo da quantidade de painéis solares para a casa. Com o número de painéis definidos, verifica-se, se a cobertura da residência possui área suficiente para comportá-los. A próxima etapa é dimensionar o inversor. O inversor é escolhido a partir da potência energética que a residência demanda. Além disso, deve-se verificar variações de tensão em temperaturas altas e baixas de operação do módulo.

Nesse sentido, após o dimensionamento do sistema e tendo todos os aparelhos necessários para a instalação definidos, faz-se o estudo econômico. Para verificar a viabilidade econômica será realizado a cotação com algumas empresas de energia solar fotovoltaica para se determinar um preço médio do custo total de instalação, considerando todos os insumos e a mão de obra. Finalmente, calcula-se o tempo de retorno do investimento, o “payback”, e o do fluxo de caixa.

3.1 AVALIAÇÃO DO CONSUMO DIÁRIO MÉDIO

Primeiramente, necessita-se determinar o consumo diário de energia da residência. São analisadas as contas de energia, que contém sempre o consumo mensal. Para obter boa precisão na demanda é calculada a média de consumo mensal entre os últimos 12 meses. Os valores todos em kWh.

$$C_{mm} = \frac{\sum \text{Cons. Mensal}}{12} \quad (3.1)$$

Com esse valor, usa-se a seguinte equação para encontrar o valor do consumo diário médio.

$$C_{dm} = \frac{C_{mm}}{30} \quad (3.2)$$

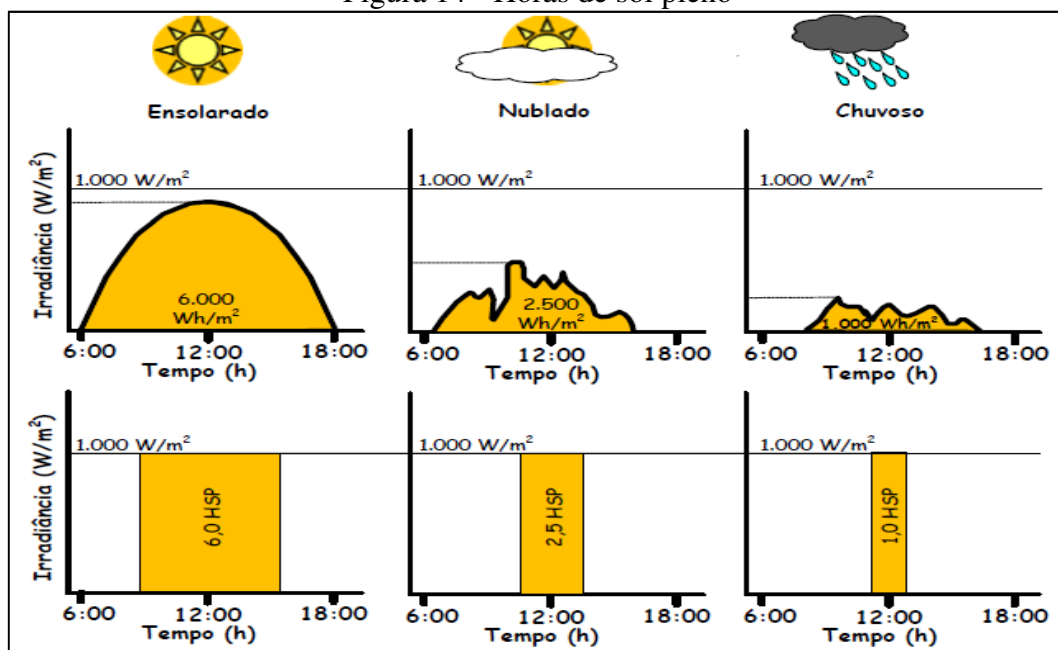
Sendo que:

- C_{mm} : Consumo mensal médio (W);
- C_{dm} : Consumo diário médio (W).

3.2 DETERMINAÇÃO DE HORAS DE SOL PLENO PARA SÃO LUÍS - MA

Um importante fator no dimensionamento são as horas de sol pleno, segundo Pinho e Galdino “reflete o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1kW/m^2 de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo Sol “(2014, p.300). A figura 14 mostra gráficos explicativos sobre horas de sol pleno.

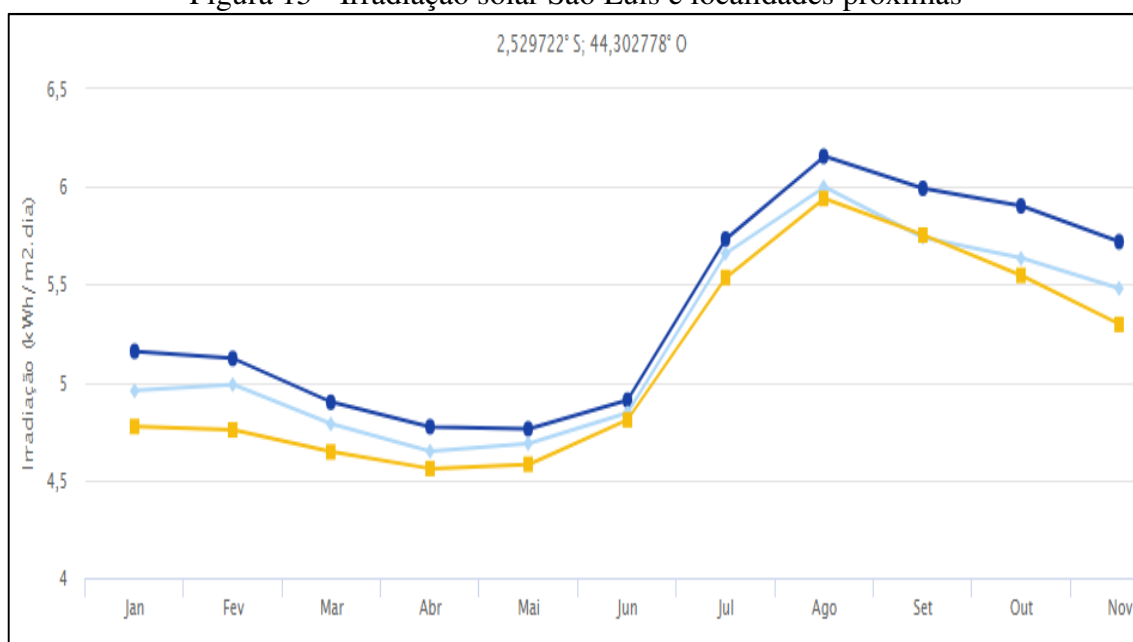
Figura 14 - Horas de sol pleno



Fonte: Pinho e Galdino (2014, p.301)

A média anual desse fator fica em torno de 4,9 horas para a capital maranhense e localidades próximas de acordo com o banco de dados da CRESESB. A figura 15 demonstra graficamente os valores de irradiação em São Luís variando ao longo dos meses do ano.

Figura 15 - Irradiação solar São Luís e localidades próximas



Fonte: Cresesb (2018)

3.3 AVALIAÇÃO DA POTÊNCIA DIÁRIA NECESSÁRIA

Com os valores obtidos de consumo diário médio, e o valor adotado de horas de sol pleno, utilizamos a seguinte equação, baseada em Pinho e Galdino (2014, p. 329) para obter a potência necessária do sistema residencial.

$$Pp = \frac{\frac{Cdm}{80\%}}{H. sol pleno} \quad (3.3)$$

Sendo que:

- Pp: Potência de pico diária (Wp)
- Cdm: (Wh/dia)
- H. sol pleno: Horas de sol pleno (horas)

O valor no final da equação de 80% é a taxa de desempenho do sistema fotovoltaico, que é a relação entre o desempenho real e o desempenho teórico máximo possível. Para sistemas residenciais como o do atual trabalho e bem ventilados e não sombreado optou-se pelo valor de 80%. (PINHO, GALDINO, 2014, p.329).

3.4 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE MÓDULOS

A quantidade de módulos depende do tipo dos módulos, o tamanho e potência fornecida. Para o dimensionamento será adotado um modelo bem comercial na região de São Luís – MA. A figura 16 mostra uma foto do módulo que será utilizado.

Figura 16 - Modelo de módulo



Fonte: Minha Casa Solar (2018)

O módulo escolhido, é o Canadian Solar – CS6U-330P, que é um painel de uma marca conhecida no mercado, bem comercial e um dos mais utilizados para esse tipo de instalação na região. O módulo é de silício cristalino e conta com a melhor eficiência para esse tipo de módulo. Também conta com potência de 330W que pode diminuir a quantidade de módulos para a instalação. As especificações técnicas desse tipo de módulo estão no Anexo 1. O fator mais importante, é a potência deste modelo de painel, e as suas dimensões. A potência é de 330W, e as dimensões são 1,96m x 0,99m x 0,04m. Ocupando uma área de 1,95m².

Porém algumas especificações elétricas e de temperatura dos módulos são importantes para destacar, pois serão necessárias para verificação do inversor. Na tabela 1 observa-se tais propriedades.

Tabela 1 - Propriedades do módulo

Propriedade	Simbologia	Valor
Corrente de funcionamento	Impp	8.8 A
Corrente de curto circuito	Isc	9.31 A
Tensão de func. máx. potência	Vmpp	37,5 V
Tensão de circuito aberto	Voc	45,9 V

Fonte: Autor (2018)

Faz-se necessário nessa etapa também, verificar a área do telhado da residência estudada, para averiguar se os módulos irão ter espaço suficiente para serem instalados na cobertura da residência. O cálculo da quantidade de módulos é a potência diária necessária, dividida pela potência fornecida por cada módulo.

$$Q_m = \frac{P_p}{P_M} \quad (3.4)$$

Sendo que:

- Q_m : Quantidade de módulos;
- P_p : Potência de pico (Wp);
- P_m : Potência fornecida módulo (W).

3.5 AVALIAÇÃO DO INVERSOR

O inversor, na prática, é escolhido com base nos dados dos módulos que serão utilizados, suas especificações técnicas e potência total fornecida. O módulo escolhido precisará estar em uma faixa de potência superior ao dos módulos instalados em série. Será necessário também verificações nas tensões e corrente que os módulos fornecem na entrada do inversor, e averiguar se o mesmo tem capacidade para receber tal tensão e corrente, assim como ocorre com a potência.

A primeira etapa, será analisar qual as temperaturas máximas e mínimas históricas em São Luís – MA, pois serão necessárias na verificação das tensões de dos módulos. De acordo com o INMET, desde 1971 as temperaturas máximas e mínimas recorde são: 37,5°C e 17,9°C.

A primeira verificação que é calculada para o inversor é o aumento da tensão de circuito aberto “Voc”, causada pela operação do módulo em baixas temperaturas.

$$\Delta Voc = -C.T\% \times Voc \times (17,9 - 25) \quad (3.5)$$

Sendo que:

- ΔVoc : Variação da tensão de circuito aberto (V);
- C.T.: Coeficiente de temperatura do módulo (°C);
- Voc: Tensão de circuito aberto (V).

Esse valor irá corrigir a tensão de circuito aberto para um módulo. Após isso, verificar se este novo “Voc” é menor que o valor do “Vdc” que é a máxima tensão de entrada no inversor, ou seja, esse valor não pode ser excedido. O valor do Vdc do inversor é encontrado nas especificações técnicas do inversor escolhido.

O passo seguinte, é verificar a variação da tensão mínima no ponto de máxima potência causada por altas temperaturas no módulo.

$$\Delta V_{mpp} = -C.T\% \times V_{mpp} \times (85 - 25) \quad (3.6)$$

Sendo que:

- ΔV_{mpp} : Variação de tensão mínima (V)
- C.T.: Coeficiente de temperatura do módulo
- V_{mpp} : Tensão mínima (V)

Depois de verificar as tensões de entrada no inversor, é também analisada a corrente de entrada que os módulos ligados em série vão fornecer ao inversor, e se o mesmo tem capacidade para receber esta corrente. Para verificar precisa-se dos dados dos módulos e inversor, escolhido posteriormente.

3.6 ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

O estudo do tempo de retorno do investimento levará em consideração a inflação média anual no Brasil, é importante pois o dinheiro vai perdendo valor com o tempo, logo aumentando o tempo de retorno do investimento. Também os aumentos na tarifa básica de energia elétrica que ocorrem com o passar dos anos, encarecendo o preço da conta de luz. O custo de disponibilidade, que segundo Mendes (201-?) é uma taxa mínima para disponibilizar energia elétrica no ponto de consumo e esse custo varia entre monofásico, bifásico e trifásico.

Além disso, se levará em consideração no cálculo, a perda de desempenho do sistema fotovoltaico, que vai diminuindo a produção energética do sistema fotovoltaico, logo, diminuindo a economia. Em resumo os itens importantes no cálculo do tempo de retorno do investimento são:

- Inflação;
- Aumento da tarifa básica de energia anual;

- Perda de desempenho do sistema fotovoltaico;
- Custo de disponibilidade.

O payback é o número de períodos necessários para que o fluxo de caixa acumulado se torne positivo. O payback discutido no trabalho será o payback descontado. Existem dois tipos de payback, o simples e o descontado. O simples não leva em conta o dinheiro no tempo e é vantajoso pois é bem simples o seu cálculo. O descontado apresenta um valor confiável. (NAKABAYASHI, 2015, p.17).

O estudo econômico precisará de alguns conhecimentos de matemática financeira. Em decisões como um investimento, há conceitos matemáticos que são ferramentas que permitem analisar melhor como o dinheiro aplicado se comportará, em quanto tempo ele retorna, que custos ele evitará. (NAKABAYASHI apud MANKIN, 2015, p.16).

Dentre eles o Valor Presente Líquido (VPL), que é a diferença entre os benefícios gerados pelo projeto e seus custos, esse dado será importantíssimo no fluxo de caixa do projeto. Ele leva em consideração o investimento inicial, o fluxo de caixa em um período, a taxa descontada (inflação), o período em questão. Se o VPL for positivo as receitas do projeto superam o valor investido somado às despesas do projeto. E assim os casos viáveis são os que apresentam VPL maior que zero. (NAKABAYASHI apud BREALEY; MYERS; ALLEN, 2011, p.16). Na figura 17 tem-se a equação que calcula o VPL.

Figura 17 - Equação valor presente líquido

$$\text{VPL} = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Fct}{(1+r)^t}$$

Fonte: Nakabayashi (2015, p.16)

O outro importante conceito nesse estudo de tempo de retorno, é a Taxa Interna de Retorno (TIR). Segundo Nakabayashi (apud KEYNES, 2015, p. 16) “é a taxa em que, empregada como a taxa de desconto no cálculo do VPL faz com que seu valor fique igual a zero, ou seja, é a raiz da função VPL”. Na figura 18 tem-se a fórmula de TIR.

Figura 18 - Cálculo de TIR

$$VPL = -I_0 + \frac{Fc_1}{(1+TIR)^1} + \frac{Fc_2}{(1+TIR)^2} + \frac{Fc_3}{(1+TIR)^3} + \dots + \frac{Fc_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

Fonte: Nakabayashi (2015, p.17)

Esses conceitos serão utilizados em uma planilha no Excel, para fornecer o tempo de retorno, e o fluxo de caixa descontado.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 DESCRIÇÃO DA RESIDÊNCIA

É necessário definir primeiramente em qual padrão residencial se encaixa a residência que será estudada, para especificar melhor a que tipo de construção se aplica todo o estudo de caso. Utilizando a norma ABNT NBR 12721:2006, que trata de avaliação de custos de construção, pode-se basear e escolher o padrão mais próximo da habitação estudada. Na figura 19 observa-se os padrões de residências unifamiliares.

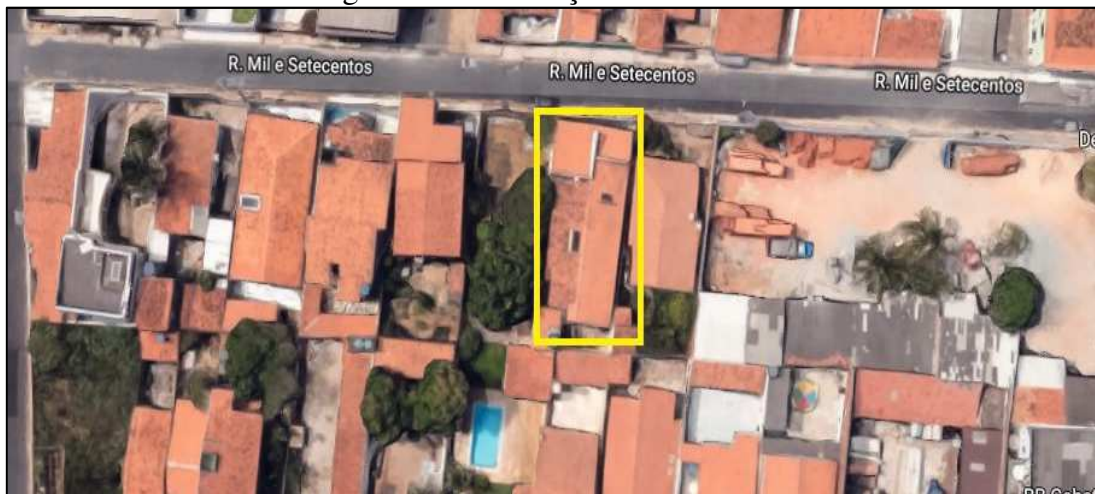
Figura 19 - Padrões residenciais

Residência Unifamiliar		
Residência Padrão Baixo (R1-B)	Residência Padrão Normal (R1-N)	Residência Padrão Alto (R1-A)
Residência composta de dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque.	Residência composta de três dormitórios, sendo um suíte com banheiro, banheiro social, sala, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda (abrigo para automóvel).	Residência composta de quatro dormitórios, sendo um suíte com banheiro e closet, outro com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha área de serviço completa e varanda (abrigo para automóvel).
Área Real: 58,64 m²	Área Real: 106,44 m²	Área Real: 224,82 m²

Fonte: ABNT NBR 12721:2006 (2006)

A residência do estudo, localiza-se em São Luís – MA, mais precisamente na Rua Mil e Setecentos, Quadra 18, Casa 16 no bairro Parque Aurora. Utilizando o aplicativo Google Maps, pode-se situar melhor no local da residência. A figura 20 mostra a localização da residência.

Figura 20: Localização da residência



Fonte: Google Maps (2018)

A residência conta com os seguintes cômodos:

- Sala de estar
- Sala de jantar
- Escritório
- 3 suítes
- 1 banheiro social
- Área de serviço completa, com quarto
- Abrigo para automóvel

A habitação é situada num terreno com dimensões 12m x 30m, contendo uma área construída de 360m². E observando a área construída, e os cômodos da residência, a mesma se encaixa no padrão R1-A da ABNT NBR 12721:2006. A figura 21 apresenta a fachada da residência.

Figura 21 – Fachada da residência

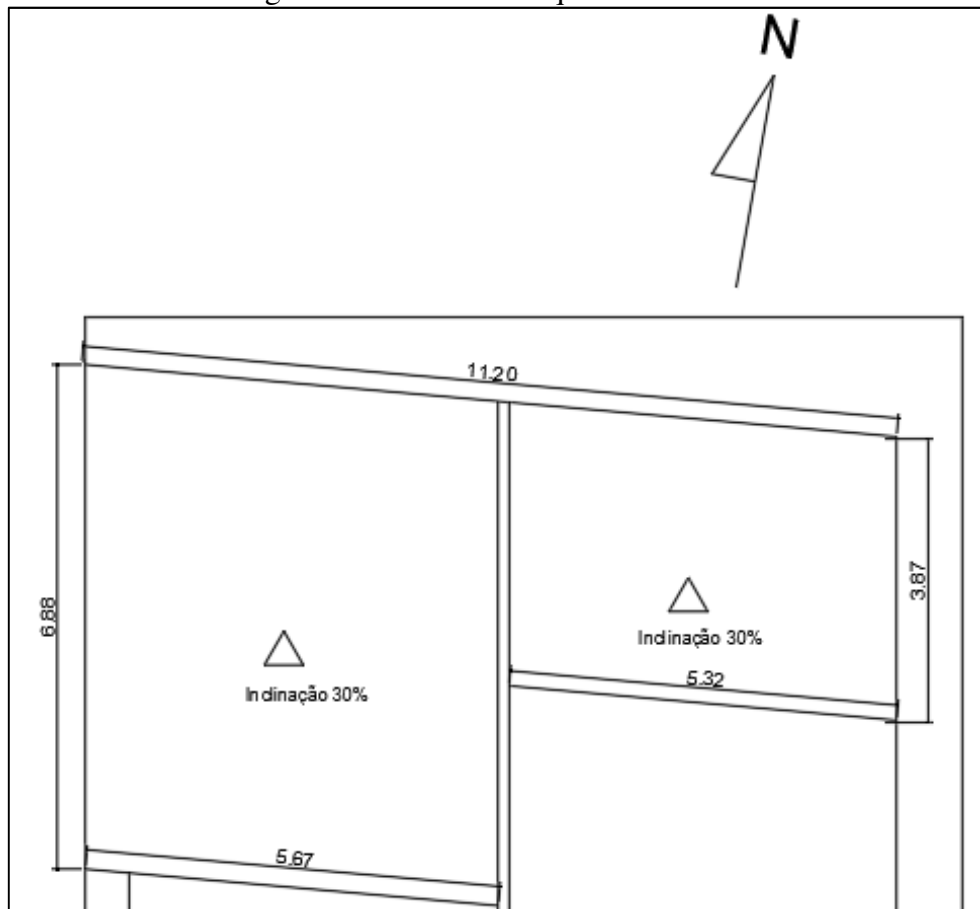


Fonte: Autor (2018)

Interessante citar as características construtivas da cobertura, são 4 águas, duas podem ser vistas na foto cima, estão inclusive viradas para o norte, local perfeito para colocação dos módulos. As outras são a de maior área, uma para leste, outra para oeste. Os sombreamentos não existem na cobertura, não há grande árvores que possam criar sombras para os módulos, nem qualquer outro objeto.

Outro fator importantíssimo no trabalho, é a área do telhado que a residência possui, afinal é nessa parte da casa que será instalado os painéis solares. Com medições feitas no local, encontra-se uma área $257,49\text{m}^2$, porém, as placas devem ser instaladas para o norte, já que São Luís está abaixo da linha do equador, portanto no hemisfério Sul. Porém, a maior parte da área do telhado está voltado para o Leste e Oeste, a parte voltada para o Norte possui $60,33\text{m}^2$. Essa área frontal, é a ideal para instalação dos módulos. Na figura 22, tem-se parte do croqui da cobertura:

Figura 22 – Parte do croqui de cobertura

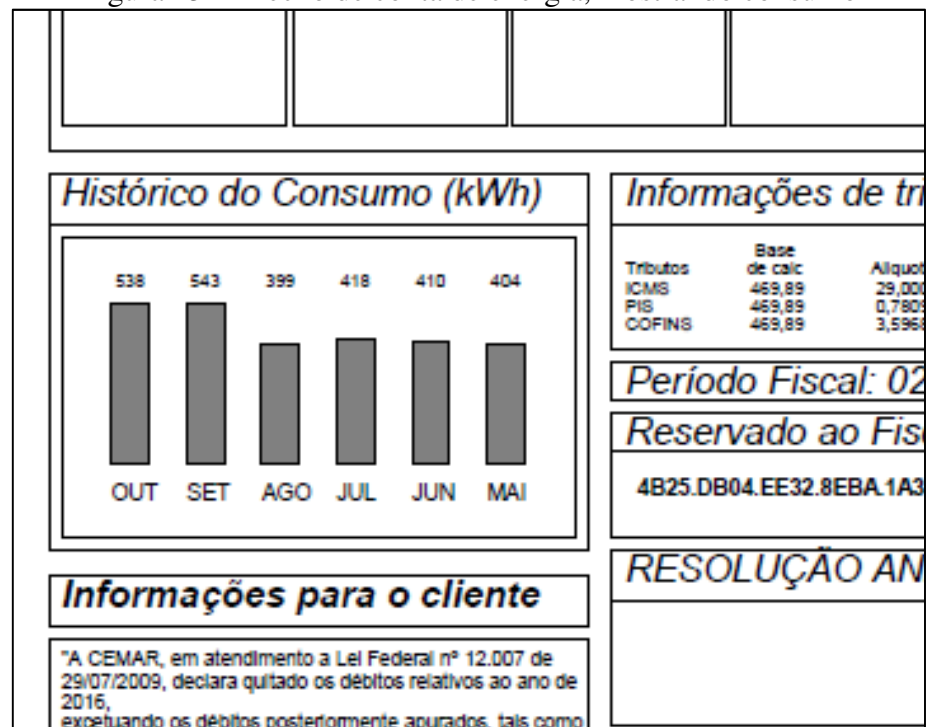


Fonte: Autor (2018)

4.2 DEMANDA ENERGÉTICA DA RESIDÊNCIA

A demanda da residência poderia ser prevista fazendo um apanhado geral de todos os eletrodomésticos e outros aparelhos que utilizam energia elétrica, a quantidade de tempo que estariam consumindo energia e assim se obteria uma certa potência. Porém, para facilitar os cálculos, e ter mais precisão, foi utilizado o histórico de consumo fornecido pela CEMAR nas contas de energia. Abaixo na figura 23 é possível notar um exemplo de histórico de consumo que vem na conta de energia. A tabela 2 e a figura 24 detalha o consumo da residência. Lembrando que o Anexo C possui uma conta de energia da residência com mais detalhes.

Figura 23 – Trecho de conta de energia, mostrando consumo



Fonte: Autor (2018)

Tabela 2 – Histórico de consumo

Mês	Consumo (kWh)
Janeiro	491
Fevereiro	481
Março	384
Abril	354
Mai	404
Junho	410
Julho	418
Agosto	399
Setembro	543
Outubro	538
Novembro	531
Dezembro	604
TOTAL	5557
MÉDIA	464

Fonte: Autor (2018)

Figura 24 – Gráfico de consumo



Fonte: Autor (2018)

4.3 DIMENSIONAMENTO

4.3.1 CONSUMO DIÁRIO MÉDIO

$$604+531+538+543+399+418+410+404+354+384+481+491 = 5557 \text{ kWh}$$

$$C_{mm} = \frac{5557 \text{ kWh}}{12}$$

$$C_{mm} = 464000 \text{ Wh/mês}$$

Logo, utilizando a equação 3.2;

$$C_{dm} = \frac{464000 \text{ Wh/mês}}{30}$$

$$C_{dm} = 15466,67 \text{ Wh/dia}$$

4.3.2 POTÊNCIA DIÁRIA NECESSÁRIA

Portanto, usando a equação 3.3:

$$P_p = \frac{\frac{15466,67}{80\%}}{4,9}$$

$$P_p = 3945,57 \text{ Wp}$$

4.3.3 QUANTIDADE DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Como visto anteriormente, o módulo possui 330W. Utilizando a equação 3.4:

$$Q_m = \frac{3945,57}{330}$$

$$Q_m = 12 \text{ Módulos}$$

Os doze módulos necessários fornecem uma potência total ao sistema fotovoltaico, que pode ser calculada multiplicando a quantidade de módulos pela potência fornecida por cada um:

$$Pot. total = 12 \times 330W$$

$$Potência total = 3960Wp$$

Se cada módulo ocupa 1,95m² de área, doze módulos irão necessitar de no mínimo 23,4m². Observando a área da cobertura da residência, tem-se voltado para o norte, uma área de 60,33m². Portanto, a área do telhado possui condições de receber os doze módulos.

4.3.4 INVERSOR

Após escolher os módulos e a quantidade, vemos que a potência total do sistema é 3960 Wp, ou seja, devemos encontrar um capaz de receber essa potência. Então com referência na potência foi escolhido o inversor Fronius Grid-Tie 4000W Primo. A figura 25 demonstra um modelo do inversor utilizado.

Figura 25 – Inversor Fronius



Fonte: Minha casa solar (2018)

Para as verificações em relação às tensões e corrente que o inversor pode receber dos módulos, primeiramente deve-se analisar as informações técnicas do aparelho para depois fazer as devidas conferências. No anexo B há todas as especificações do fabricante para o inversor. Na tabela 3 pode-se analisar as propriedades do inversor.

Tabela 3 - Propriedades do inversor

Propriedade	Valor
Voltagem máxima entrada	1000 V
Faixa de voltagem em plena potência	200V à 800V
Voltagem mínima para operação	80V
Corrente máxima	18A

Fonte: Autor (2018)

Após conhecer esses dados, verificar se os doze módulos e a influência da temperatura em casos extremos podem incapacitar o funcionamento do inversor. Utilizando a equação 3.5 verifica-se a máxima tensão em circuito aberto:

$$\Delta V_{oc} = -0,0031 \times 45,9 \times (17,9 - 25)$$

$$\Delta V_{oc} = 1,04 \text{ V}$$

$$V_{oc}(\text{máx}) = 45,9 + 1,04$$

$$V_{oc}(\text{máx}) = 46,94 \text{ V (1 módulo)}$$

$$V_{oc}(máx) = 563,28 V \text{ (12 módulos)}$$

$$V_{oc}(máx) = 563,26 V < 1000 V \text{ (capacidade inversor)}$$

Verifica-se que o inversor é capaz de receber a máxima voltagem dos módulos, e inclusive fica entre a faixa de máxima operação do inversor. Agora, é observada a mínima voltagem que os módulos podem gerar ao inversor com a equação 3.6:

$$\Delta V_{mpp} = -0,0031 \times 37,5 \times (85 - 25)$$

$$\Delta V_{mpp} = -6,975 V$$

$$V_{mpp}(mín) = 37,5 - 6,975 V$$

$$V_{mpp}(mín) = 30,525 V \text{ (em 1 módulo)}$$

$$V_{mpp}(mín) = 366,3 V \text{ (12 módulos)}$$

$$V_{mpp}(mín) = 366,3 V > 80 V \text{ (voltagem mínima)}$$

Então, as verificações de tensão foram realizadas, resta somente verificar a corrente que os doze módulos fornecem ao inversor, e se ele tem capacidade para a mesma. Pelas informações do módulo, sua corrente máxima é 9,31 A, enquanto o inversor pode receber até 18 A, logo o inversor é totalmente capaz de receber os doze módulos. Todas as especificações técnicas do fabricante para o inversor estão em anexo.

4.4 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A parte econômica em relação à energia solar é o maior entrave na hora de investir nessa tecnologia, pois ainda é muito cara no Brasil, e sem muitos incentivos governamentais. O objetivo dessa parte do capítulo será apresentar uma análise econômica para obtenção do tempo de retorno de investimento (payback), e se é viável e atrativo economicamente.

Como explicado na metodologia, o primeiro passo é verificar o custo da instalação do sistema fotovoltaico na residência. Foram feitas cotações com as maiores empresas de energia solar em São Luís – MA, nas tabelas 4 e 5 a seguir, pode-se ver a proposta das duas empresas.

Tabela 4 – Cotação primeira empresa em São Luís

EMPRESA 1 SÃO LUÍS						
DESCRIÇÃO	UNIDADE	QNTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL		
MÓDULO 330W	UND	12	R\$ 1.000,00	R\$	12.000,00	
INVERSOR	UND	1	R\$ 9.000,00	R\$	9.000,00	
STRING BOX	UND	1	R\$ 600,00	R\$	600,00	
CONECTOR MC4	UND	24	R\$ 6,00	R\$	144,00	
CABO SOLAR 4MM ²	M	120	R\$ 16,57	R\$	1.988,40	
SISTEMA DE FIXAÇÃO TELHADO	UND	1	R\$ 2.411,20	R\$	2.411,20	
TOTAL				R\$	26.143,60	

Fonte: Autor (2018)

Tabela 5 – Cotação segunda empresa em São Luís

EMPRESA 2 SÃO LUÍS						
DESCRIÇÃO	UNIDADE	QNTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL		
MÓDULO 330W	UND	12	R\$ 920,00	R\$	11.040,00	
INVERSOR	UND	1	R\$ 8.000,00	R\$	8.000,00	
STRING BOX	UND	1	R\$ 33,00	R\$	33,00	
CONECTOR MC4	UND	24	R\$ 8,00	R\$	192,00	
CABO SOLAR 4MM ²	M	80	R\$ 12,00	R\$	960,00	
SISTEMA DE FIXAÇÃO TELHADO	UND	1	R\$ 2.500,00	R\$	2.500,00	
TOTAL				R\$	22.725,00	

Fonte: Autor (2018)

Utilizando-se dos dois valores, tem-se uma média de investimento de R\$24.434,30 centavos. Com o custo médio para São Luís - MA, deve-se agora dar os devidos valores aos itens mencionados na metodologia, que são premissas para o cálculo, e serão de suma importância no cálculo do tempo de retorno do investimento.

Com os dados recentes da economia, e projetando um futuro segundo Frisch (2018), entre os economistas que mais acertam as previsões, a mediana para a inflação oficial se manteve em 3,24% no fim de 2018, e em 3,75% em 2019. Será adotada uma inflação média de 4% ao ano para o cálculo.

Em relação a tarifa de energia elétrica, percebendo aumentos nos últimos vinte anos, constatou-se uma média de crescimento de 9,6% ao ano segundo estudos de dissertação de mestrado de Nakabayashi (2015) baseados em dados do IBGE e ANEEL.

Em relação ao custo de disponibilidade, a residência conta com distribuição monofásica, portanto uma taxa de 30kWh por mês será sempre cobrada independente do consumo energético da residência.

Em relação às perdas de desempenho anuais, elas ficam em torno de 0,5% e 1,0% nos módulos de silício, isso vai diminuindo o desempenho da unidade fotovoltaica. (Pinho e Galdino, 2014). Logo será adotado um valor médio de 0,8%. Na tabela 6, um resumo das premissas para realização dos cálculos:

Tabela 6 - Premissas de cálculo do payback

PREMISSAS	
Potência da UFV (kWp)	3,96
Irradiação média mensal (kWh/m ² .dia)	4,9
Eficiência global (%)	80%
Perda de desempenho médio anual (%)	0,80%
Consumo médio mensal (kWh)	464
Custo de disponibilidade (kWh)	30
Tarifa no ano-base (R\$/kWh)	0,8419
Reajuste médio anual (% a.a.)	9,60%
Investimento (R\$)	R\$ 24.434,30
Taxa inflação (% a.a.)	4%

Fonte: Autor (2018)

Utilizando o Excel, foi organizada uma planilha com dados como geração, consumo, economia de energia e até custo economizado mês a mês. Também foram automatizadas as formulas de fluxo de caixa e a de tempo de retorno do investimento, e todos os dados necessários para a análise, partindo das premissas. A tabela 7 mostra toda a análise financeira.

A tabela 7 mostra a geração de energia do sistema fotovoltaico. O cálculo é realizado multiplicando a potência das placas, irradiação média mensal, eficiência global. O consumo anual é somente a multiplicação do consumo médio mensal por 12 (meses).

A coluna de consumo faturado, é o cálculo que permite observar se o cliente pagará até 360kWh (que é a taxa mínima anual), é o que o cliente será cobrado pela CEMAR. Porém, quando o desempenho das placas começa a decair a um certo ponto que não consegue atender de forma completa a demanda, o consumo faturado vai aumentar, logo o consumo deixará de ser só a taxa mínima de disponibilidade e passará a ser cobrado essa lacuna entre produção e consumo.

A economia de energia vai ser a diferença do consumo, e do consumo faturado. No início será o consumo diminuído da taxa mínima, e posteriormente será cobrada a dimi-

nuição da lacuna entre produção e consumo. E com o passar do tempo a lacuna vai ser sempre maior pela perda de desempenho dos módulos, logo a economia irá diminuir.

A coluna da tarifa mostra os aumentos da mesma com a taxa anual de 9,6%. O custo evitado, é o consumo economizado, multiplicado pela tarifa média daquele ano.

No fluxo de caixa, temos o valor do investimento, que vai sendo abatido a partir do custo economizado. O fluxo de caixa descontado funciona da mesma forma, porém, com correção da inflação, utilizando a fórmula de VPL.

A parte mais importante da planilha é justamente no fluxo de caixa descontado pela inflação.

Tabela 7 – Análise do payback (tempo de retorno do investimento)

ANO	GERAÇÃO (KWH/ANO)	CONSUMO (KWH/ANO)	CONSUMO FATURADO (KWH/ANO)	ECONOMIA DE ENERGIA (KWH/ANO)	TARIFA (R\$/KWH)	CUSTO EVITADO (R\$/ANO)	INVESTIMENTO (R\$)	FLUXO DE CAIXA SIMPLES		FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	
								FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CAIXA ACUMULADO	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO ACUMULADO
0							R\$ 24.434,30	-R\$ 24.434,30	-R\$ 24.434,30	-R\$ 24.434,30	-R\$ 24.434,30
1	5588	5568	360	5208	0,84	4.384,62		R\$ 4.384,62	-R\$ 20.049,68	R\$ 4.215,98	-R\$ 20.218,32
2	5544	5568	360	5208	0,92	4.805,54		R\$ 4.805,54	-R\$ 15.244,15	R\$ 4.442,99	-R\$ 15.775,33
3	5499	5568	360	5208	1,01	5.266,87		R\$ 5.266,87	-R\$ 9.977,28	R\$ 4.682,23	-R\$ 11.093,11
4	5455	5568	360	5208	1,11	5.772,49		R\$ 5.772,49	-R\$ 4.204,79	R\$ 4.934,35	-R\$ 6.158,76
5	5412	5568	360	5208	1,21	6.326,65		R\$ 6.326,65	R\$ 2.121,86	R\$ 5.200,04	-R\$ 958,71
6	5368	5568	360	5208	1,33	6.934,01		R\$ 6.934,01	R\$ 9.055,87	R\$ 5.480,05	R\$ 4.521,33
7	5325	5568	360	5208	1,46	7.599,67		R\$ 7.599,67	R\$ 16.655,54	R\$ 5.775,13	R\$ 10.296,46
8	5283	5568	360	5208	1,60	8.329,24		R\$ 8.329,24	R\$ 24.984,78	R\$ 6.086,09	R\$ 16.382,55
9	5241	5568	360	5208	1,75	9.128,85		R\$ 9.128,85	R\$ 34.113,63	R\$ 6.413,81	R\$ 22.796,36
10	5199	5568	369	5199	1,92	9.987,21		R\$ 9.987,21	R\$ 44.100,84	R\$ 6.747,00	R\$ 29.543,36
11	5157	5568	411	5157	2,11	10.858,42		R\$ 10.858,42	R\$ 54.959,26	R\$ 7.053,42	R\$ 36.596,78
12	5116	5568	452	5116	2,31	11.805,62		R\$ 11.805,62	R\$ 66.764,87	R\$ 7.373,75	R\$ 43.970,54
13	5075	5568	493	5075	2,53	12.835,45		R\$ 12.835,45	R\$ 79.600,32	R\$ 7.708,64	R\$ 51.679,17
14	5034	5568	534	5034	2,77	13.955,11		R\$ 13.955,11	R\$ 93.555,43	R\$ 8.058,73	R\$ 59.737,90
15	4994	5568	574	4994	3,04	15.172,44		R\$ 15.172,44	R\$ 108.727,87	R\$ 8.424,72	R\$ 68.162,62
16	4954	5568	614	4954	3,33	16.495,96		R\$ 16.495,96	R\$ 125.223,83	R\$ 8.807,33	R\$ 76.969,95
17	4914	5568	654	4914	3,65	17.934,94		R\$ 17.934,94	R\$ 143.158,77	R\$ 9.207,32	R\$ 86.177,27
18	4875	5568	693	4875	4,00	19.499,44		R\$ 19.499,44	R\$ 162.658,21	R\$ 9.625,47	R\$ 95.802,74
19	4836	5568	732	4836	4,38	21.200,41		R\$ 21.200,41	R\$ 183.858,62	R\$ 10.062,62	R\$ 105.865,35
20	4797	5568	771	4797	4,80	23.049,77		R\$ 23.049,77	R\$ 206.908,39	R\$ 10.519,61	R\$ 116.384,97
21	4759	5568	809	4759	5,27	25.060,45		R\$ 25.060,45	R\$ 231.968,84	R\$ 10.997,37	R\$ 127.382,33
22	4721	5568	847	4721	5,77	27.246,52		R\$ 27.246,52	R\$ 259.215,35	R\$ 11.496,82	R\$ 138.879,15
23	4683	5568	885	4683	6,33	29.623,29		R\$ 29.623,29	R\$ 288.838,64	R\$ 12.018,95	R\$ 150.898,09
24	4646	5568	922	4646	6,93	32.207,39		R\$ 32.207,39	R\$ 321.046,03	R\$ 12.564,79	R\$ 163.462,89
25	4609	5568	959	4609	7,60	35.016,90		R\$ 35.016,90	R\$ 356.062,93	R\$ 13.135,43	R\$ 176.598,31

Fonte: Autor (2018)

A partir da tabela 7 calculou-se o tempo de retorno. Na tabela 8, pode-se ver o tempo de retorno simples e descontado.

Tabela 8 – Tempo de retorno

PAYBACK SIMPLES	5 anos	8 mês(es)
PAYBACK DESCONTADO	6 anos	2 mês(es)

Fonte : Autor (2018)

Analisando as tabelas 7 e 8, com um custo evitado de R\$ 176.598,31, um tempo de retorno de pouco mais de 6 anos, a viabilidade é ótima. Com o valor do custo evitado é obviamente possível adquirir outro sistema fotovoltaico quando este estiver com sua vida útil acabada. O investimento é pago de forma rápida, levando em consideração a vida útil do sistema fotovoltaico, e ainda evita custos de grande escala.

5 CONCLUSÃO

Diante o exposto, percebendo todos os problemas ambientais que envolvem a industrialização, urbanização, produção de combustível e a produção de energia elétrica. Em meio a isso, soluções sustentáveis são necessárias em todas essas e outras áreas e setores econômicos onde se possa conciliar desenvolvimento com sustentabilidade.

Em se tratando da parte energética, na produção de energia elétrica, que é o foco deste trabalho, dentre as fontes renováveis a energia solar é uma opção extraordinária e muito promissora no Brasil. Porém, ainda não muito utilizada no país tropical quando comparada com alguns países europeus, que lideram o ranking na utilização desse tipo de fonte, e aos asiáticos (mesmo tendo bem mais condições de receber esse tipo de energia devido sua irradiação média anual bem maior que nos europeus). A falta de incentivos governamentais gera esse déficit em relação aos países da Europa e Ásia.

Todas as energias renováveis são necessárias, eólica, geotérmica, maremotriz, devem ocupar mais espaço na matriz energética brasileira. Em relação a energia solar, apesar do investimento inicial ser alto ela possui enormes vantagens, a instalação ocupa pouco espaço, não emite poluentes, baixíssima necessidade de manutenção e pode chegar em lugares isolados e remotos.

Nesse contexto, o principal objetivo do trabalho então, foi verificar a viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico para produção de energia elétrica em uma residência unifamiliar. O estudo buscou informações geográficas da casa, a demanda energética, e as características da residência para enquadrá-la em um padrão residencial.

Dentre as características da casa, foi preciso medir a área do telhado da residência e ver o sentido que estava em relação ao norte. Com esse valor foi possível dimensionar a potência total da unidade fotovoltaica e escolher o tipo de módulo e a quantidade dos mesmos. Verificou-se então que havia área disponível para instalar esses módulos. Com o dimensionamento feito, foi possível escolher um inversor e verificar se o mesmo tinha condições de operar com a potência, tensões e corrente fornecidas pelas placas.

Nessa perspectiva, com as verificações feitas, então chega a principal etapa, o estudo econômico. De início, cotações foram feitas com algumas empresas de São Luís – MA para se obter uma média de custo da instalação de um sistema fotovoltaico desse porte. Com esse custo, valores e tarifas determinou-se o tempo de retorno do investimento.

Como resultado, percebe-se um tempo de retorno de 6 anos e 2 meses, com um custo evitado de mais de R\$170.000,00. Esses resultados evidenciam uma boa viabilidade

econômica para instalação de um sistema fotovoltaico em uma residência familiar padrão R1-A, e demonstra ainda que com o custo evitado total, propicia a condição de instalar uma nova unidade fotovoltaica na residência após os 25 anos de vida útil do sistema.

Portanto, não só é viável economicamente, como também limpa, sustentável e inofensiva ao meio ambiente. A energia solar do tipo fotovoltaica é promissora, e se incentivada ficará mais barata ainda, aumentando a viabilidade econômica e acesso à várias camadas da população, e assim ela terá impacto na matriz energética brasileira.

Para trabalhos futuros, analisar viabilidades econômicas para diferentes padrões residenciais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12721: **Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento**. Rio de Janeiro. 2006.

ANEEL. **Perguntas e respostas sobre a aplicação da resolução normativa nº 482/2012 – atualizado em 25/05/2017**. 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/FAQ+-V3_20170524/ab9ec474-7dfd-c98c-6753-267852784d86>. Acesso em 23 jan. 2018.

ANEEL. **Resolução normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012**. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 23 jan. 2018.

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Proposta para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira**. 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

BARBOSA, V. **Os países líderes em geração com usinas solares**. 2016. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/economia/china-lidera-geracao-com-usinas-solares-veja-ranking/>>. Acesso em: 24 jan. 2018.

CANAL ENERGIA. **BNDES capta US\$ 141mi com banco alemão para projetos de energia renovável**. 2017. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53046197/bndes-capta-us-141-mi-com-banco-alemao-para-projetos-de-energia-renovavel>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

CRAVO, A. **Energia renovável: por que esse debate é importante?**. 2017. Disponível em: <<http://www.politize.com.br/energia-renovavel-por-que-e-importante-para-politica/>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

CRESESB. **Energia solar, princípios e aplicações**. [200-?]. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2018.

ECYCLE. **O que é energia solar, vantagens e desvantagens.**[201-?].Disponível em:<<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/69-energia/2890-o-que-e-energia-solar-como-funciona-radiacao-solar-painel-residencial-fotovoltaica-csp-heliotermica-nuclear-eolica-biomassa-desvantagens-vantagens-eletricidade.html>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

FRISCH, F. **Mercado vê inflação em 3,65% e crescimento menor do PIB em 2018.** 2018. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/brasil/5567609/mercado-ve-inflacao-em-365-e-crescimento-menor-do-pib-em-2018>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

HINRICHS, R.A.; KLEINBACH, M.; REIS, L.B. **Energia e Meio Ambiente - Tradução da 5ª Edição Norte-Americana.** 2015. Cengage Learning

LIBERATO, V. **Energia hidrelétrica: quais são as vantagens e desvantagens?.** 2015. Disponível em: <https://meioambienterio.com/7270/2015/08/energia-hidreletrica-vantagens-e-desvantagens/>. Acesso em: 11 Nov. 2017.

MENDES, L. **Posso zerar minha conta de energia? Saiba quanto custa o Custo de Disponibilidade altera o valor final da sua conta.** [201-?]. Disponível em:<<http://astrasolar.com.br/conta-de-energia/zerar-Conta-de-energia/>>. Acesso em: 29/05/2018.

NAKABAYASHI, R. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: Viabilidade econômica.** Campinas: IEEUSP LSF, 2015.

O GLOBO. **Aneel aprova aumento de 42,8% na taxa extra para conta de luz a partir de Novembro. 2017.** Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Economia/noticia/2017/10/aneel-aprova-aumento-de-428-na-taxa-extra-para-Conta-de-luz-partir-de-novembro.html>>. Acesso em: 24 jan. 2018.

OLIVEIRA, U.A. **A importância da utilização de energias renováveis para manutenção dos recursos naturais.** 2014. Disponível em:<<https://medium.com/meio-ambiente/a-importancia-da-utilizacao-de-energias-renovaveis-para-manutencao-dos-recursos-naturais-a9c1ff1ac982>>. Acesso em: 2 mar. 2018.

PAMPLONA, N. **Enel inaugura no Piauí maior usina solar do país**. 2017. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2017/11/1938898-enel-inaugura-no-piaui-maior-usina-solar-do-pais.shtml>>. Acesso em: 20 mar. 2018

PENA, R. F. A. **Fontes renováveis de energia**. [2014?] Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/fontes-renovaveis-energia.htm>>. Acesso em: 19 de jan. 2018.

PENA, R.F.A. **Vantagens e desvantagens da energia solar**. [2015?]. Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/vantagens-desvantagens-energia-solar.htm#disqus_thread>. Acesso em: 02 abr. 2018

PENA, R. F. A. **Vantagens e desvantagens da energia solar**. [2014?] data provável. Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/vantagens-desvantagens-energia-solar.htm>. Acesso em: 12 Nov. 2017.

PINHO, J.T.; GALDINO, M.A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014.

PRESSE, F. **Conheça a maior usina de energia solar da América Latina, Pirapora**. 2017 Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/negocios/noticia/usina-de-energia-solar-de-pirapora-inicia-producao-conheca.ghtml>>. Acesso em: 20 mar. 2018

PORTAL ENERGIA. **Vantagens e desvantagens da energia solar**. 2016. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar/>. Acesso em: 12 Nov. 2017.

PORTAL SOLAR. **Vantagens e desvantagens da energia solar**. [2015?] data provável. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar.html>. Acesso em: 12 Nov. 2017.

REIS, L.B. **Geração de energia elétrica** 2ª edição. Barueri – SP. Manole, 2011.

SOUZA, R. **Sistemas de energia solar fotovoltaica**. Ribeirão Preto: BlueSol, [201-?]

SOUZA, L. M. **Energia gerada por fonte fotovoltaica atinge 1GW no Brasil**. 2018. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/ciencia/126345-energia-gerada-fonte-fotovoltaica-atinge-1-gw-brasil.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

SOUZA, R. **Célula fotovoltaica - O guia técnico absolutamente completo**. 2017. Disponível em: <<http://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>>. Acesso em: 22 mar. 2018

SOUZA, R. **Energia solar residencial: por que você deveria pensar em utilizar**. 2016. Disponível em <<http://blog.bluesol.com.br/energia-solar-residencial-uma-otima-opcao/>>. Acesso em: 30 mar. 2018

SPUTNIKNEWS. **A Agência Internacional de Energia (AIE) divulgou um relatório que prevê um aumento de 30% na demanda por energia nos próximos anos, até 2040, com os países asiáticos liderando o crescimento**. 2017. Disponível em:<<https://br.sputniknews.com/mundo/201711149833256-consumo-energia-mundial/>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

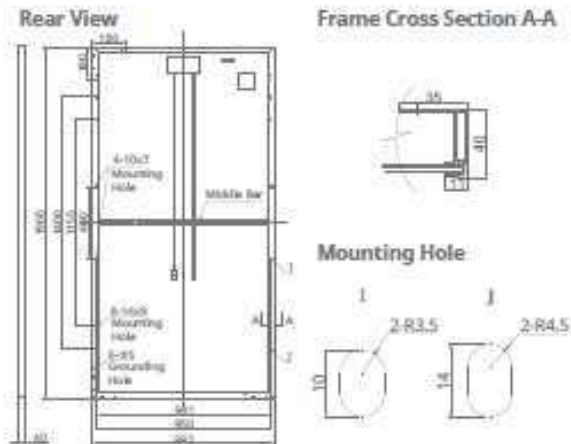
TOLMASQUIM, M. T. **Energia renovável. Hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

VALLÊRA, A.M.; BRITO, M.C. **Meio século de história fotovoltaica**. [2006?]. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2018.

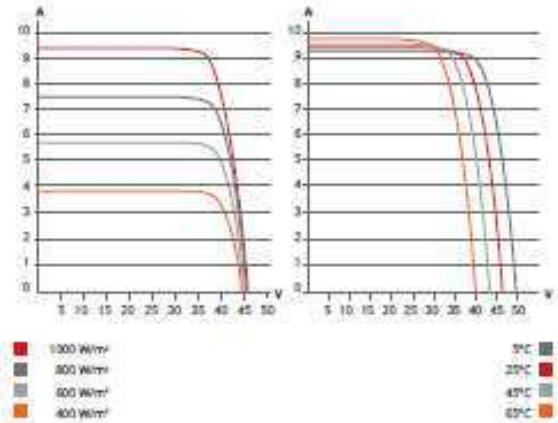
ANEXOS

ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES DOS MÓDULO

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6U-335M / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA / STC*

CS6U	325 M	330 M	335 M
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.4 V	37.5 V	37.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.69 A	8.80 A	8.87 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.8 V	45.9 V	46.1 V
Short Circuit Current (Isc)	9.21 A	9.31 A	9.41 A
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA / NOCT*

CS6U	325 M	330 M	335 M
Nominal Max. Power (Pmax)	235 W	238 W	242 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.1 V	34.2 V	34.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.88A	6.96 A	7.01 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.0 V	42.1 V	42.3 V
Short Circuit Current (Isc)	7.46 A	7.54 A	7.62 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6x12)
Dimensions	1960x992x40 mm (77.2 x 39.1 x 1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000V (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4-1000V or PV2 series
Per Pallet	26 pieces
Per container (40' HQ)	572 pieces (40' HQ)

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

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

ANEXO B – ESPECIFICAÇÕES DO INVERSOR

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

ENTRADA

Voltagem máxima de entrada: 1000Vcc
Faixa de Voltagem do MPP: (210Vcc a 800Vcc)
Voltagem mínima de entrada: 80Vcc
Voltagem para inicialização: 80Vcc
Corrente máxima de entrada: 12A / 12A

SAIDA

Potência nominal de saída: 4000W
Voltagem de saída (faixa): 180Vca a 270Vca
Frequência de saída: 60Hz
Corrente máxima de saída: 17,4A

OUTRAS CARACTERÍSTICAS

Eficiência Máxima: 98%
Consumo interno (noite): <1W
Temperatura de Operação: -40°C a +55°C
Frequência de saída: 60Hz

Especificações Mecânicas:

Dimensões (L x A x P)mm: (645 x 431 x 204)
Peso: 21,5Kg
IP65

APLICAÇÕES

Sistemas de Energia Solar conectados a rede elétrica

FABRICANTE



Pontos Principais

País de origem: Austria
País de fabricação: Austria
Garantia do Fabricante: 5 anos

ANEXO C – CONTA DE ENERGIA



Companhia Energética do Maranhão

Alameda A. Od. SCS. nº100, Loteamento Guabandinha, Altos do Caiçá - São Luís - MA.
CEP: 65.071-080 | Ins. Estadual: 120.515.11-3 | CNPJ: 06.272.793/0001-84

VINICIUS MOTA ALMEIDA
R. 1700, 16 QD 18 LOTEAMENTO PQ AURORA
PQ AURORA 65010-000 SAO LUIS - MA
CPF: 051.999.163-00

Conta de Energia Elétrica|Nota Fiscal|Série B 000022562

Nº da Fatura 0201710000022562 |CFOP: 5258/AA

Instalação 39146860

Referente ao mês 10/2017	Vencimento 09/10/2017	Conta Contrato 39146860
------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------

Para atendimento, informe este número

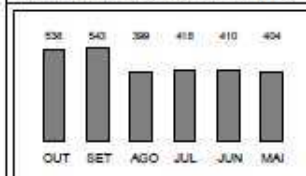
Dados da Instalação	
Classificação:	Residencial Pleno - MONOFÁSICO
Tipo de Tarifa:	CONVENÇIONAL MONÔMIA
Fator de Potência:	0,00
Tensão Nominal (V):	220 V
Perdas de transformações(%)	Nº Medidor: 10140648871

Datas		
Emissão	Apresentação	Previsão próxima leitura
02/10/2017	02/10/2017	01/11/2017

Informações do consumo do mês + Tarifa sem Tributos

Data Leitura Anterior	Data Leitura Atual	Constante	Qtd. Dias	
01/09/2017	02/10/2017	1,00	31	
Canal de Leitura	Leitura Anterior	Leitura Atual	Consumo	Tarifa sem Tributos
ATIVO TOTAL	8.383	8.931	538	0,84081

Histórico do Consumo (kWh)



Informações de tributos

Tributo	Base de calc.	Alíquota	Valor
ICMS	499,89	25,0000%	124,97
PIB	499,89	0,7500%	3,75
Cofins	499,89	3,5000%	17,50

Período Fiscal: 02/10/2017

Reservado ao Fisco

4B26.DB04.EE32.8EBA.1A53.816F.D88E.422F

Demonstrativo do Faturamento

Preço+Tarifa+Tributos

Descrição	Quantidade	Preço	Valor(R\$)
Consumo	538	0,841933	452,65
Adicional Band. Amarela			15,10
Adicional Band. Vermelha			1,83
Cip-Ilum Pub Pref Munic			19,00
Multa			8,00
Juros			1,33

Total a pagar: R\$ 500,08

Reaviso de vencimento