

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO SILVA FREIRE SANTOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE E IMPACTOS NA IMPLANTAÇÃO DE PAINÉIS
SOLARES NO LABORATÓRIO MULTIUSUÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO (LAMP):
ESTUDO DE CASO EM SÃO LUÍS - MA**

São Luís
2019

LEONARDO SILVA FREIRE SANTOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE E IMPACTOS NA IMPLANTAÇÃO DE PAINÉIS
SOLARES NO LABORATÓRIO MULTIUSUÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO (LAMP):
ESTUDO DE CASO EM SÃO LUÍS – MA**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia
Civil da Universidade Estadual do Maranhão para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Ms. Airton Egydio Petinelli

São Luís
2019

Santos, Leonardo Silva Freire.

Estudo da viabilidade de painéis solares no laboratório multiusuários de pós-graduação utilizando o sistema conectado à rede: estudo de caso / Leonardo Silva Freire Santos. – São Luís, 2019.

75 f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Me. Airton Egydio Petinelli.

1.Painéis. 2.Fotovoltaicos. 3.Sustentabilidade. I.Título

CDU: 620.92

**ESTUDO DE VIABILIDADE E IMPACTOS NA IMPLANTAÇÃO DE PAINÉIS
SOLARES NO LABORATÓRIO MULTIUSUÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO (LAMP):
ESTUDO DE CASO EM SÃO LUÍS – MA**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil
da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil

Aprovado em: 02 / 07 / 2019

BANCA EXAMINADORA:



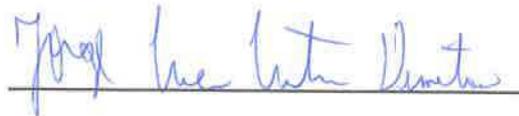
Prof. Ms. Airton Egydio Petinelli (Orientador)

Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Esp. José Tadeu Moura Serra

Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio

Universidade Estadual do Maranhão

Aos meus pais, por todo amor, carinho e puxões de orelha durante minha criação, e meus irmãos, por toda paciência e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Letácio e Concita, por todo amor e carinho, e todo incentivo e investimento e apoio, que me possibilitaram usufruir deste momento.

Aos meus irmãos, João Pedro e Isabela, pelo companheirismo e compreensão, que sempre estiveram ao meu lado.

Aos grandes amigos e amigas que fizeram parte desta árdua caminhada, compartilhando momentos e emoções, fazendo desta uma etapa prazerosa da minha vida.

Ao meu orientador por sempre sem manter à disposição para me assistir e aconselhar durante todo o período de monografia e iniciação científica.

“As dificuldades são o aço estrutural que entra na construção do caráter. ”

Carlos Drummond de Andrade.

RESUMO

Para tentar suprir a demanda da população e de suas atividades econômicas, busca-se desenvolver novas fontes para a retirada de energia. Essas fontes podem ser de natureza renovável, ou seja, possuem a capacidade de serem repostas naturalmente, sem gerar impactos ambientais sutuosos, como os combustíveis fósseis e a energia nuclear. A escolha da energia solar se deu por esta ser mais acessível e termos condições favoráveis em nossa localização geográfica para seu uso. Os estudos, o desenvolvimento e a evolução dos painéis solares visam permitir que se tenha uma maior suficiência energética, junto com um melhor custo benefício. Sendo assim, este projeto tem por objetivo sanar as dúvidas sobre o custo, vantagens e possíveis impactos negativos numa suposta implantação de painéis solares no prédio de Laboratórios Multiusuários da Pós-Graduação-LAMP, localizado no campus Paulo VI da UEMA, utilizando o sistema Conectado a rede, buscando assim amenizar seus gastos.

Palavras Chave: painéis; fotovoltaicos; sustentabilidade.

ABSTRACT

Seeking to supply the population's demand and its economic activities, it is sought to develop new sources for the energy withdrawal. These sources may be of a renewable nature, meaning they have the capacity to be replenished naturally, without generating sumptuous environmental impacts, such as fossil fuels and nuclear energy. The solar energy choice was given because it is more accessible and we have favorable conditions in our geographic location for its use. The studies, the development and the evolution of the solar panels aim to allow a greater energy sufficiency, together with a better cost benefit. Thus, this project aims to address doubts about the cost, advantages and possible negative impacts of a supposed deployment of solar panels in the building of LAMP (Laboratórios Multiusuários da Pós-Graduação), located on the campus Paulo VI of UEMA, using the system connected to the network, and therefore seeking to reduce their expenses.

Keywords: panels; photovoltaics; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Participação de emissões de gases por setor.	17
Figura 2: Geração de energia renovável no Brasil.....	20
Figura 3: Consumo de energia por fonte no mundo.	22
Figura 4: Emissão de CO2 relacionado a energia.....	23
Figura 5: Emissões por país em toneladas métricas de carbono.....	24
Figura 6: Usina hidrelétrica de Itaipu.	25
Figura 7: Desenho técnico de um sistema aerogerador.	28
Figura 8: Evolução do tamanho dos aerogeradores.....	29
Figura 9: Sistema eólico isolado.....	30
Figura 10: Potencial instalado de geração a partir da biomassa por estado.....	32
Figura 11: Média anual de insolação no Brasil.....	35
Figura 12: Sistema solar térmico de aquecimento de água.....	36
Figura 13: Funcionamento do sistema heliotérmico.....	37
Figura 14: Usina heliotérmica no deserto de Mojave.	38
Figura 15: Funcionamento de uma célula fotovoltaica.....	39
Figura 16: Sistema off-grid residencial.	40
Figura 17: Sistema grid-tie residencial.	41
Figura 18: Medidor bidirecional.....	42
Figura 19: Encapsulamento de célula fotovoltaica.....	43
Figura 20: Componentes de um painel fotovoltaico.....	43
Figura 21: Painel de silício monocristalino.	45
Figura 22: Painel solar de silício policristalino.	46
Figura 23: Painel de silício amorfo.....	47
Figura 24: Painéis de telureto de cádmio em uma usina solar.....	48
Figura 25: Painel solar CIS/CIGS.....	49
Figura 26: Células fotovoltaicas orgânicas.....	49
Figura 27: Painel solar híbrido.	50
Figura 28: Inversor solar.....	51
Figura 29: Funcionamento de um inversor central.....	52

Figura 30: Funcionamento de um inversor string.....	53
Figura 31: Funcionamento de um inversor multi string	53
Figura 32: Funcionamento de um módulo C.A.	54
Figura 33: Índice solarimétrico de São Luís.....	56
Figura 34: Painel solar CS6U-330P.....	57
Figura 35: Orçamento do sistema fotovoltaico.....	61
Figura 36: Área sugerida para instalação.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação da matriz elétrica no mundo e no Brasil.	17
Tabela 2: Capacidade instalada de geração hidrelétrica.	26
Tabela 3: Especificações do painel.	58
Tabela 4: Potências corrigidas do LAMP.	59
Tabela 5: Especificações do inversor.	61
Tabela 6: Premissas da viabilidade.	64
Tabela 7: Projeção do sistema ao longo do tempo de vida útil.	65
Tabela 8: Payback do investimento.	66

LISTA DE SÍMBOLOS

c.a.	Corrente Alternada
c.c.	Corrente Contínua
cm	Centímetro
GW	Gigawatt
h	Horas
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora
kWp	Quilowatt potência
m	Metro
m ²	Metro quadrado
MJ	Megajoule
MW	Megawatt
MWh	Megawatt hora
TWh	Terawatt hora
Und	Unidade
W	Watt

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Tema	18
1.1.1	Delimitação do tema	18
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
1.3	Justificativa	19
2	REFERENCIAL TEORICO	20
2.1	Consumo de energia no Brasil	20
2.2	Consumo de energia no mundo	21
2.3	Fontes de energia renovável	24
2.3.1	Energia Hidrelétrica	24
2.3.2	Energia Eólica.....	27
2.3.2.1	Sistema isolado	29
2.3.2.2	Sistema híbrido	30
2.3.2.3	Sistema conectado à rede	30
2.3.3	Biomassa	31
2.3.4	Energia solar	33
2.3.4.1	Energia solar térmica	36
2.3.4.2	Energia solar heliotérmica	37
2.3.4.3	Energia solar fotovoltaica	38
2.3.4.3.1	Sistema <i>off-grid</i>	39

2.3.4.3.2	Sistema <i>grid-tie</i>	41
2.3.4.4	Módulos solares.....	42
2.3.4.4.1	Silício monocristalino.....	44
2.3.4.4.2	Silício policristalino	45
2.3.4.4.3	Filmes finos	46
2.3.4.4.4	Painel solar híbrido – HJT.....	50
2.3.4.5	Inversor	50
2.3.4.5.1	Inversor central.....	52
2.3.4.5.2	Inversor <i>string</i>	52
2.3.4.5.3	Inversor multi <i>string</i>	53
2.3.4.5.4	Módulo C.A.	53
3	METODOLOGIA	55
4	ESTUDO DE CASO	59
4.1	Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos	60
4.2	Custo da conta de energia mensal da universidade	62
4.3	Tempo de retorno do investimento	63
4.4	Área necessária para a instalação	66
5	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

De derramamentos tóxicos e resíduos de mineração até a chuva ácida, desmatamento e extinção, o fato é que o meio ambiente vem sendo prejudicado pela exploração de maneira indevida e irresponsável do homem. Embora haja uma grande quantidade de problemas ambientais, é o aquecimento global o que atrai a atenção de muitos pesquisadores e cientistas para os efeitos da queima de combustíveis fósseis no clima global.

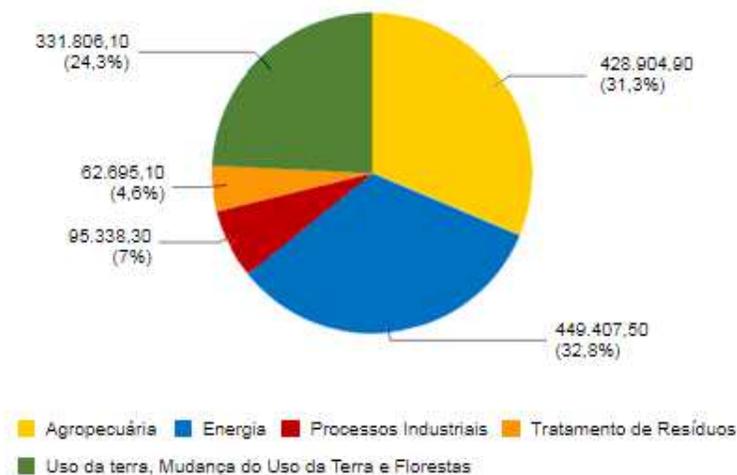
Tais combustíveis fósseis que são intitulados fontes não renováveis de energia, são materiais oriundos de um processo muito lento de decomposição da fauna e flora terrestre. Porém é um processo que dura milhões de anos, e por isso sua disponibilidade na natureza é tida como limitada. Estipula-se estes recursos que estão sendo utilizados nos dias de hoje foram formados há aproximadamente 65 milhões de anos (SANTIAGO, 201-).

A disponibilidade limitada na natureza não é o único fator crítico que envolve os combustíveis fósseis; como dito anteriormente, as fontes não renováveis estão diretamente ligadas ao efeito estufa, responsável pelo aquecimento global (PENA, 2018). Tal fato se dá pela liberação do gás CO₂ decorrente da queima do petróleo, diesel e carvão mineral.

Segundo o site EDUclima (2018) o fator energia representava 11% das emissões de CO₂ na atmosfera no ano de 2005, valor que passou para 33% no ano de 2015, como visto no gráfico da figura 1 abaixo.

Tendo em vista tais problemas relacionados a queima de combustíveis fósseis, assim como sua quantidade limitada na natureza, a busca por fontes de energias renováveis e limpas vêm crescendo cada vez mais, e com o passar dos anos elas se tornaram cada vez mais eficientes, acessíveis e impactando cada vez menos no meio ambiente.

Figura 1 - Participação de emissões de gases por setor.



Fonte: EDUclima (2018).

Segundo Schutte (2014), o Brasil possui uma matriz energética bastante diferenciada, se comparada com outros países, devido ao grande uso da energia derivada do etanol e das usinas hidrelétricas, o que gerou uma redução na emissão do gás carbônico, mesmo que essa não tenha sido a intenção, como mostra a tabela 1 abaixo, que compara a matriz para energia elétrica no mundo com a do Brasil.

Tabela 1 - Comparação da matriz elétrica no mundo e no Brasil.

	MUNDO	BRASIL
CARVÃO	41%	1,3%
GÁS NATURAL	22%	5,7%
HIDRELÉTRICA	16%	74,3%
NUCLEAR	13%	2,7%
PETRÓLEO	5%	2,7%
DERIVADOS DE CANA	0%	5,1%
OUTROS	3%	8,2%

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2010).

Enquanto o resto do mundo depende das fontes não renováveis para produzir sua energia, a maior parte da energia elétrica do Brasil – cerca de 75% - é oriunda das usinas hidrelétricas, muito por conta da grande disponibilidade hídrica do país (FERREIRA, 2006).

Porém, levando em consideração os impactos ambientais e sociais causados pela instalação destas usinas, tendo em vista que é necessário o alagamento de uma grande área para a construção de represas, e conseqüentemente há a perda da fauna e flora, além da realocação de eventuais famílias que vivem neste local, outras fontes de energia se tornam mais vantajosas, como é o caso da energia solar.

O principal fator pela subutilização da energia solar como produção de energia no início da década foi o preço executado pelas empresas, visto que não havia competitividade. No início do ano de 2013 a capacidade de geração de energia solar fotovoltaica era de apenas 1 MW. Valor que hoje já ultrapassa a casa dos 20 MW (SCHUTTE, 2014).

Segundo o PDE 2022, que é um documento informativo sobre a expansão futura do setor de energia, o Brasil possui um elevado potencial para conversão de energia solar em energia elétrica, visto que possui uma irradiação global anual que varia de 1200 a 2400 kWh/m²/ano. Valor muito superior a países como a Alemanha e Espanha, por exemplo (SCHUTTE, 2014).

1.1 Tema

Energia solar fotovoltaica

1.1.1 Delimitação do tema

Estudo de viabilidade e de impactos na implantação de painéis solares no laboratório multiusuários de pós-graduação utilizando o sistema conectado à rede.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade de placas solares em prédios específicos da Universidade, em relação a sua demanda e localização favorável.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Estudar a radiação solar e efeito fotovoltaico

2. Tomar conhecimento dos tipos e da aplicação das Placas Solares na geração de energia Fotovoltaica.
3. Buscar alternativas para reduzir os custos de energia elétrica no LAMP (Laboratório de Multiusuários da Pós-Graduação)
4. Verificar o custo e benefício e determinar o tempo de retorno do investimento para o sistema Conectado à rede.

1.3 Justificativa

Este projeto tem por objetivo sanar as dúvidas sobre o custo, os benefícios e os malefícios numa suposta implantação de painéis solares em partes específicas do prédio de Laboratórios Multiusuários da Pós-Graduação- LAMP (em construção), da Universidade Estadual do Maranhão, utilizando o sistema Conectado à rede, buscando assim amenizar seus gastos.

Portanto, além de atentar a comunidade acadêmica quanto os impactos de alguns métodos de geração de energia, e os benefícios da energia solar fotovoltaica, tal projeto ainda pode servir como base para uma implantação real deste material, não só nos prédios em questão, mas como os demais prédios da Universidade Estadual do Maranhão.

2 REFERENCIAL TEORICO

2.1 Consumo de energia no Brasil

Como citando anteriormente, segundo Ferreira (2006), as fontes de origem fóssil são responsáveis por apenas 10% da energia produzida nacionalmente, enquanto as fontes renováveis somam 86% desta produção. Valor que chega somente a 18% globalmente.

Segundo a ANEEL, em 2017 as fontes renováveis foram responsáveis por 80,6% da energia produzida no Brasil, ou seja: cerca de 119,4 GW de potência instalada e fiscalizada. Já as não renováveis somaram 19,4%, 28,8 GW de potência instalada e fiscalizada, como visto no gráfico da figura 2 abaixo.

Analisando o gráfico, vemos, porém, que mais da metade da energia renovável produzida é oriunda do sistema hídrico; pouco mais de 61%, enquanto a biomassa representa aproximadamente 7%, a eólica cerca de 6,7% e a solar apenas 0,09% de toda a energia elétrica produzida no país no ano de 2017.

Dentre as não renováveis, a energia térmica é responsável por 27% da capacidade instalada, enquanto a nuclear está presente em algo em torno de 1% nesta produção.

Figura 2 - Geração de energia renovável no Brasil.



Fonte: ANEEL (2017).

Nota-se que no sistema brasileiro há uma predileção pelo sistema hidrelétrico e térmico de geração de energia. Os dois somados apresentam uma capacidade instalada de aproximadamente 12 GW (ANEEL, 2017).

Estes dois sistemas se diferenciam dos outros por terem a capacidade de estocar a energia produzida, que será distribuída de acordo com a demanda, enquanto a energia solar e eólica, por exemplo, chamadas de fontes intermitentes de energia (*Variable Renewable Energy – VREs*), têm sua disponibilidade variando de acordo com as condições meteorológicas (GONÇALVES et al. 2018).

No entanto, por mais que a matriz elétrica brasileira seja representada em sua grande maioria por fontes renováveis, há uma grande dificuldade na implantação de novos projetos hidrelétricos, principalmente os de grande porte, e além disso os investimentos feitos em fontes como a solar e eólica, faz com que o país opte por combustíveis fósseis para que a produção de energia atenda à demanda (GONÇALVES et al. 2018).

Segundo a ANEEL (2017), houve um aumento da potência oriunda de usinas térmicas em construção ou que já foram outorgadas, porém nota-se um aumento considerável nas usinas eólicas e solares, se comparado a potência instalada atualmente.

2.2 Consumo de energia no mundo

Diferente do que ocorre no Brasil, onde a energia renovável corresponde à 86% da matriz elétrica, no resto do mundo esse valor chega a apenas 18%. Já os combustíveis fósseis representam 68% da energia produzida nos demais países (Ministério de Minas e Energia, 2010).

Segundo um estudo do World Energy Outlook (IEA, 2012), as usinas termelétricas são responsáveis por cerca de dois terços da geração mundial de energia, utilizando predominantemente o carvão. A preferência por este tipo de combustível fóssil se dá pela grande disponibilidade do mesmo nos principais países consumidores: China e Estados Unidos.

No entanto, visto que a utilização dos combustíveis fósseis como o petróleo e o próprio carvão mineral estão relacionadas a poluição e problemas ambientais como o aquecimento global e a chuva ácida, além de estarem dispostos de maneira limitada na natureza, visto que são

consumidos mais rápido do que são repostos, a busca por fontes de energias renováveis vem aumentando (Monteiro, 2005), como mostra o gráfico da figura 3 abaixo, que compara o consumo por fonte em 1970 e em 2010.

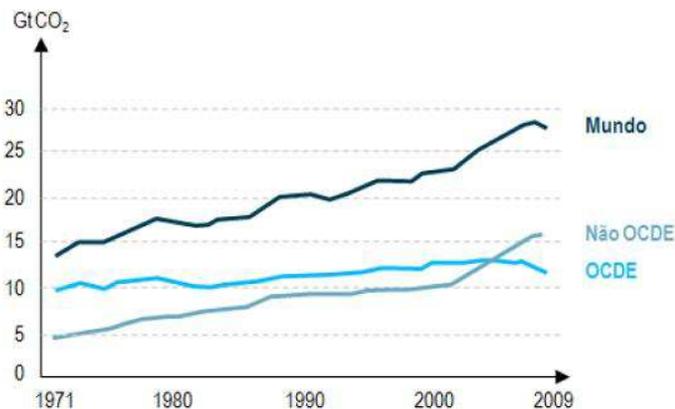
Analisando os dados presentes no gráfico vemos que o uso de fontes renováveis tem aumentado, o que não significa que a utilização das fontes não renováveis tenha diminuído, visto que a produção total vem aumentando para poder suprir a demanda energética mundial.

Figura 3 - Consumo de energia por fonte no mundo.

FONTE	1973	2010
Derivados de Petróleo	48,1%	41,2%
Eletricidade	9,4%	17,7%
Gás Natural	14,0%	15,2%
Carvão	13,7%	9,8%
Biomassa	13,2%	12,7%
Outras**	1,6%	3,4%
Total (em Mtep*)	4.674,0	8.677,0

Fonte: Agência Internacional de Energia (2011).

O aumento no volume de energia produzida é impulsionado pelo crescimento nas economias emergentes, como por exemplo a China, o que acarreta no aumento da emissão dos gases responsáveis pelo efeito estufa. No gráfico da figura 4 abaixo podemos ver que enquanto há uma diminuição na emissão do CO₂ nos países pertencentes à OCDE, os países não pertencentes têm aumentado sua emissão (IEA, 2012).

Figura 4 - Emissão de CO₂ relacionado a energia.

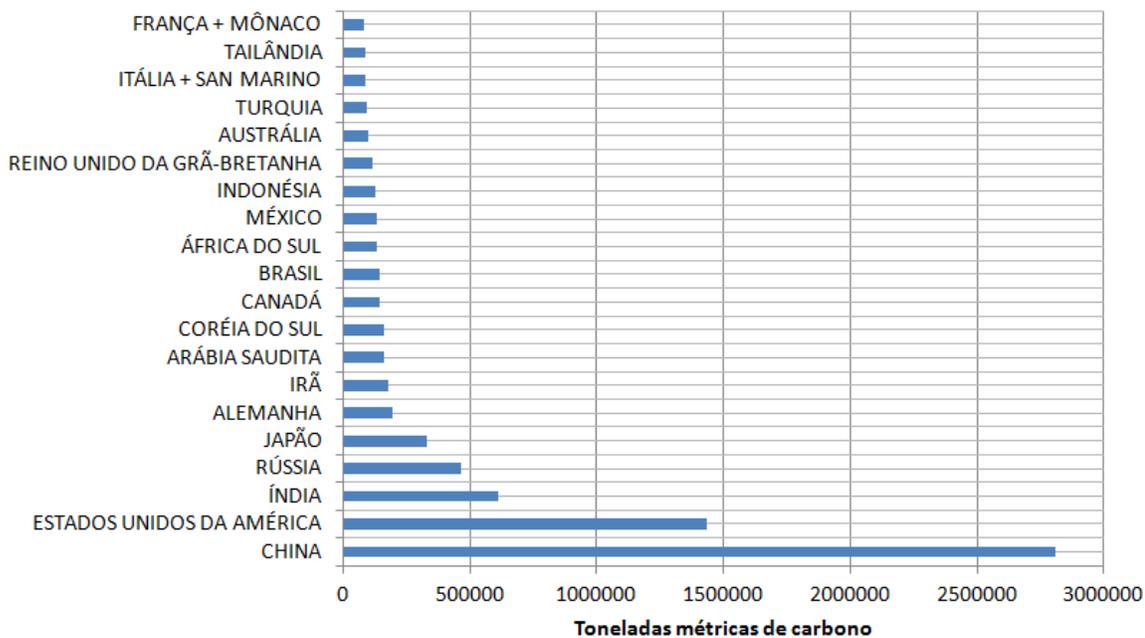
Fonte: IEA (2012).

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), e possui projetos que abrangem não só aspectos econômicos, mas também sociais, ambientais (PENA, 2018). A grande maioria dos países pertencente ao grupo são países com a economia estável e estabelecida, que buscam outras matrizes energéticas fora as que utilizam combustíveis fósseis, o que explica a diminuição da emissão do CO₂ observada no gráfico acima.

Porém tais países foram os principais responsáveis pelas emissões de gases na atmosfera no passado, principalmente durante a Revolução Industrial, passos que são seguidos pelos países hoje em desenvolvimento, que além da China, tem-se a Índia como exemplo, que assim como os EUA, não assinaram o tratado de Kyoto. Por isso há uma necessidade de um novo acordo climático que inclua os países em desenvolvimento e consiga impor uma política de redução na emissão de gases poluentes assim como ocorre com os países desenvolvidos (IEA, 2012).

Ilustrando o que foi dito anteriormente, a figura 5 abaixo mostra em toneladas métricas de carbono os países que mais emitem gases. Lista que é liderada justamente por China, EUA e Índia, que como citado acima, não assinaram o tratado de Kyoto.

Figura 5 - Emissões por país em toneladas métricas de carbono.



Fonte: CDIAC (2014).

2.3 Fontes de energia renovável

2.3.1 Energia Hidrelétrica

Segundo Müller (1995), as primeiras tentativas de utilização de fontes hidráulicas para a geração de energia ocorreram em São Paulo e Minas Gerais, no fim do século XIX, e já na primeira década do século XX superou a produção das usinas termelétricas. Além de um sistema hídrico favorável e abundante, tanto a geração de energia quanto a transmissão tiveram investimentos e incentivos estrangeiros, por meio de recursos financeiros e também recursos tecnológicos (BRANCO, 1975).

Após a criação do Novo Estado e a instauração da nova constituição (1937), ocorreu a proibição da execução de novos projetos hidrelétricos onde houvesse a participação de empresas estrangeiras, aumentando a participação dos governos estaduais e do governo federal nas empresas geradoras de energia (MENDES, 2005).

Segundo Mendes (2005) a criação do ministério de minas e energia e da ELETROBRÁS junto com a reformulação dos órgãos federais responsáveis pelo setor elétrico

ocorrida nos anos 60, unidos aos estudos hidro energéticos desenvolvidos a partir de 1962, contribuíram para que o setor elétrico fosse consolidado.

Segundo a ANEEL (2019), as hidrelétricas representam 60,16% da energia produzida no Brasil. São 217 hidrelétricas em funcionamento com 98.581.478 kW de potência fiscalizada, sendo a hidrelétrica de Itaipu, pertencente à Itaipu Binacional a que possui maior geração de energia: 7.000.000 kW produzidos somente pela parte brasileira, que é destinada ao setor público.

Além de Itaipu, mostrada na figura 6 abaixo, que é a segunda maior usina hidrelétrica do mundo, ficando atrás somente da Usina de Três Gargantas na China, o Brasil possui as 3º e 5º maiores hidrelétricas do mundo, postos que são ocupados pela usina de Belo Monte e usina de Tucuruí, respectivamente (PENA, 2018).

Figura 6 - Usina hidrelétrica de Itaipu.



Fonte iaipu.gov.

Além das 217 usinas já existentes no Brasil, há mais 4 em construção, com potência outorgada de aproximadamente 610.000 kW e 7 usinas cujas construções ainda não foram iniciadas, somando um total aproximadamente mais 695.000 kW de potência outorgada (ANEEL, 2019). No quesito capacidade instalada de geração hidrelétrica, o Brasil só perde pra China, como mostra tabela 2 a seguir.

Cerca de 70% da energia elétrica consumida no Brasil é oriunda de usinas hidrelétricas, e é estimado que durante os próximos anos, mesmo com incentivos e todo o cuidado voltado para

os problemas socioambientais, pelo menos 50% da energia consumida ainda será proveniente de fontes hídricas (MORAIS, 2015).

A geração de energia por meio das usinas hidrelétricas em si não está atrelada a nenhum problema ambiental, como é o caso dos combustíveis fósseis, porém a instalação de uma usina hidrelétrica é responsável por grandes impactos ambientais, sociais e econômicos devido a imensa capacidade de água que é represada.

Tabela 2 - Capacidade instalada de geração hidrelétrica.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Δ Média (%)
China	128,6	145,3	171,5	196,8	219,0	250,2	285,9	326,8	14,27
Brasil	73,4	76,9	77,5	78,6	80,7	82,7	87,3	92,1	2,55
EUA	77,8	77,9	77,9	78,5	78,8	79,0	79,3	79,6	0,32
Canadá	72,7	73,3	74,2	74,5	74,9	75,4	76,0	76,5	0,74
Rússia	46,1	46,8	46,8	46,9	46,9	47,1	47,3	37,5	0,43
Índia	36,6	38,1	39,3	39,6	40,6	41,7	42,8	43,9	2,65
Noruega	27,4	27,6	28,1	28,2	27,7	27,8	27,8	27,9	0,27
Japão	22,2	21,8	21,9	21,8	22,4	22,4	22,5	22,5	0,22
França	18,0	18,0	18,1	18,2	18,2	18,2	18,3	18,3	0,27
Suécia	16,2	16,6	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8	16,9	0,59

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica (2013).

Segundo Vainer (1993, p. 184),

“ A literatura tem abordado sob os mais diversos pontos de vista os chamados impactos sociais e/ou ambientais dos grandes empreendimentos hidrelétricos. Quase sempre realizados em regiões periféricas, eles têm imposto às populações das áreas onde se implantam rápidas e profundas alterações nos meios e modos de vida: deslocamento compulsório de milhares ou dezenas de milhares de pessoas, desestruturas, rupturas das teias de relações sociais, afluxo de populações que pressionam na qualidade da água, no curso e regime dos rios com graves conseqüências tanto para as condições sanitárias quanto para as atividades econômicas (pesca, agricultura de vazante) etc. Ao invés de funcionarem como focos difusores da modernidade e do progresso, como prometem coloridos prospectos e vídeos propagandísticos, o reordenamento territorial resultante da construção destes grandes aproveitamentos hidrelétricos tem sido acompanhado pela multiplicação de carências de toda ordem.”

Usualmente áreas férteis são inundadas, afetando a fauna e flora, além de forçar a saída de famílias que usavam ou moravam na terra, trazendo impactos irreversíveis, tanto no âmbito social quanto ambiental. Tais famílias são indenizadas apenas pelo valor material da sua perda, sem ser considerado o tempo e trabalho que fora investido na terra, valores afetivos, condições históricas, sociais e etc. (MENDES, 2005).

2.3.2 Energia Eólica

Segundo a ANEEL (2009), assim como a energia hidrelétrica, as primeiras tentativas de geração de energia por meio do vento se deram no final do século XIX, porém sendo alavancadas pela necessidade de novas fontes de energia durante a crise internacional do petróleo de 1970.

Assim como a energia solar, as usinas eólicas requerem boas condições meteorológicas para que haja um funcionamento efetivo. No caso da energia eólica, esta deve possuir uma densidade mínima de 500 W/m² a uma altura de 50 metros, o que resulta em uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s (GRUBB; MEYER, 1993).

Segundo a OMM, em apenas 13% da superfície terrestre o vento possui velocidade suficiente para produzir energia, ou seja, 7 m/s, numa altura de 50 metros, e ainda assim, estima-se que nesses 13% haja um potencial bruto de produção de energia eólica de 500.000 TWh. Caso seja levado em consideração áreas povoadas, industrializadas ou com outras restrições ambientais, esse potencial é reduzido em aproximadamente 90%, somando um total 53.000 TWh, ou seja, ¼ da demanda energética mundial (ANEEL, 2009).

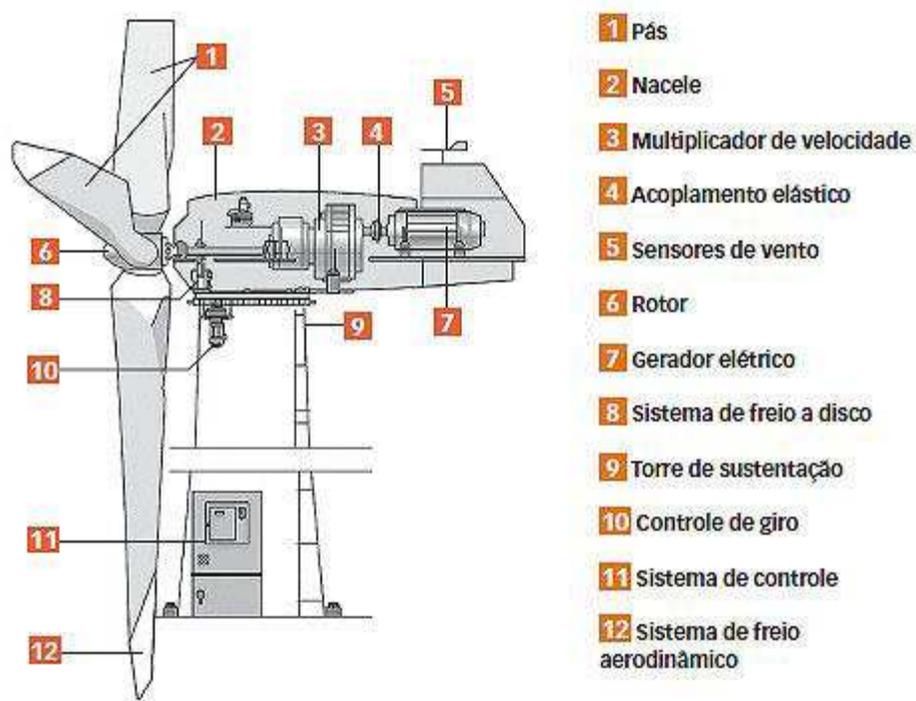
Já segundo a GWEC (2008), a energia eólica pode ser aproveitada com ventos variando entre 4 e 25 m/s, não podendo ultrapassar esse valor por motivo de segurança. Outro fato relacionado à energia eólica é que a capacidade de produção está em função do cubo da velocidade, ou seja, caso a velocidade do vento dobre, o potencial de geração de energia será oito vezes maior (GRUBB; MEYER, 1993).

A geração de energia por meio dos aerogeradores acontece da seguinte forma: as hélices são movimentadas pela força dos ventos, o que gera energia cinética, que é transferida para as pás do rotor, fazendo com que haja rotação no eixo acoplado às pás, e a energia rotacional do

eixo é transformada em energia elétrica pelo gerador, e um gerador é responsável por distribuir a energia produzida (DUTRA, 2008).

Na figura 7 a seguir temos um desenho mostrando as partes do aerogerador.

Figura 7 - Desenho técnico de um sistema aerogerador.

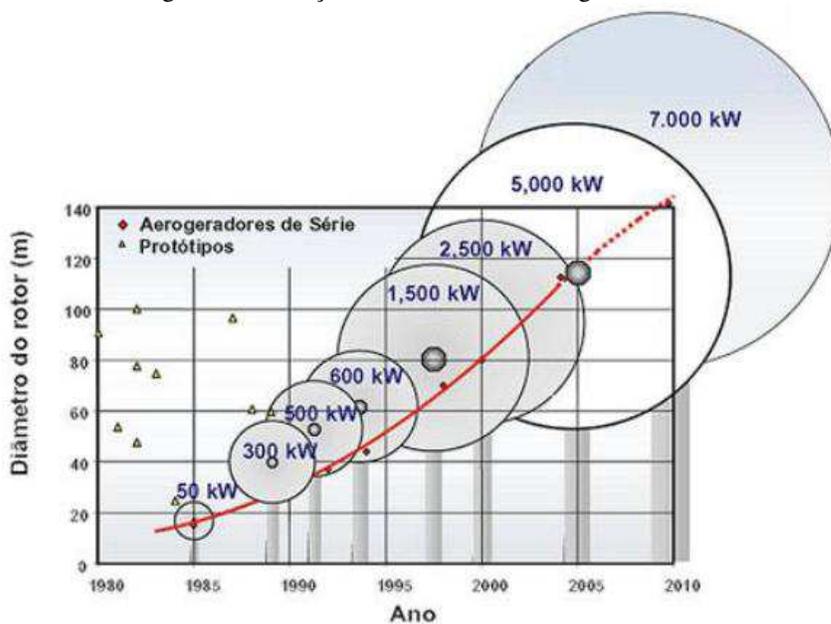


Fonte: www.infraestruturaurbana17.pini.com.br (Acesso em 22 abril 2019).

Já na figura 8 abaixo, podemos observar a evolução dos aerogeradores desde a década de 80 até os dias atuais. Os primeiros aerogeradores tinham potência de 300 kW, enquanto hoje alguns ultrapassam os 6000 kW. Além disso as pás do rotor chegam a 120 metros de diâmetros, embora as turbinas mais eficazes e atuais possuem pás de “apenas” 80 metros.

As turbinas são classificadas de acordo com sua potência. Turbinas com menos de 500 kW de potência são categorizadas como pequenas, já as médias possuem potência nominal entre 500 e 1000 kW, por último temos as grandes, que são aquelas que possuem mais de 1000 kW de potência (ANEEL, 2005).

Figura 8 - Evolução do tamanho dos aerogeradores.

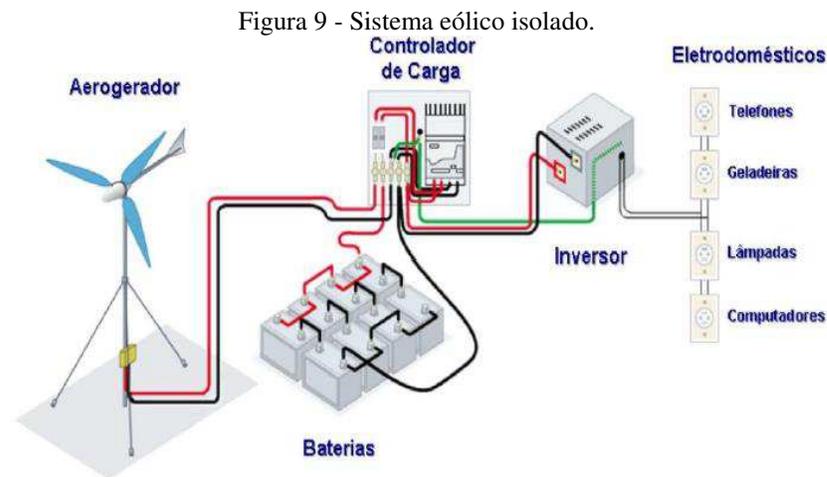


Fonte: Dutra (2008).

2.3.2.1 Sistema isolado

Quanto aos tipos de aplicação da energia eólica, temos o sistema isolado, recomendado para lugares que não são atendidos pela rede de transmissão, é necessário que haja uma bateria externa para armazenar a energia, além de um controlador de carga para evitar danos na bateria e um inversor, que transforma a corrente oriunda da geração em corrente alternada (CA), ou seja, numa corrente compatível com a maioria dos aparelhos ligados à eletricidade.

Na figura 9 abaixo temos um esquema simplificado mostrando a configuração de um sistema isolado.



Fonte: Dutra (2008).

2.3.2.2 Sistema híbrido

O sistema híbrido é recomendado para gerações de médio a grande porte, acarretando em um número maior de beneficiários. Ele difere do sistema isolado pela quantidade e tipos de geração de energia, visto que este combina o sistema de geração eólico com a geração à diesel, painéis fotovoltaicos ou qualquer outra fonte.

Assim como o sistema isolado, no híbrido também é necessário que seja utilizado um inversor. Por ser um sistema muito complexo, permitindo que hajam várias combinações de gerações, é ideal que haja uma análise para cada caso específico, a fim de otimizar a geração de energia (DUTRA, 2008).

2.3.2.3 Sistema conectado à rede

Por último temos o sistema conectado à rede, que segundo a CNI (2009), requerem a implantação de parques eólicos, onde podem ser instalados de 10 a 100 aerogeradores, com uma potência unitária variando de 300 a 750 kW. É recomendado que os aerogeradores estejam distanciados por no mínimo 200 m, o que garante que não haja interferência deles no escoamento do vento.

Diferente do sistema isolado, toda a energia produzida no sistema conectado à rede é entregue à rede elétrica, ou seja, não há a necessidade de armazenamento de energia.

Esse sistema pode também ser instalado fora do continente, ou seja, no mar. Tais instalações são chamadas de *offshore*, e a pesar de se tornarem mais caras do que as instalações em terra (*onshore*), visto que necessitam de estruturas de suporte mais onerosas, sistemas de transmissão submersos e uma construção e manutenção mais complexa, a velocidade do vento pode ser até 20% maior do que na terra, acarretando um aumento de até 70% na energia resultante, se comparado com os parques terrestres (ABB, 2012).

Segundo Morelli (2012) as instalações *offshore* vem crescendo mesmo possuindo maiores custos e uma dificuldade elevada de instalação, visto que há uma escassez de grandes áreas com elevado potencial eólico disponíveis para tais instalações, além da dificuldade de realizar desapropriações de terras quando necessário.

2.3.3 Biomassa

Segundo a ANEEL (2009) qualquer recurso renovável oriundo de matéria orgânica, seja este vegetal ou animal, capaz de produzir energia elétrica, pode ser considerado biomassa, analisando do ponto de vista energético.

Já para Dias (201-) é a energia produzida a partir da fotossíntese na forma de hidratos de carbono, que chega aos demais seres vivos através da cadeia alimentar, tornando animais, plantas e derivados biomassa, considerada fonte renovável que pode ser utilizada na produção de combustível.

Mesmo que aproximadamente apenas 30% da superfície terrestre seja coberta por florestas, estima-se que a quantidade de biomassa existente no planeta é algo em torno de dois trilhões de toneladas, correspondendo a cerca de 3.000 EJ por ano, totalizando 8 vezes o consumo mundial de energia primária (RAMAGE; SCURLOCK, 1996).

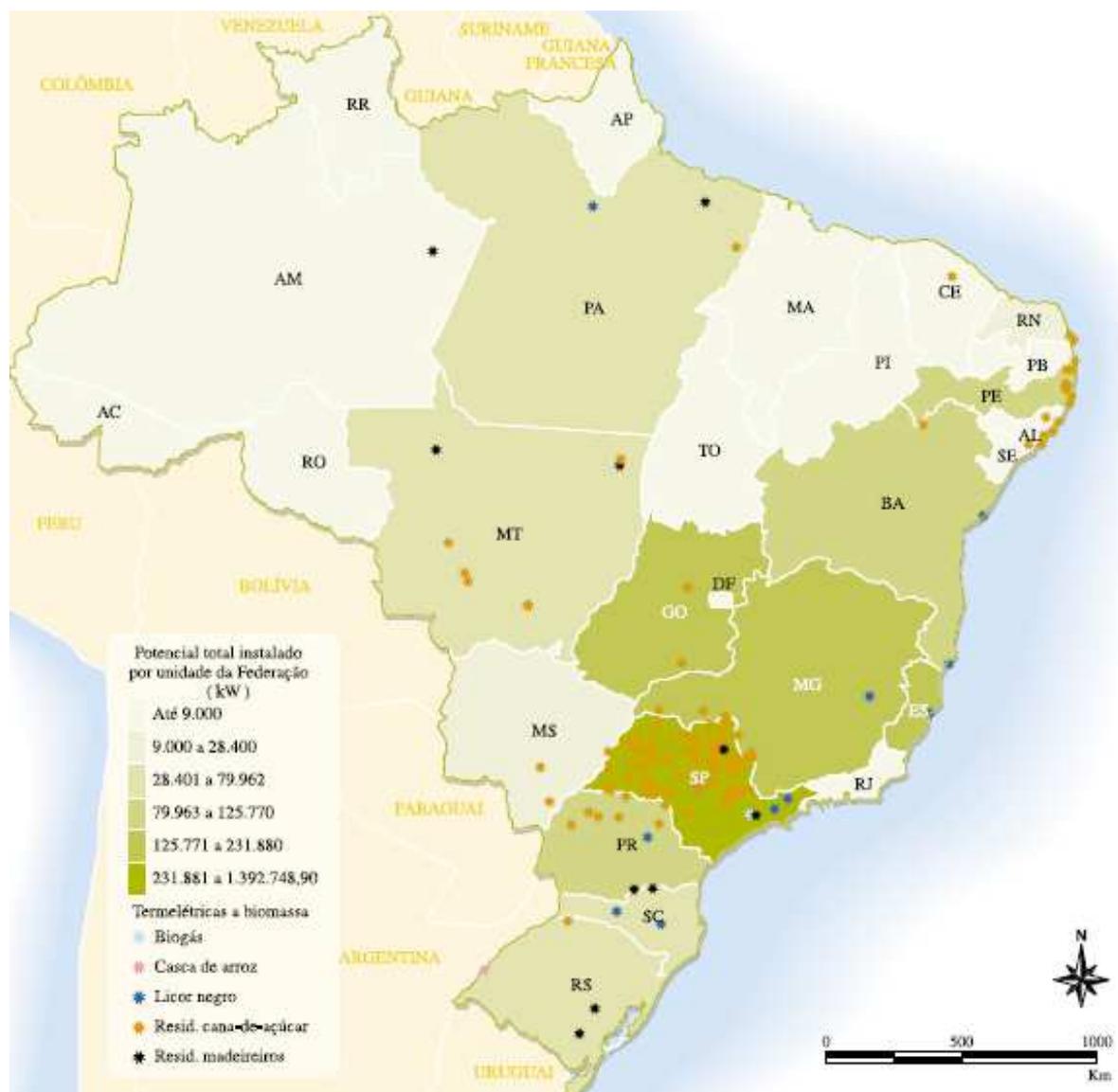
As fontes de biomassa são divididas em três: vegetais não lenhosos, vegetais lenhosos e resíduos orgânicos. Cada uma delas passa por um processo de conversão em energia.

Segundo registros, em 2003, haviam 217 termoelétricas que utilizavam biomassa como fonte de energia em operação no Brasil, além de 27 empreendimentos outorgados e mais 2 em

construção, somando aproximadamente 2.700 MW de potência instalada e mais 180 a ser somado (ANEEL, 2009).

Das termelétricas em operação, a grande maioria utiliza resíduos de cana-de-açúcar, oriundos do setor sucroalcooleiro, dominado pelo estado de São Paulo, o que explica a maior quantidade dessas usinas neste estado, como mostra a figura 10 abaixo.

Figura 10 - Potencial instalado de geração a partir da biomassa por estado.



Fonte: ANEEL (2009).

Segundo a ANEEL, o que impede que a biomassa na produção de energia elétrica seja mais utilizada é o fato de que as plantas utilizadas possuem uma baixa eficiência termodinâmica, ou seja, de produzir calor. Além disso, os custos de produção e transportes ainda são muito elevados, visto que há uma necessidade de um melhor gerenciamento do solo, sem contar o fator sazonal (CORTEZ; BAJAY; BRAUNBECK, 1999).

Ainda assim, estima-se que 14% da energia primária mundial seja representada pela biomassa, aumentando no caso dos países em desenvolvimento, e chegando a 60% na África (ANEEL, 2009).

2.3.4 Energia solar

Como o próprio nome já diz, a energia solar é a que utiliza a energia proveniente do calor e da luz do sol como fonte, simplificando, é a energia derivada do sol na forma de radiação solar. Ela é uma fonte limpa, e por utilizar o sol como fonte de energia, é um dos meios de produção de energia mais promissores do mundo (SOUSA, 201-).

Por conta da reflexão e da absorção dos raios solares pela atmosfera, apenas uma pequena parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, e ainda assim estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seria de 10 mil vezes o consumo energético mundial (CRESESB, 201-).

Vale ressaltar a maioria das fontes de energia utilizadas dependem do sol, direta ou indiretamente, visto que este está presente no ciclo das águas, o que permite o represamento nas hidrelétricas, na formação dos ventos responsáveis pela movimentação das pás nas usinas eólicas, o sol está também presente na fotossíntese, fornecendo energia para as plantas e animais, que depois são utilizados como fonte de energia de biomassa e que são transformados no petróleo e carvão, após sua decomposição (CRESESB, 2014).

Com a baixa competitividade e preço alto, até 2014 a energia solar estava em subutilização, o que mudou após o investimento em pesquisa e desenvolvimento, assim como estímulos dados para sua utilização, o que fez com que sua capacidade instalada fosse de 1 MW

para 20 MW em pouco mais de um ano (SCHUTTE, 2014), chegando a uma capacidade instalada de 1 GW em 2018, segundo a Associação Brasileira de Energia Fotovoltaica.

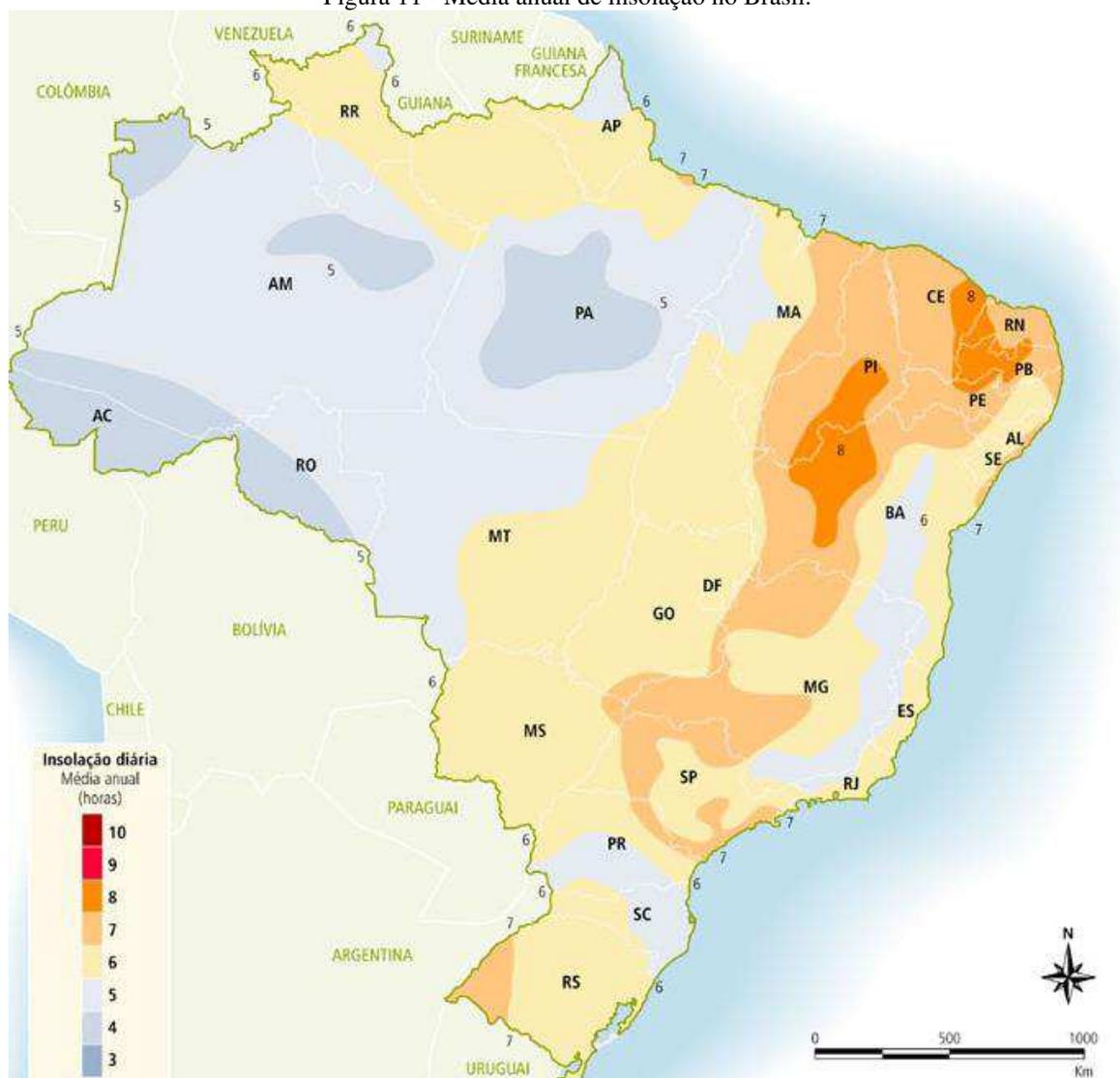
A produção de energia elétrica pode ocorrer a partir de dois sistemas: o sistema heliotérmico, onde a irradiação é primeiramente transformada em energia térmica e posteriormente em energia elétrica; e o sistema fotovoltaico, onde a irradiação é convertida diretamente em energia elétrica. Por último, há o sistema térmico, que é utilizado para o aquecimento de fluidos.

O bom aproveitamento do sol na produção de energia depende de fatores como nebulosidade, umidade atmosférica, horas de sol pleno, disponibilidade de radiação solar, dentre outros. Fatores que variam principalmente com a época do ano, hora do dia e a latitude do local. Como o Brasil é um país localizado relativamente próximo à linha do Equador, tais variações na duração de horas de sol pleno por dia, além da boa insolação diária média por dia, como mostra a figura 11 abaixo. Tais fatores tornam o Brasil um país favorável para a utilização solar na produção de energia elétrica (ANEEL, 2009).

Apesar de possuir condições favoráveis para a utilização do sistema solar na produção de energia, a falta de investimentos e incentivos faz com que o Brasil figure somente entre os 30 maiores geradores de energia solar, e segundo estimativas, estará entre os 5 até 2030, que atualmente é composto por Alemanha, China, Itália, Estados Unidos e Japão (ATPsolar, 2018).

No caso da Alemanha, esta teve o mecanismo de incentivo a fontes renováveis mais bem-sucedido, onde a concessionária é obrigada a comprar a energia produzida pelas fontes renováveis, o que tornou o investimento em tais fontes um negócio atrativo, aumentando significativamente o uso de fontes renováveis por meio de uma política pública (SALOMANI, RÜTHER, 2007).

Figura 11 - Média anual de insolação no Brasil.



Fonte: ANEEL (2009).

Para ilustrar o potencial da energia solar no Brasil, Rütther (2004) compara a energia produzida por Itaipu com a que seria produzida utilizando painéis solares nos modelos comerciais em uma área do tamanho do lago de Itaipu. Segundo ele, a energia produzida desta instalação hipotética seria o bastante para suprir metade da energia elétrica consumida no Brasil, ou seja, o dobro do que é produzido na usina de Itaipu.

2.3.4.1 Energia solar térmica

Também conhecido por aquecedor solar, o sistema solar térmico é utilizado principalmente no aquecimento de água a temperaturas abaixo de 100° C. Sua aplicação ocorre predominantemente em residências, porém também é utilizado no setor industrial, em restaurantes, hotéis, hospitais, dentre outros (ANEEL, 2009).

Segundo a Vaillant, empresa que trabalha com o aquecimento solar, nesse sistema, os coletores são responsáveis pela absorção da radiação solar, que faz com que um fluido especial, portador de calor, se aqueça. O fluido é então transferido por meio de uma bomba para o acumulador solar, que é onde fica armazenada a água a ser aquecida pela transmissão da energia térmica do fluido para a água. Na figura 12 abaixo temos um exemplo do sistema solar térmico em uma residência.

Figura 12 - Sistema solar térmico de aquecimento de água.



Fonte: Casa eficiente (2018).

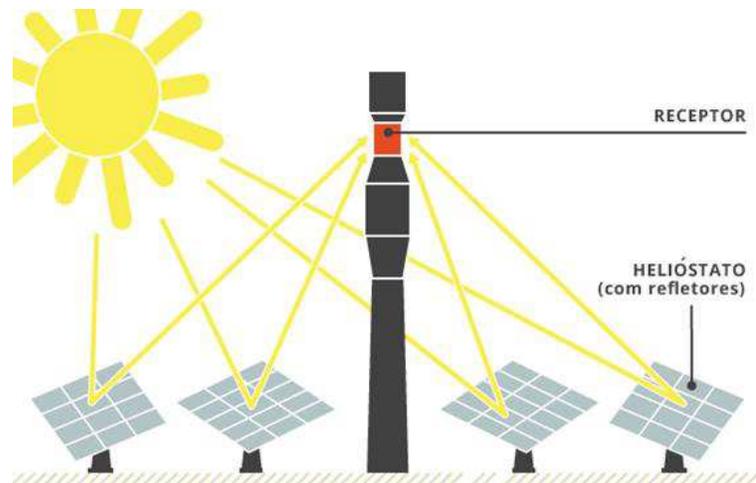
Assim como os métodos fotovoltaicos de geração de energia, o aquecedor solar também sofre influência das condições meteorológicas, logo, para que o sistema de aquecimento continue funcionando mesmo em dias nublados, alguns dos aquecedores possuem resistências para

realizar o aquecimento. Em outros casos, há a instalação de um sistema de aquecimento convencional paralelamente ao aquecedor solar.

2.3.4.2 Energia solar heliotérmica

A energia solar heliotérmica, assim como a energia solar térmica, utiliza o calor do sol para a produção de energia elétrica, porém é necessário a utilização de concentradores solares, que capta a energia solar incidente em uma área grande, e a concentra em uma área muito menor, aumentando consideravelmente sua temperatura, como esquematiza a figura 13 abaixo. Os concentradores possuem espelhos de forma parabólica ou esférica em sua superfície para que ocorra a reflexão para o foco, que é o ponto que deve ser aquecido para que haja a transformação de calor em energia elétrica (ANEEL, 2009).

Figura 13 - Funcionamento do sistema heliotérmico.



Fonte: portal Solar (2018).

A conversão de calor em energia elétrica se dá pelo aquecimento de um fluido que após aquecido, é transportado para a central geradora, onde ocorrerá a formação de vapor devido ao aquecimento da água. O vapor então acionará turbinas que estão ligadas a um gerador elétrico, responsável pela produção de energia elétrica (VILLALVA, 2016).

Segundo a ANEEL, o sistema heliotérmico possui um índice de aproveitamento de energia solar entre 14 e 22%, porém a necessidade de focalizar a luz solar faz com que o sistema tenha custos elevados, acarretando numa preferência a outros tipos de produção de energia. No Brasil, até 2017, não havia nenhuma usina heliotérmica instalada, enquanto na Califórnia, no fim dos anos 80, havia um total de 350 MW de potência instalada. (ANEEL, 2009). A figura 14 a seguir mostra uma usina heliotérmica instalada no deserto de Mojave, na Califórnia.

Figura 14 - Usina heliotérmica no deserto de Mojave.



Fonte: Pague Verde (2017).

2.3.4.3 Energia solar fotovoltaica

A produção de energia por meio da conversão da radiação solar (luz e calor) pode ser realizada pelo efeito termoelétrico e pelo efeito fotovoltaico. O primeiro é caracterizado por uma diferença de potencial oriunda da junção de dois metais quando essa ocorre numa temperatura mais elevada que as outras extremidades dos fios. Por possuir baixos rendimentos e materiais de custos elevados, seu uso comercial se torna inviável (ANEEL, 2009).

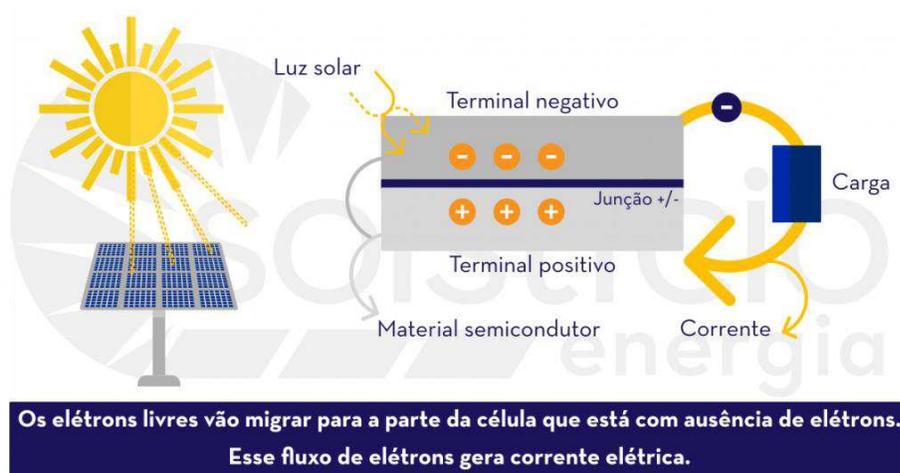
Já o efeito fotovoltaico dá-se pela excitação de elétrons de certos materiais após a incidência de luz solar, que ocorre nos painéis fotovoltaicos, mais especificamente nas células fotovoltaicas. Tais células são células feitas de materiais semicondutores, geralmente o silício, que é combinado com o boro para a obtenção de cargas negativas, e o fósforo para obtenção de cargas

positivas, e quando houver incidência de luz solar, ocorrerá o efeito fotovoltaico, o processo responsável pela geração de energia.

Como as células fotovoltaicas possuem uma camada negativa e outra positiva, quando os fótons se chocam contra a parte negativa da célula, os elétrons se soltam de sua ligação deixando um vazio, assim, devido ao campo eletromagnético da junta da célula, o elétron é atraído para o lado negativo e o vazio para o lado positivo. Os elétrons em movimento são coletados por um fino material metálico, e esse movimento dos elétrons é transformado em eletricidade. Este processo é ilustrado na figura 15 a seguir.

Estima-se que cada célula seja capaz de produzir 0,5 volt, por isso, os painéis fotovoltaicos possuem várias células que são combinadas em módulos.

Figura 15 - Funcionamento de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Solstício energia, 2018

2.3.4.3.1 Sistema *off-grid*

O sistema *off-grid*, também conhecido como sistema fotovoltaico isolado, é assim denominado por não estar conectado à rede pública de energia, logo toda energia produzida excedente deve ser armazenada em baterias conectadas ao sistema para que esta seja utilizada quando não estiver ocorrendo a geração de energia, como por exemplo no período da noite (MOTA, 2016).

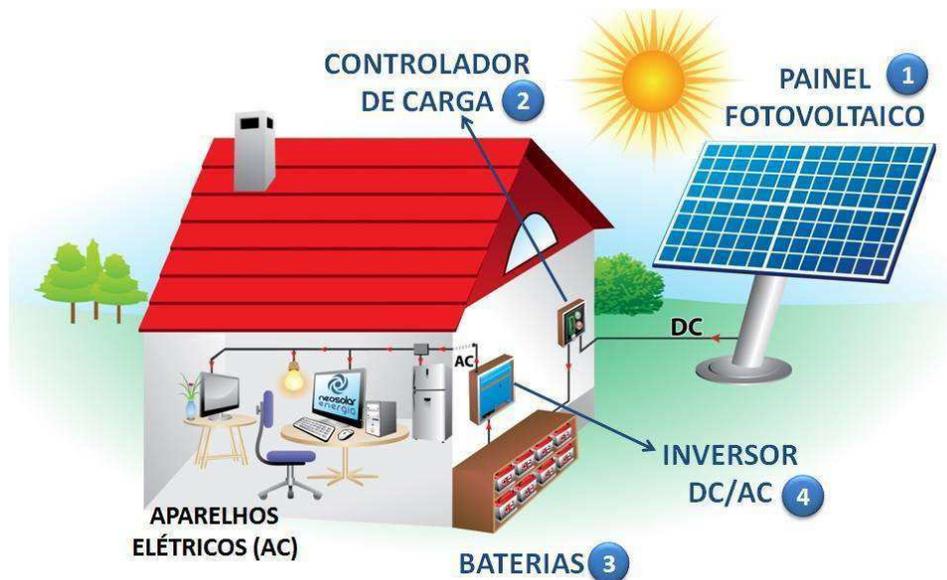
Esse sistema geralmente é utilizado em locais remotos, não abastecidos pela rede elétrica convencional, fornecendo energia diretamente para os aparelhos que utilizarão a energia produzida ou então como um sistema de back-up. Alguns exemplos de sua utilização são o bombeamento de água, eletrificação rural, em postes de iluminação, dentre outros.

Vale ressaltar que por necessitar da instalação de baterias, o sistema off-grid se torna menos rentável que o sistema *grid-tie*, visto que além do custo inicial das baterias, estas possuem uma vida útil de aproximadamente 5 anos, enquanto a vida útil painel solar pode chegar a 30 anos (SOLARVOLT, 201-), além de contribuir com a perda de eficiência do sistema.

A utilização do sistema off-grid pode ser individual, onde apenas uma unidade consumidora é contemplada com a energia produzida, ou pode ser coletiva, onde um pequeno grupo de unidades consumidoras fisicamente próximas são abastecidas. Ambos os modelos vêm contribuindo para a eletrificação de locais remotos, principalmente a zona rural (PINHO, GALDINO, 2014).

A figura 16 abaixo exemplifica o sistema fotovoltaico isolado em uma residência.

Figura 16 - Sistema *off-grid* residencial.



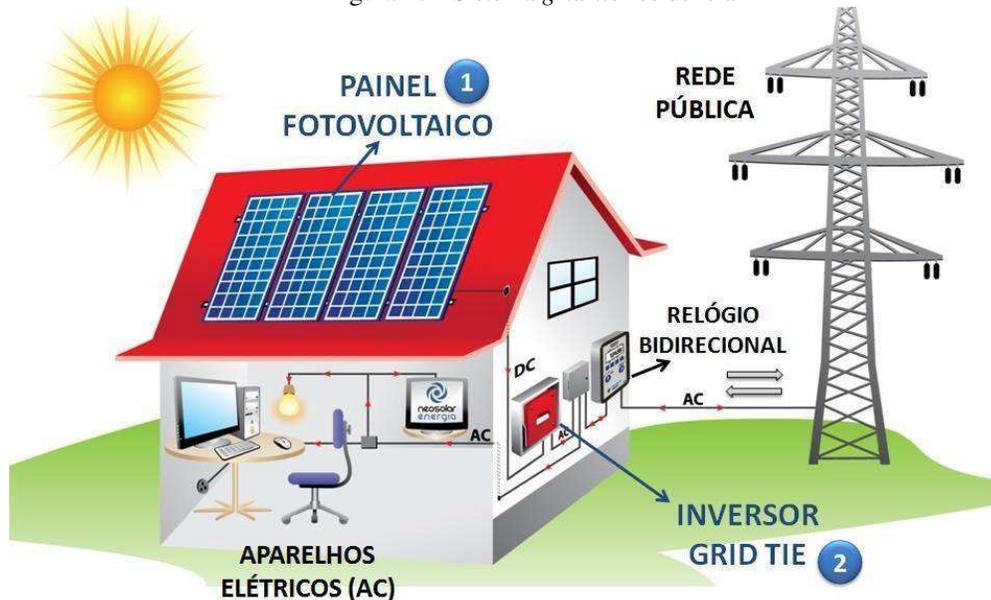
Fonte: NEOSOLAR, (2016).

2.3.4.3.2 Sistema *grid-tie*

Também conhecido como sistema fotovoltaico conectado à rede, como o nome já diz, está ligado à rede elétrica pública, não havendo a necessidade da utilização de baterias para o armazenamento de energia, visto que quando há uma produção maior do que está sendo consumido no momento, a energia em excesso é direcionada para a rede pública.

Enquanto o sistema off-grid as baterias eram responsáveis pelo fornecimento de energia quando não estava ocorrendo produção, no sistema *grid-tie* a própria concessionária abastece a unidade contemplada pelo sistema caso a produção seja interrompida, como exemplificado na figura 17 a seguir.

Figura 17 - Sistema *grid-tie* residencial.



Fonte: Neosolar (2016).

Segundo Rüter (2004) o sistema isolado se torna até 30% mais caro se comparado com o conectado à rede, o que pode ser explicado pelo fato deste estar conectado à rede pública, e ser abastecido por esta nos dias de menor incidência de luz solar, enquanto no sistema *off-grid*, o dimensionamento tem como base o mês com menor incidência, acarretando num maior custo de instalação.

Enquanto em residências que utilizam somente a energia proveniente da rede pública é utilizado um medidor responsável pela medição da energia ali consumida, com a instalação de um sistema *grid-tie*, é necessário que haja a instalação de um medidor bidirecional, como o mostrado na figura 18 abaixo, que além de medir a energia consumida, também mede a parcela da energia produzida que foi injetada na rede elétrica pública para que haja o controle do proprietário e também da concessionária (DOS SANTOS, 2009).

Figura 18 - Medidor bidirecional.



Fonte: Solisenergia (20-).

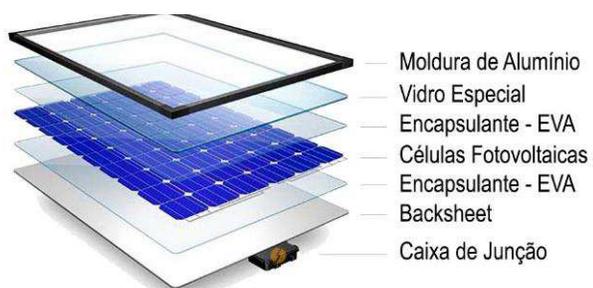
2.3.4.4 Módulos solares

Um módulo fotovoltaico é composto células fotovoltaicas, que são dispositivos responsáveis pela transformação de energia solar em energia elétrica, que por possuírem uma tensão muito baixa (cerca de 0,5 volts) e serem muito frágeis, são agrupadas em módulos, a fim de ter tensão e corrente suficientes para a produção de energia, além de serem protegidas de choques mecânicos e intempéries pela estrutura dos módulos (PINHO, GALDINO, 2014).

As células conectadas são envoltas de EVA, uma lâmina de vidro temperada e uma moldura de alumínio, como mostra a figura 19 abaixo, o que garante a proteção e o isolamento elétrico delas. Já a cobertura, que é a parte que vai receber diretamente os raios solares, deve ser

feita com um material que possua uma elevada transmissão luminosa. No caso é utilizado geralmente vidro com baixo teor de ferro.

Figura 19 - Encapsulamento de célula fotovoltaica.



Fonte: site Portal Solar (2018).

Assim como várias células são conectadas formando um módulo solar, esses também são conectados, formando os painéis solares, como mostrado na figura 25 abaixo. É importante que os módulos não saiam do lugar, podendo ocasionar numa sombra sobre os outros módulos, o que impactaria diretamente na eficiência do sistema (RÜTHER, 2004).

Figura 20 - Componentes de um painel fotovoltaico.



Fonte: Recicloteca (2016).

Vários são os tipos de painéis solares utilizados no mercado, e variam de acordo com o tipo de material e das técnicas utilizadas na produção das células fotovoltaicas, o que faz com que haja uma variação nos preços e eficiência entre cada uma delas. Segundo o site portal solar (2018), cerca de 85% dos sistemas instalados no mundo utilizam alguma tecnologia baseada em Silício, e segundo Villalva (2016) os principais tipos de células fotovoltaicas são as de silício monocristalino, silício policristalino e filmes finos.

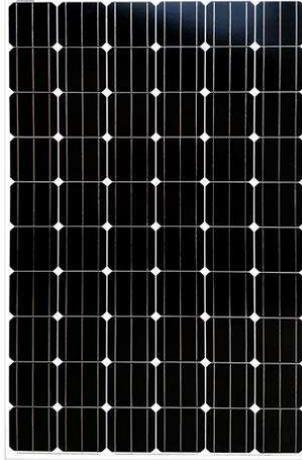
2.3.4.4.1 Silício monocristalino

Para a produção de células de silício monocristalino, primeiramente são feitos os lingotes de silício a partir de um processo conhecido como método de Czochalski, onde os blocos de silício com um elevado grau de pureza são aquecidos a temperaturas elevadas até tomarem forma de cristal.

O lingote é então cortado em finas camadas que passam por um outro processo, onde iram incorporar algumas impurezas, para assim apresentar seu principal aspecto, que são camadas de silício P e N (VILLALVA, 2016), para que possam ser transformadas em células fotovoltaicas.

Tais painéis são facilmente reconhecíveis devido a sua cor uniforme -o que elucida a alta pureza do material utilizado- e seus cantos arredondados, a fim de otimizar o espaço disponível nos painéis. A figura 21 mostra um painel fotovoltaico de silício monocristalino.

Figura 21 - Painel de silício monocristalino.



Fonte: Eduardo Aquino (2019).

Segundo o site Portal Solar (2018), os painéis deste material são os que apresentam melhor eficiência dentre os que estão atualmente no mercado, entre 15% e 22%, o que permite que seja utilizado um número menor de painéis e seja ocupado menos espaço, se comparado a outros tipos de materiais.

Além disso, possuem uma vida útil de aproximadamente 30 anos, e em ocasiões de pouca incidência da luz do sol, eles funcionam melhor se comparados com os painéis de silício policristalinos, porém possuem custos de obtenção mais elevados.

2.3.4.4.2 Silício policristalino

Diferente do que ocorre na produção do silício monocristalino, que é produzido a partir de blocos de silício de pureza extrema, o processo de fabricação do lingote de silício policristalino é mais barato, visto que nele são utilizados vários pedaços de tamanhos e cortes diferentes de silício (VILLALVA, 2016). Posteriormente eles são serrados em blocos quadrados e depois fatiados em células.

Quanto à eficiência dos painéis policristalinos, esta varia de 14% a 20%. Tal inferioridade em relação aos monocristalinos se dá principalmente pela pureza do material utilizado na sua fabricação, o que por outro lado os torna mais baratos em relação ao concorrente,

acarretando em custos mais brandos na instalação, o tornando o painel mais utilizado na produção de energia solar autônoma.

Outro fator negativo dos painéis policristalinos em relação a seu concorrente direto, é que este produz menos Watts/m^2 , ou seja, é necessária uma área maior de painéis para gerar a mesma quantidade de W/m^2 que o painel monocristalino. Além disso, segundo Gomes (2009), sua eficiência em locais com pouca incidência da luz do sol é praticamente nula, tornando seu uso recomendado somente em locais com altos índices de insolação.

Na figura 22 a seguir é mostrado um painel de silício policristalino.

Figura 22 - Painel solar de silício policristalino.



Fonte: Portal solar (2018).

2.3.4.4.3 Filmes finos

Também conhecidos como Células Fotovoltaicas de Películas Finas, os painéis deste material são produzidos a partir da colocação de uma ou mais camadas de películas de materiais com propriedades fotovoltaicas sobre um substrato, e não a partir de lingotes de silício, como ocorre na produção dos painéis cristalinos.

Segundo o site Portal Solar, até o ano de 2015 os painéis de filmes finos representavam somente 20% do mercado mundial, visto que sua eficiência média era de 7 a 13%, e seus custos de instalação eram elevados, visto que estes exigem uma grande quantidade de espaço, o que aumenta

os custos de estrutura e cabeamento. Hoje em dia a eficiência destes painéis já chega a 16%, se aproximando dos painéis cristalinos.

Como a produção em massa dos filmes finos são mais simples se comparados com os painéis cristalinos, o custo de obtenção deles se torna mais barato. Além disso, eles podem ser flexíveis, permitindo diferentes meios de uso, já que sombras ou temperaturas elevadas não causam grandes alterações em sua eficiência.

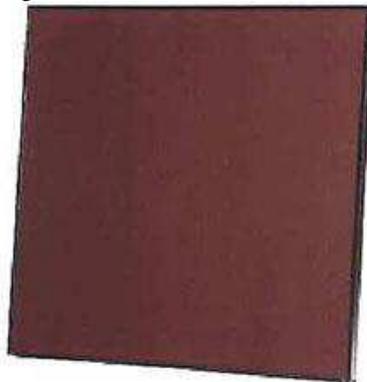
Existem diferentes categorias de painéis de filmes finos, que variam de acordo com o material utilizado sobre o substrato, dentre os principais temos o silício amorfo; telureto de cádmio; cobre, índio e seleneto; e de células solares orgânicas.

- Painel de silício amorfo (a-Si)

O silício amorfo era tradicionalmente utilizado em calculadoras de bolso devido sua baixa eficiência na produção de energia. Porém com avanços tecnológicos, o silício amorfo passou a ser utilizado em produção de energia em maiores escalas. Além de sua baixa eficiência, que gira em torno de 6%, esta continua a diminuir até 12 meses da instalação, quando se estabiliza (Villalva, 2016).

Contudo, há uma técnica de fabricação denominada empilhamento, que combina várias camadas do silício amorfo aumenta essa eficiência a até 9%, contudo, esta técnica eleva significativamente o custo de produção.

Figura 23 - Painel de silício amorfo.



Fonte: Portal solar (2018).

- Painel solar de telureto de cádmio (CDTE)

As instalações dos painéis de telureto de cádmio são geralmente de grande porte, ou seja, são grandes usinas de energia solar. Essa tecnologia é a única dentre as que usam filmes finos que superou o custo/eficiência dos tradicionais painéis de silício cristalino, atingindo uma eficiência de até 16%.

No entanto, a produção deste tipo de célula não é feita em grandes escalas devido a quantidade de material tóxico encontrado nesta. Além disso, o cádmio não é um material tão acessível, não sendo encontrado em abundância na natureza (Villalva, 2016). A figura 24 a seguir mostra uma usina que utiliza painéis de telureto de cádmio.

Figura 24 - Painéis de telureto de cádmio em uma usina solar.



Fonte: Sua Energia Solar (2017).

- Painéis solares de seleneto de cobre, índio e gálio (CIS / CIGS)

Juntamente com os painéis de telureto de cádmio, os CIGS são os que possuem maior potencial quando se trata de eficiência, e apresentam um menor grau de toxicidade que o primeiro.

Seus índices de eficiência variam de 10 a 12%, e é uma tecnologia que ainda se encontra em fase de pesquisa, e possui um alto valor de produção (Villava, 2016). Na figura 25 abaixo vemos um painel de Seleneto de Cobre, índio e Gálio.

Figura 25 - Painel solar CIS/CIGS.



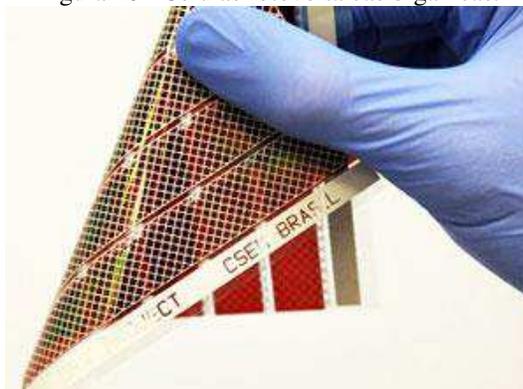
Fonte: Portal Solar (2018).

- Células fotovoltaicas orgânicas (OPV)

Este tipo de célula fotovoltaica é produzida a partir da eletrônica orgânica, um ramo que utiliza polímeros orgânicos condutores que absorvem a luz solar e produzem energia a partir dela. Estas células são flexíveis e sua produção é de baixo custo, visto que são impressas a partir de máquinas simples, que utilizam materiais abundantes.

Um exemplo de célula fotovoltaica orgânica é mostrado na figura 26 abaixo.

Figura 26 - Células fotovoltaicas orgânicas.



Fonte: Portal Solar (2018).

2.3.4.4 Painel solar híbrido – HJT

Os painéis solares híbridos são produzidos através da heterojunção, que é uma tecnologia relativamente nova. A fabricação ocorre de maneira similar a dos painéis cristalinos, porém possuem uma passivação com camadas de silício amorfo.

Tais painéis possuem uma eficiência média de 22%, além de produzir mais energia por metro quadrado se comparado com os outros tipos de painéis solares. Eles também funcionam muito bem em altas temperaturas, porém ainda não está disponível no mercado.

A figura 27 a seguir mostra um painel híbrido.

Figura 27 - Painel solar híbrido.



Fonte: Painel Solar (2018).

2.3.4.5 Inversor

Como dito anteriormente, a corrente oriunda da produção de energia elétrica fotovoltaica é uma corrente contínua, não compatível com os aparelhos domésticos. Para que a energia produzida por meio dos painéis solares seja utilizada, é necessária que essa compatibilização seja feita por meio de um inversor, também denominado conversor. Além disso o inversor adequa a amplitude, frequência e conteúdo harmônico da corrente com as cargas a serem abastecidas (Pinho e Galdino 2014), mostrado na figura 28 a seguir.

Figura 28 - Inversor solar.



Fonte: google imagens.

Uma das preocupações quanto a utilização dos inversores é sobre a perda de eficiência do sistema na conversão de CC em CA, visto que o aumento de 1% na eficiência de um inversor permite que seja gerada até 10% a mais de energia no sistema no período de um ano (RÜTHER, 2004). Porém testes realizados mostraram que a conversões possuem perdas relativamente pequenas.

Numa instalação *off-grid*, é utilizado um inversor autônomo, que retira a energia diretamente do banco de baterias para alimentar os aparelhos consumidores. Os inversores autônomos não podem ser utilizados em instalações *grid-tie*, visto que não interagem com o sinal de corrente alternada presente na rede pública.

No caso dos inversores utilizados nos sistemas conectados à rede, estes têm a capacidade de interagir com o sinal senoidal da corrente presente na rede, e além da conversão de corrente, ele trabalha como uma unidade de controle do sistema.

Os inversores interativos, como são chamados os inversores conectados à rede alimenta os aparelhos por meio da energia produzida e da energia da concessionária. Eles podem detectar anomalias na rede, como flutuações de tensão ou frequência. Além disso, ele é programado para desligar caso haja interrupção da energia proveniente da concessionária, visto que se o sistema continuasse em funcionamento, poderia lançar energia na rede, o que poria em risco qualquer pessoal que estivesse responsável pela manutenção.

Os inversores interativos são classificados de acordo com sua potência, e são classificados em: inversor central, *string*, multi-*string* e módulo c.a.

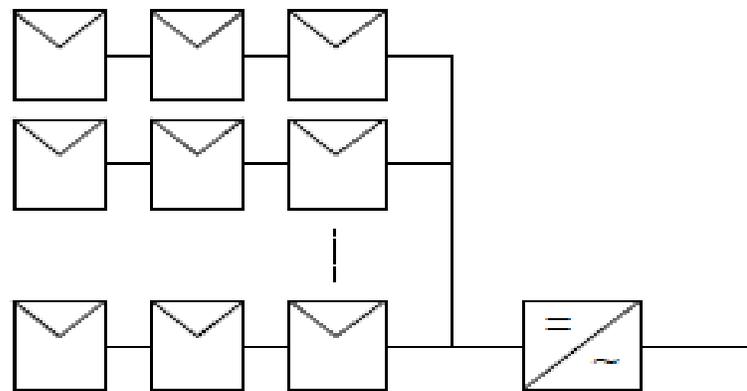
2.3.4.5.1 Inversor central

Os inversores centrais são utilizados em sistemas de grande porte, com potências que chegam a ultrapassar 100kWp. Eles podem ser alimentados por centenas de módulos interligados em paralelo, podendo chegar a milhares.

A grande desvantagem na utilização deste tipo de inversor é a dependência do sistema nele, que em caso de manutenção acarreta numa parada na produção de energia até que o sistema seja consertado (ALMEIDA, 2012).

O esquema abaixo mostra como funciona um sistema com a utilização de um inversor central.

Figura 29 - Funcionamento de um inversor central.



Fonte: almeida (2012).

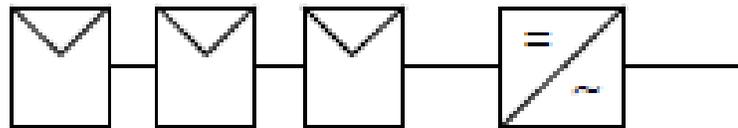
2.3.4.5.2 Inversor *string*

Os inversores *string* são modelos utilizados em instalações de baixa potência, trabalhando com algumas dezenas de módulos fotovoltaicos, ou seja, são utilizados geralmente em gerações domésticas.

Além da potência, os inversores *string* se diferenciam dos centrais pelo fato de não possuírem ligações em paralelo, o que reduz algumas perdas do sistema, como por exemplo as

perdas por sombreamento. Isso permite que os módulos sejam direcionados de maneiras diferentes, permitindo um melhor aproveitamento, porém demandando um número maior de inversores (ALMEIDA, 2012). Abaixo temos um esquema do funcionamento dos inversores *string*.

Figura 30 - Funcionamento de um inversor *string*.

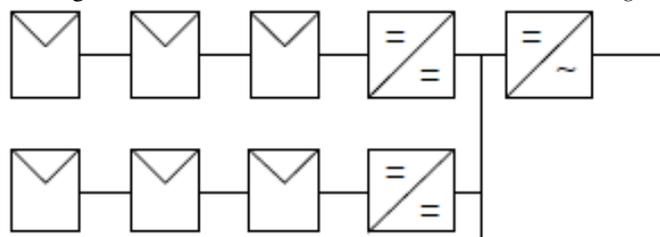


Fonte: Almeida (2012).

2.3.4.5.3 Inversor multi *string*

Os inversores multi *string* é composto por diversos conversores, cada um deles conectados à uma série de módulos fotovoltaicos, e a um inversor central como mostrado no esquema abaixo. Eles permitem que haja um maior controle de tensão em cada série (ALMEIDA, 2012).

Figura 31 - Funcionamento de um inversor multi *string*

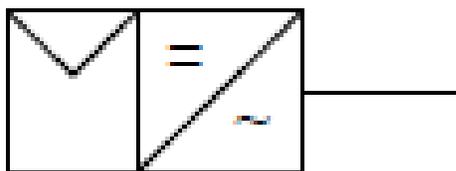


Fonte: almeida (2012).

2.3.4.5.4 Módulo C.A.

Os módulos C.A. são utilizados para acabar com as perdas oriundas das associações de módulos, o que é feito agregando micro-inversores nos módulos fotovoltaicos (ALMEIDA, 2012), como representado no esquema abaixo.

Figura 32 - Funcionamento de um módulo C.A.



Fonte: Almeida (2012)

Segundo o CRESESB (2014), os inversores fotovoltaicos devem possuir uma alta eficiência de conversão, alta confiabilidade e baixa manutenção, operar em uma faixa ampla de tensão de entrada, possuir uma boa regulação na tensão de saída, forma de onda senoidal com baixo conteúdo harmônico, não deve emitir ruídos audíveis, baixa interferência eletromagnética, alta tolerância a surtos de partida de cargas e uma garantia de fábrica de no mínimo 2 anos.

3 METODOLOGIA

O estudo sobre a instalação dos painéis fotovoltaicos será realizado utilizando o Laboratório Multiusuário de Pós-Graduação (LAMP) como prédio a ser alimentado pelo sistema a ser instalado. Por se tratar de um sistema com melhor custo benefício, e este ser um prédio que possui um fornecimento constante de energia da concessionária, será utilizado o sistema conectado à rede (*off-grid*).

Para a realização deste dimensionamento, foi realizado um embasamento teórico sobre o tema, por meio de livros, artigos acadêmicos, e consultorias em empresas especializadas neste tipo de instalação.

Para o dimensionamento da potência necessária das placas para o fornecimento de uma edificação, utiliza-se a equação 1 abaixo:

$$Pot\ placas = \frac{P}{i \times \eta} \quad (1)$$

Onde:

P = Energia consumida (KWh/mês);

i = Índice Solarimétrico;

η = Eficiência das Placas.

O primeiro passo do dimensionamento foi a realização do levantamento da demanda energética do prédio em estudo. Tal levantamento é realizado pelas empresas através das contas de energia do local da instalação. Nele, é feita uma média aritmética dos valores das contas de energia dos últimos 12 meses, e o dimensionamento é realizado a partir do valor obtido.

Contudo, as contas de energia da UEMA contemplam todos os prédios do campus, não sendo possível fazer uma média de um prédio específico, o que impossibilita que o dimensionamento seja realizado desta maneira, neste caso, o consumo estimado utilizado foi o

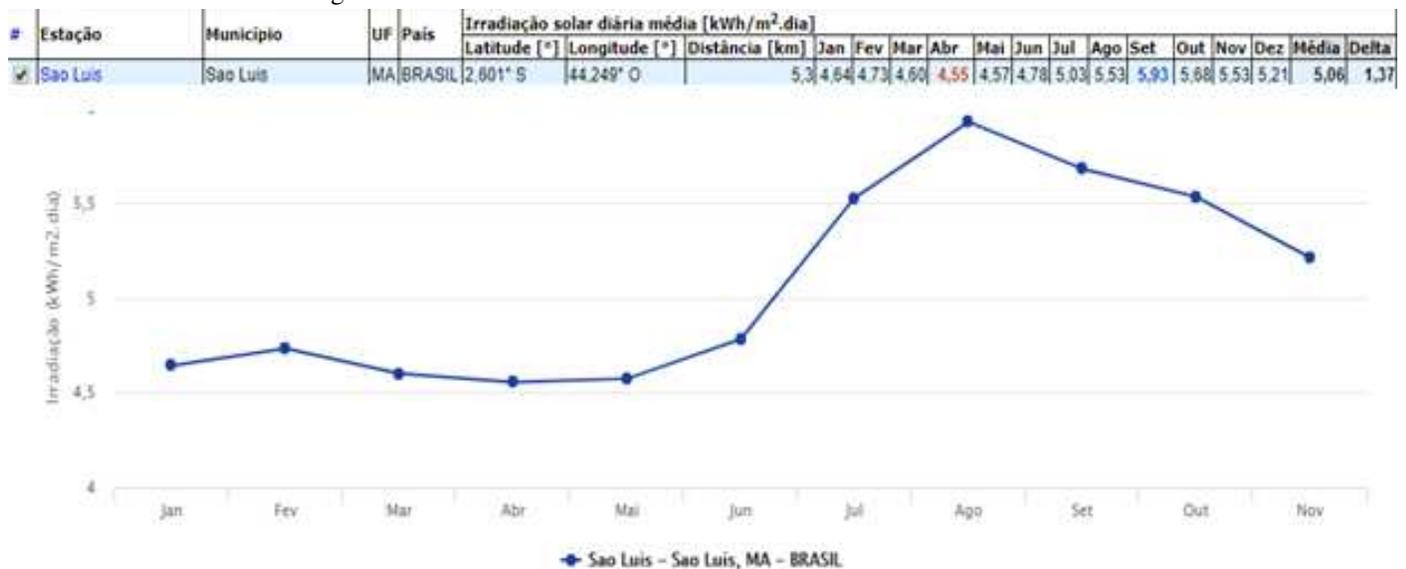
estipulado pelos projetos elétricos do prédio, que foram fornecidos pela prefeitura de campus da UEMA.

O próximo passo do dimensionamento da potência de placas necessária é a obtenção do índice solarimétrico, que, segundo o CRESESB, é a quantidade de Watts que incidem sobre uma área de 1m² durante um dia. Este valor pode ser obtido pelo SunData do CRESESB, que nos dá o índice solarimétrico a partir da latitude e longitude do local estudado.

A UEMA está localizada nas coordenadas -2.583155, -44.207867, o que resulta num índice solarimétrico médio anual de 5,06 kWh/m².dia. como visto na figura 41 a seguir.

Por último é necessário a eficiência das placas a serem utilizadas, valor obtido através dos catálogos de fabricantes, que estipulam um valor entre 75% e 85%. No caso, o valor utilizado para cálculo é de 80%, comumente utilizado por empresas de energia solar no dimensionamento dos módulos.

Figura 33 - Índice solarimétrico de São Luís.



Fonte: CRESESB (2019).

Tendo em mãos a potência necessária das placas fotovoltaicas, é necessário saber quantas placas são suficientes para suprir esta demanda. Para isto é feito o seguinte cálculo a partir da equação 2 abaixo:

$$Qtd\ de\ placas = \frac{Pot\ Placas}{Pot\ Unitária} \quad (2)$$

Onde:

Pot Placas = Potência gerada pelo sistema (kWh);

Pot Unitária = Potência máxima de um painel (W).

Para a realização deste cálculo, é necessário a especificação do painel a ser utilizado na instalação. No caso, foi escolhido o painel CS6U-330P da Canadian Solar, mostrado na figura a seguir.

Figura 34 - Painel solar CS6U-330P.



Fonte: Minha casa solar (2019).

Visto que cada painel possui uma potência de 330 W, este é o valor que será utilizado no dividendo da equação 2 a fim de se encontrar a quantidade de painéis a serem instalados.

Com a quantidade de painéis necessários, podemos calcular também a área requerida para a instalação.

Após realizado o dimensionamento será feito a verificação da viabilidade econômica, analisando o período necessário para o lucro se igualar ao investimento inicial, e fluxo de caixa futuro.

Na tabela 3 a seguir temos as especificações do painel escolhido.

Tabela 3 - Especificações do painel.

Potência máxima (Pmax)	330 Wp
Número de células	72
Tolerância	0% a +5%
Tensão em circuito aberto (Voc)	45,6V
Tensão de Pico (Vmpp)	37,2V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9,45A
Corrente de Pico (Impp)	8,88A
Voltagem máxima do sistema	1000V
Tipo de célula	Silício Policristalino
Dimensões painel	1960 X 992 X 35 mm
Moldura: Alumínio	Alumínio
Peso	22,4 kg

Fonte: Autor (2019).

4 ESTUDO DE CASO

O prédio em questão do estudo de caso, como dito anteriormente, é o Laboratório Multiusuário de Pós-Graduação, conhecido como LAMP. Sua construção terminou no segundo semestre de 2018, e será utilizado para os pós-graduandos e doutorandos dos cursos de ciências sociais, como por exemplo, zootecnia e veterinária. Ele está localizado no Campus Paulo VI da UEMA, na Avenida Oeste Externa, em São Luís do Maranhão.

Por se tratar de um prédio novo, as plantas arquitetônicas e projetos complementares deste estavam disponíveis, logo, as potências de projeto foram utilizadas no dimensionamento dos painéis solares. Nas tabelas 4 abaixo, estão disponíveis as potências em watts estipuladas em projeto. Elas estão divididas de acordo com a área a ser alimentada, o que permite um detalhamento na hora do dimensionamento, permitindo uma melhor análise do custo-benefício.

Tabela 4 - Potências corrigidas do LAMP.

Quadro	Potência(W)
Quadro distribuidor térreo	20931,2
Quadro distribuidor aut. Térreo	22273,6
Quadro distribuidor Hist. Térreo	12531,2
Quadro distribuidor Microb. Superior	14153,6
Quadro distribuidor Parasit. Superior	25097,6
Quadro distribuidor Rep. Superior	15468,8
Refrigeração Térreo	31525,6
Refrigeração Superior	29340
Total	171321,6

Fonte: Autor (2019).

Contudo, para o cálculo do dimensionamento é necessário que a potência em watts seja convertida para energia elétrica consumida, em Wh. Tal conversão se dá da seguinte forma: multiplicam-se os valores em watts pelo tempo de uso e divide-se o valor obtido por 1000, encontrando assim os valores em Wh.

Considerando que no prédio seja utilizado das 7:30 às 22:30, e que os aparelhos de ar condicionado são ligados algumas horas antes, vamos considerar o tempo de utilização das 6:30 às 22:30, obtendo assim 16 horas de uso, porém não podemos considerar que todos os aparelhos estarão ligados durante as 16 horas, assim, foi necessário o uso de um fator de demanda, já levado em consideração na tabela 4 acima, que no caso será de 0,8.

Logo, calculando a energia consumida no LAMP, temos:

$$E = 171321,6 \times 16 = 2.714.145,6 \text{ Wh}$$

Com os valores e kWh/mês o, índice solarimétrico e a eficiência das placas garantida pelos fabricantes, pode-se dar início ao dimensionamento.

4.1 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

Utilizando a equação 1 mostrada anteriormente, temos:

$$Pot \text{ placas} = \frac{2.714.145,6}{5,06 \times 0,8}$$

$$Pot \text{ placas} = 670.490,514 \text{ W}$$

Este valor nos mostra que para suprir o gasto energético total do LAMP, será necessário que o somatório da potência das placas seja igual a 670.490,514 watts. As placas utilizadas no projeto serão de 330 watts, dividindo a potência necessária pela potência de cada placa temos a quantidade necessária de placas solares para suprir a necessidade energética, logo:

$$Qtd \text{ de placas} = \frac{670.490,514}{330}$$

$$Qtd \text{ de placas} = 2.032 \text{ Placas}$$

Após o dimensionamento dos módulos solares, é realizado o dimensionamento dos inversores para a potência calculada, que no caso é de 670,49 kWp. Por se tratar de uma potência elevada, foi escolhido o inversor comercial de maior potência, que no caso é o Fronius Eco 27.0 de (27,0 kW), cujas especificações estão na tabela 5.

Tabela 5 - Especificações do inversor.

Potência fotovoltaica nominal (kWp)	27,67 a 35,1
Faixa de tensão (V)	580 – 1000
Tensão máxima (V _{cc})	1000
Faixa de operação MPPT (V)	580 a 850
Tensão CC nominal de entrada (V)	580
Corrente CC máxima para cada MPPT (A)	71,6
Número de MPPTs independentes	01

Fonte: Autor (2019).

Visto que este inversor possui potência nominal de 27,67 kWp, dividindo a potência das placas por este valor obtemos que quantidade de inversores necessários para o sistema em questão é de 24 inversores.

Uma outra forma de fazer o dimensionamento é utilizando um simulador encontrado na internet, que de acordo com a localização da instalação o consumo mensal, faz o dimensionamento e orçamento de todo o sistema de acordo com os preços praticados no mercado, além de calcular a área necessária para instalação.

O dimensionamento feito pelo simulador é mostrado na tabela 6 abaixo, e será utilizado como parâmetro para a análise de custo-benefício e área necessária para a instalação, visto que este valor inclui, além dos painéis e inversores, custos com cabeamento, conectores, fixação e instalação.

Tabela 6 - Orçamento do sistema fotovoltaico

Preço médio	R\$ 2.120.080,00
Potência Instalada (kWp)	686,40
Área mínima necessária (m ²)	5491,20
Peso médio (kg/m ²)	16
Quantidade de painéis (un)	2080

Fonte: Portal Solar (2019).

4.2 Custo da conta de energia mensal da universidade

Para se obter o custo da Universidade pago à Companhia de distribuição de energia da cidade de São Luís, a CEMAR basta multiplicar o valor do consumo pela tarifa de energia local, como mostrado na equação 3 abaixo, logo:

$$Custo = Emensal \times tarifa \text{ de energia} \quad (3)$$

A ANEEL, (Agência Nacional de Energia Elétrica) tem finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica, além de fixar o valor da tarifa de energia que deve ser cobrada, juntamente com a distribuidora local. Para isso, foram definidas tarifas horo-sazonais para os grandes consumidores, com preços diferenciados para a energia consumida e demanda nos períodos de ponta e fora de ponta. Essas tarifas foram classificadas como:

- Tarifa Azul: modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia;
- Tarifa Verde: modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência.

A Universidade se adequa a tarifa horo-sazonal verde, possuindo, de acordo com a última revisão tarifária da ANEEL - Resolução Homologatória N° 2.438/2018 juntamente com a CEMAR, (Companhia Energética do Maranhão), distribuidora local, a tarifa de São Luís

corresponde a R\$ 2,12916 por cada quilowatt hora em horários de pico (das 18 às 21 horas), e R\$ 0,31963 nas demais horas. Fazendo uma média ponderada de acordo com os horários de funcionamento estipulados, temos uma tarifa média de 0,658917.

$$Custo = 2.714 \text{ KWh} \times 30 \times R\$0,659/\text{KWh}$$

$$Custo = R\$53.655,98 \text{ por mês}$$

Considerando os impostos (ICMS, PIS, CONFINS) em torno de 25% sobre a tarifa aumenta para R\$0,8237 por quilowatt hora. E assim, o custo ficaria:

$$Custo = 2.714 \text{ KWh} \times 30 \times R\$0,823/\text{KWh}$$

$$Custo = R\$ 67.008,66 \text{ por mês}$$

Assim, podemos concluir que pelo método convencional de energia elétrica atribuída as concessionárias, o gasto com energia referente ao prédio LAMP custa aproximadamente 67.000 reais.

4.3 Tempo de retorno do investimento

Após o dimensionamento do sistema, custo do investimento inicial e o custo de manutenção, o próximo passo é fazer uma análise das faturas, observando em quantos anos o empreendimento, no caso o sistema isolado na rede de iluminação pública, seria pago.

Essa verificação é conhecida como tempo de retorno ou *payback*, a qual representa o tempo necessário para que o custo de instalação se pague e, a partir de então, comece a dar lucro para o proprietário e/ou a empresa.

O *payback* depende ainda de alguns fatores como a tarifa da energia elétrica da cidade e o aumento da mesma a ser implantada anualmente. Como já visto, a tarifa foi determinada no

valor de R\$0,824 KWh, considerando os impostos, e seu reajuste médio anual se dá por 9,60 % ao ano, segundo Nakabayashi (2015). Além do reajuste, leva-se em consideração a taxa de inflação, que segundo o banco central para o ano de 2019 é de 4,1%, segundo relatório trimestral divulgado no dia 28/03/2019.

Também é considerado o custo de disponibilidade de 100 KWh, ou seja, mesmo que a geração cubra 100% dos custos energéticos, ainda será pago à concessionária o equivalente a 100 KWh pelo uso da rede, já que o sistema utilizado é conectado à rede.

Além disso, é considerado no cálculo uma perda de desempenho anual, que segundo os fabricantes varia entre 0,5 e 1,0%, logo, foi escolhido o valor de 0,8%, comumente utilizado nos cálculos de viabilidade econômica realizado pelas empresas especializadas em energia solar.

Na tabela 7 abaixo temos as premissas utilizadas para o cálculo do *payback* para um período de 25 anos, que é o tempo garantido pelos fabricantes que os painéis iram funcionar de forma eficiente com potencial de produção de até 80%.

Tabela 7 - Premissas da viabilidade.

Consumo médio mensal (kWh)	81420
Tarifa no ano base (R\$/kWh)	0,8237
Perda de desempenho anual (%)	0,80
Reajuste médio anual (% a.a.)	9,60
Investimento inicial (R\$)	2.120.080,00
Irradiação média (kWh/m ² .dia)	5,06
Eficiência global (%)	80
Taxa de Disponibilidade (kWh)	100
Inflação (% a.a.)	4,1

Fonte: Autor (2019).

A partir dos dados mostrados acima, foi feito o estudo do tempo de retorno do investimento através do Excel. A tabela 8 abaixo mostra quanto foi a geração ao longo dos 25 anos, assim como a economia de energia, o aumento da tarifa e o custo evitado com a conta de energia.

Tabela 8 - Projeção do sistema ao longo do tempo de vida útil.

Ano	Geração (kWh/ano)	Consumo (kWh/ano)	Consumo Faturado	Economia (kWh/ano)	Tarifa (R\$/kWh)	Custo evitado (R\$/ano)
1	1000277	977040	1200	975840	0,82	803.799,41
2	992275	977040	1200	975840	0,90	880.964,15
3	984337	977040	1200	975840	0,99	965.536,71
4	976462	977040	1200	975840	1,08	1.058.228,23
5	968650	977040	8390	968650	1,19	1.151.272,82
10	930519	977040	46521	930519	1,88	1.748.998,28
15	893889	977040	83151	893889	2,97	2.657.054,81
20	858701	977040	118339	858701	4,70	4.036.562,16
25	824898	977040	152142	824898	7,43	6.132.291,30

Fonte: Autor (2019).

Logo, observa-se que apenas no primeiro ano da instalação, haveria uma economia de R\$ 803.799,41. Enquanto ao fim do último ano de potência garantida, com uma tarifa de energia de 7,43 R\$/kWh, haveria uma economia de R\$ 6.132.291,30.

A tabela 9 abaixo apresenta o fluxo de caixa simples e o descontado. Enquanto o fluxo de caixa simples mostra a variação econômica durante o período de funcionamento da instalação. Ele parte do valor do investimento, logo, negativo, e segue com o ganho gerado pela economia provida pelo sistema. Já o fluxo de caixa acumulado é a soma do que foi gerado anualmente pelo fluxo de caixa.

O fluxo de caixa descontado segue a mesma lógica do simples, porém ao seu valor é atribuído a taxa anual de inflação, que como visto anteriormente, foi utilizado o valor de 4,1%.

Tabela 9 - *Payback* do investimento.

Ano	FLUXO DE CAIXA SIMPLES		FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	
	Fluxo de caixa simples (R\$)	Fluxo de caixa acumulado (R\$)	Fluxo de caixa Simples descontado (R\$)	Fluxo de caixa acumulado descontado (R\$)
0	2.120.080,00	2.120.080,00	2.120.080,00	2.120.080,00
1	803.799,41	1.316.280,59	772.141,60	1.347.938,40
2	880.964,15	435.316,44	812.936,79	535.001,61
3	965.536,71	530.220,27	855.887,34	320.885,73
4	1.058.228,23	1.588.448,50	901.107,13	1.221.992,86
5	1.151.272,82	2.739.721,32	941.726,09	2.163.718,95
10	1.748.998,28	10.189.582,03	983.549,22	7.538.104,14
15	2.657.054,81	21.507.310,86	1.027.229,77	14.216.717,07
20	4.036.562,16	38.701.053,26	1.072.850,22	22.516.060,92
25	6.132.291,30	64.821.556,94	1.120.496,72	32.829.446,19

Fonte: Autor (2019).

Após uma análise dos dados obtidos no Excel, vemos que o tempo necessário para que o investimento se pague é de apenas 3 anos e 8 meses. Os valores em vermelho na tabela mostram o período em que o consumidor ainda não obteve o retorno do investimento.

Logo observamos que com um tempo de retorno relativamente baixo, e um custo total evitado de quase 33 milhões de reais somente com energia, o investimento se torna viável.

4.4 Área necessária para a instalação

Para a instalação das 2.080 placas necessárias para o abastecimento total de energia do LAMP, é necessária uma área livre de aproximadamente 5.491 m².

Ainda que a instalação dos painéis fotovoltaicos não seja obrigatoriamente próxima às edificações contempladas, neste estudo buscaram-se opções dentro do campus de São Luís para uma possível instalação futura dos painéis.

Como nem sempre os painéis podem ser implantados no telhado das edificações, e considerando esta hipótese, foi utilizado o Google Earth na procura de uma área com tamanho suficiente para receber tal instalação.

A área encontrada se trata de um espaço vazio localizado próximo a antiga quadra de esportes e a pro-reitoria de planejamento. O local possui uma área superior a 46000 m², ou seja, superior a área necessária para a instalação dos painéis dimensionados. A figura 36 abaixo mostra a área livre para a possível instalação, lembrando que não é a única opção, porém por se tratar de uma área livre com dimensões que permitiriam uma possível expansão do projeto original, se mostra ser o local mais apropriado para tal instalação.

Figura 35 - Área sugerida para instalação.



Fonte: Google Earth (2018).

5 CONCLUSÃO

Analisando o fator financeiro, o investimento realizado na instalação dos painéis solares acaba se pagando em um período de tempo muito curto, aproximadamente 3 anos e 8 meses, como visto anteriormente. Lembrando que a manutenção dos painéis solares não requer grandes investimentos, e todos os equipamentos possuem uma garantia média de quase 10 anos, e uma vida útil de aproximadamente 25 anos.

Mas ainda assim se trata de um custo elevado de instalação. Uma alternativa válida seria a utilizada pela UFRJ campus Ilha do Fundão, que fez a instalação de 414 painéis em um estacionamento de aproximadamente 652 m². O sistema tem uma capacidade de produção de 140 mil KWh por ano, e foi feito com um investimento de R\$ 1,6 milhão, investimento foi feito pelo Fundo Verde, órgão que recebe recursos oriundos da isenção de imposto ICMS sobre a conta de energia elétrica da UFRJ e utiliza tal receita em projetos de melhorias de mobilidade e uso de energia.

Quanto ao espaço da instalação, já foi mostrado que há área suficiente para os painéis solares responsáveis para a geração de energia para o LAMP, ainda sendo capaz de acomodar expansões que poderiam vir a ocorrer, dentro do próprio campus Paulo VI. Mas por se tratar de uma área aberta, onde há a livre passagem de pedestres e até mesmo animais de médio e grande porte, poderia vir a ocorrer avarias na instalação. Logo, por uma questão de segurança, seria interessante prover algum tipo de proteção para tal instalação, como grades ou um muro.

Outra opção interessante para a instalação, seria fazer a instalação em cima de um estacionamento, como foi feito na UFRJ, aproveitando assim o espaço que antes seria utilizado somente para comportar os painéis. Porém neste caso, visto que os estacionamentos da UEMA não são cobertos, haveria um custo adicional para instalar os suportes para então instalar os painéis como cobertura para os carros.

Por fim, além de ser uma questão econômica, a utilização da energia solar é uma opção ambiental e tecnológica, pois é uma energia limpa e renovável, e sendo instalada em uma instituição de ensino, além de servir de exemplo para outras instituições, serve de tema de estudos e pesquisas no ambiente acadêmico, como é o caso da Unilins, do interior de São Paulo, que possui a maior usina dentre as instituições de ensino no Brasil. São 1680 placas distribuídas em uma área de 6000

m², com um preço de custo e instalação de aproximadamente R\$ 3,5 milhões, e serve nos estudos de engenharia elétrica, civil e ambiental.

Logo, analisando todos os fatores discorridos no decorrer deste trabalho, vemos que a implantação de uma usina de energia solar na UEMA para o abastecimento do LAMP seria algo viável, e sem impactos negativos para ponderar.

REFERÊNCIAS

ABB. Better world. **Um novo vento para os parques eólicos offshore**. 2012. Disponível em: <<http://www.abb-energy-survey.com>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

ALMEIDA, M. P. **Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. Orientador Roberto Zilles. São Paulo, 171 f.: il.: 30 cm, 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**, 3ªed Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2019.

BRANCO, Catullo. **Energia Elétrica e capital estrangeiro no Brasil**. São Paulo: Omega, 1975.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional 2014**. Rio de Janeiro, 2015.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia/EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. Brasília, 2013.

Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge, Tennessee, EUA.

CRESESB. **Potencial Energético**. [201?]. Disponível em:

<<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 02 mai. 2019.

CRESESB. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. [201?]. Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321>. Acesso em: 03 mai. 2019.

CORTEZ, L. A. B.; BAJAY, S. V.; BRAUNBECK, O. **Uso de resíduos agrícolas para fins energéticos: o caso da palha de cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Energia, Rio de Janeiro, v. 6, n. 01, jan./jun. 1999.

DIAS, Aline. **Biomassa**. 201?. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/combustiveis/biomassa>>. Acesso em: 18 mar. 2019.

DOS SANTOS, I. P. **Integração de Painéis Solares Fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista**. Florianópolis: UFSC, 2009.

DUTRA, R. M. **Energia eólica: Princípios e tecnologia**. Rio de Janeiro: Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio de Salvo Britto. 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_ebook.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2019.

EDUCLIMA. **Panorama das emissões de gases de efeito estufa e ações de mitigação no Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://educaclima.mma.gov.br/2018/04/panorama-das-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-e-acoes-de-mitigacao-no-brasil/>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

FERREIRA, V. B. **As usinas hidrelétricas no brasil: síntese histórica, impactos ambientais e aspectos econômicos e sociais**. 2006. Dissertação (Mestrado de engenharia de processos químicos e bioquímicos) – Escola de engenharia Mauá. Instituto Mauá de tecnologia, São Caetano do Sul.

GUIMARÃES, G. **Kit de energia solar: qual a vida útil dos equipamentos?** Solarvolt energia. 201?. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/kit-de-energia-solar-vida-util/>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

GOMES, Lúcia. **Células Solares Semi-transparentes de Silício Amorfo Micro/Nanocristalino**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

GONÇALVES, A.R.; et al. **Cenários de expansão da geração solar e eólica na matriz elétrica brasileira: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018**.

GRUBB, M. J; MEYER, N. I. **Wind energy: resources, systems and regional strategies**. In: JOHANSSON, T. B. et. al. Renewable energy: sources for fuels and electricity. Washington, D.C.: Island Press, 1993.

IEA, International Energy Agency (2012a), *World Energy Outlook 2012*. IEA. Paris.

IEA, International Energy Agency (2012b) *Energy Technology Perspectives 2012 – Pathways to a Clean Energy System*. IEA. Paris.

IEA. *Internacional Energy Outlook 2013*. Paris, 2013.

MENDES, Noeli, Aparecida. **As usinas hidrelétricas e seus impactos: os aspectos socioambientais e econômicos do Reassentamento Rural de Rosana - Euclides da Cunha Paulista**. 2005. Dissertação (Pós-graduação em geografia) – Faculdade de ciência e tecnologia – FCT/UNESP, Presidente Prudente.

MORAIS, L. C. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras**. 2015. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) – Faculdade de engenharia de Bauru/UNESP, Bauru.

MOTA, V. N. T. Projeto de Habitação Rural Eco-Eficiente com Geração Solar Fotovoltaica Individual. São Luís, 2016.

MONTEIRO, J. M. B. **Aplicações de Energia Solar em Meio Urbano**. Porto: FEUP, 2005.

MÜLLER, Arnaldo Carlos. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Makron Books, 1995.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Energia eólica no Brasil**. Disponível em: <<https://m.mundoeducação.bol.uol.com.br/geografia/energia-eolica-no-brasil.htm>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

PENA, Rodolfo F. Alves. **As Maiores Hidrelétricas do Mundo**; Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/as-maiores-hidreletricas-mundo.htm>>. Acesso em: 06 mar. 2019.

RAMAGE, J; SCURLOCK, J. Biomass. In: BOYLE, G. **Renewable Energy: Power for a Sustainable Future**. New York: Oxford University Press, 1996.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. 114 p. il.

RÜTHER, R.; et al. **Programa de telhados solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica pública no Brasil**: ENTAC. XII Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. Fortaleza, CE, 2008.

SALAMONI, I.; RÜTHER, R. **Potencial Brasileiro da Geração Solar Fotovoltaica conectada à Rede Elétrica: Análise de Paridade de Rede**. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 2007.

PINHO, J. T.; GALDINO, M.A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPTEL, CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.

PORTAL SOLAR. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. 2018. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar.html>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

SANTIAGO, E. **Combustíveis Fósseis**. **Info Escola**, 201-. Disponível em:<<https://www.infoescola.com/quimica/combustiveis-fosseis/>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

SCHUTTE, G. A. **Energia e desenvolvimento sustentável no Brasil – Trajetórias recentes e perspectivas**. FES Brasil, São Paulo, agosto de 2014.

SOUSA, R. **Energia solar**. **Brasil escola**, 201-. Disponível em:<<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/energia-solar.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2019.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. – 2. Ed rev. e atual. – São Paulo: Érica, 2015.

