

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

**GABRIEL ARARUNA DE SOUSA MORAIS**

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SOBRE PASSARELA NO  
CAMPUS PAULO VI**

São Luís  
2019

**GABRIEL ARARUNA DE SOUSA MORAIS**

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SOBRE PASSARELA NO  
CAMPUS PAULO VI**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de graduação em  
Engenharia Civil – UEMA, como requisito  
para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil  
Orientador: Prof. Me. Airton Egydio  
Petinelli

São Luís

2019

Morais, Gabriel Araruna de Sousa.

Utilização de sistemas fotovoltaicos sobre passarelas no Campus Paulo VI / Gabriel Araruna de Sousa Moraes. – São Luís, 2019.

92f

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

Orientador: Prof. Me. Aírton Egydio Petinelli.

1.Energia solar. 2.Painel fotovoltaico. 3.Sustentabilidade. I.Título

CDU: 621.311.243

**GABRIEL ARARUNA DE SOUSA MORAIS**

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SOBRE PASSARELA NO  
CAMPUS PAULO VI**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de graduação em  
Engenharia Civil – UEMA, como requisito  
para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil

Orientador: Prof. Me. Airton Egydio  
Petinelli

Aprovado em:        /        /

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Me. Airton Egydio Petinelli**  
Professor Orientador  
Universidade Estadual do Maranhão

---

**Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho**  
Membro Titular  
Universidade Estadual do Maranhão

---

**Profa. Ma. Adriana Oliveira Carvalho**  
Membro Titular  
Universidade Estadual do Maranhão

À minha família que se dedica para que eu dê o melhor de mim todos os dias. Aos meus amigos que me incentivaram na produção deste trabalho. A todos, com muito carinho.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente eu gostaria de agradecer a Deus pelo acolhimento, amor, proteção e por ter servido de guia durante toda a minha trajetória.

À minha família, principalmente ao meu pai, Francisco José de Moraes Alves, à minha mãe, Luciana Margareth de Sousa Moraes Alves, ao meu irmão, Marcello de Sousa Ferreira e à minha irmã Ana Leticia Araruna de Sousa Moraes, que se dedicaram durante toda a sua vida para me oferecer conforto, amor, carinho e muitos ensinamentos para o meu progresso contínuo durante essa jornada.

Ao meu orientador, Airton Egydio Petinelli, pelos aconselhamentos, pelo tempo dedicado e pelo cuidado para me guiar em prol do meu aprendizado.

Aos meus colegas de estágio, Guilherme Teles Dutra Gonçalves, Luciano Carneiro Reis, Ricardo Alberto Abas Aguado, Widimilla Karine Ferreira Martins e Yuri Leandro Abas Frazão, por acreditarem em meu potencial e me colocarem a prova todos os dias para que eu fosse mais confiante e por me ajudar com possíveis dúvidas referentes a esse trabalho.

Aos meus amigos, Ana Gabriela Sousa Marques, Bernardo Ferraz Barros Wanghon Maia, Luan Lima de Freitas, Luan Pinheiro Domingues Moreira, Luís Eduardo Luz Sant'Anna, Paulo José Bastos Leitão e Rodrigo Pereira da Silva, por acreditar no meu potencial e me incentivarem a seguir em frente.

Aos meus amigos adquiridos durante a trajetória do curso, Ana Caroline Braga Aquino, Arlene Maria Alves, Arthur Valente Soares, Beatriz Bezerra da Silva, Ruan Carlos Lima da Silva e especialmente à minha namorada Ana Carolina da Silva Tavares pelo apoio e ajuda em toda a trajetória do curso.

*“Tente mover o mundo – o primeiro passo será mover a si mesmo.”*

*Platão*

## RESUMO

Em virtude do crescimento tecnológico e populacional, uma demanda por energia crescente é algo necessário em todo mundo, visto que as tecnologias atualmente empregadas geram preocupação devido aos custos de implantação, operação e manutenção, novas tecnologias surgiram para diversificar o mapa energético das nações. Esses sistemas criaram a possibilidade de se produzir energia de forma limpa e renovável, sem gerar impactos ambientais diretos, como usinas termelétricas e nucleares, ou impactos indiretos como usinas hidrelétricas, principal fonte geradora do Brasil. Dentre as tecnologias que mais crescem, a energia solar fotovoltaica assumiu o posto como uma das principais representações, devido ao seu custo de fabricação em decrescente, seu rendimento crescente, sua velocidade na instalação e manutenção praticamente zero ao longo de sua vida útil. Devido a essas vantagens, surgiu a ideia de solucionar um dos maiores problemas vividos pelos estudantes e servidores no Campus Paulo VI, onde a locomoção entre os prédios é, atualmente, um caminho perigoso, principalmente durante o turno noturno, e inconstante, pois é dependente de condições climáticas para locomoção, faz-se necessário uma estrutura para proteger os visitantes, alunos e servidores de intempéries e incentivar a vivência num dos principais centros de produção científica do estado. A implantação dessa estrutura implantada possui ainda diversos pontos positivos pois têm-se um espaço de grandes proporções livre para implantação de tecnologias que, além de reduzir os custos com energia elétrica para a instituição, conectando o mesmo à rede, também melhorariam a capacidade de produção voltada para áreas como infraestrutura e energia renovável, além de sanar dúvidas quanto ao custo, vantagens, viabilidade de implantação, tempo de retorno do investimento e possíveis impactos negativos do sistema.

**Palavras-chave:** energia; solar; painéis; fotovoltaicos; passarela; pedestres; sustentabilidade.

## ABSTRACT

Due to technological and population growth, a growing demand for energy is needed worldwide, as the technologies currently employed generate concern due to the costs of deployment, operation and maintenance, new technologies have emerged to diversify the energy map of nations. These systems created the possibility of producing energy in a clean and renewable way, without generating direct environmental impacts, such as thermoelectric and nuclear plants, or indirect impacts such as hydroelectric plants, Brazil's main generating source. Among the fastest growing technologies, photovoltaic solar energy has assumed the post as one of the main representations, due to its decreasing manufacturing cost, its increasing yield, its installation speed and practically zero maintenance over its lifetime. Because of these advantages came the idea of solving one of the biggest problems experienced by students and servers at Campus Paul VI, where walking between buildings is currently a dangerous path, especially during the night shift, and unreliable because it is dependent From climate conditions to mobility, a structure is needed to protect visitors, students and servers from the weather and to encourage living in one of the state's main scientific production centres. The implementation of this implanted structure still has several positive points because there is a large free space for the deployment of technologies that, in addition to reducing the costs of electricity for the institution, connecting it to the network, would also improve production capacity. focused on areas such as infrastructure and renewable energy, as well as answering questions about the cost, advantages, feasibility of implementation, return on investment and possible negative impacts of the system.

**Keywords:** energy; solar; panels; photovoltaic; footbridge; pedestrians; sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Total bruto de eletricidade produzida .....	1
Figura 2 - Produção energética por país .....	3
Figura 3 - Estresse hídrico por país .....	4
Figura 4 - Consumo total por carvão .....	5
Figura 5 - Funcionamento de uma usina hidrelétrica.....	6
Figura 6 - Parcela na geração de energia por fonte.....	7
Figura 7 - Parcela na geração de energia no Brasil por fonte.....	8
Figura 8 - Projeção energética do Brasil .....	9
Figura 9 - Participação da energia eólica nos estados .....	10
Figura 10 - Potencial fotovoltaico do Brasil .....	11
Figura 11 - Histórico dos preços de células de silício .....	13
Figura 12 - Resumo de funcionamento da energia solar térmica .....	14
Figura 13 - Tipos de energia solar térmica .....	14
Figura 14 - Parque solar Nova Olinda .....	15
Figura 15 - Células de silício monocristalino .....	16
Figura 16 - Módulo de silício policristalino .....	17
Figura 17 - Módulo solar de filme fino .....	18
Figura 18 - Alteração da curva de corrente com a temperatura.....	20
Figura 19 - Ligação de um sistema fotovoltaico isolado .....	21
Figura 20 - Conexão do sistema com a rede.....	22
Figura 21 - Funcionamento de um inversor PWM .....	23
Figura 22 - Inversor interativo com a rede alimentando o consumidor na ausência da rede elétrica .....	24
Figura 23 - Mapa da Cidade Universitária Paulo VI.....	25
Figura 24 - Banco de Dados (SunData) do portal da CRESESB .....	27
Figura 25 - Carta solar de São Luís .....	28
Figura 26 - Classificação do Inmetro para módulos fotovoltaicos .....	29
Figura 27 - Cobertura modular com suporte fotovoltaico .....	30
Figura 28 - Sistema Nacional de Pesquisa de Preços e Índices.....	31
Figura 29 - Esquema de ligação série-paralelo de módulos fotovoltaicos .....	34
Figura 30 - Demarcação de regiões de análise .....	37
Figura 31 - Rota de transporte público no campus .....	38
Figura 32 - Rota da passarela de pedestres .....	39
Figura 33 - Vista lateral de um módulo com chapa de ligação .....	40
Figura 34 - Encaixe das chapas de policarbonato .....	41
Figura 35 - Dimensões técnicas do módulo solar.....	44
Figura 36 - Esquema de ligação do subgrupo ao inversor .....	46
Figura 37 - Esquema para ligação de um inversor .....	46
Figura 38 - Informações do SunData para a estação de São Luís .....	50
Figura 39 - Proposta de roteiro complementar .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação do custo de implantação de usinas de geração de energia	12
Tabela 2 - Comparação econômica entre módulos solares.....	31
Tabela 3 - Consumo energético mensal do campus .....	35
Tabela 4 - Quantificação de edifícios por região .....	38
Tabela 5 - Comparação de custo e eficiência dos painéis.....	42
Tabela 6 - Especificações técnicas do módulo solar .....	43
Tabela 7 - Especificações técnicas do inversor.....	45
Tabela 8 - Custo de implantação de um módulo .....	47
Tabela 9 - Custo de implantação das chapas de policarbonato .....	48
Tabela 10 - Custo de aquisição dos painéis solares .....	48
Tabela 11 - Custo de aquisição dos inversores.....	49
Tabela 12 - Custo de aquisição da fiação elétrica .....	49
Tabela 13 - Porcentagem de perdas .....	50
Tabela 14 - Tarifas aplicadas nos meses de janeiro, março, maio, julho e setembro .....	51
Tabela 15 - Custo evitado por ano .....	52
Tabela 16 – Cálculo do custo de consumo e geração simples .....	52
Tabela 17 - Custo do custo de consumo e de geração descontado .....	53
Tabela 18 - Viabilidade econômica da estrutura.....	54
Tabela 19 - Custo total do trecho opcional .....	55
Tabela 20 - Tempo de retorno do investimento descontado para os trechos .....	56
Tabela 21 - Comparação do tempo de retorno simples.....	57
Tabela 22 - Comparação do tempo de retorno descontado .....	57
Tabela 23 - Comparação dos resultados do EPBT .....	58

## LISTA DE SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CC – Corrente Contínua

CA – Corrente Alternada

EPBT – *Energy Pay Back Time*

EPDM – *Ethylene propylene diene methylene rubber*

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

IEA – International Energy Agency

MME – Ministério de Minas e Energia

UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

## LISTA DE SIMBOLOS

% – Partes percentuais

A – Ampere

Hz – Hertz

kW – Quilowatt

MW – Megawatt

km – Quilômetro

kWh – Quilowatt-hora

m – Metro

m<sup>2</sup> – Metro quadrado

Mtoe – Milhões de toneladas equivalentes de petróleo

MW – Megawatt

R\$ – Reais Brasileiros

V – Volts

W – Watt

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1. Objetivos</b> .....	2
1.1.1. Objetivo geral .....	2
1.1.2. Objetivos específicos .....	2
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
<b>2.1. O crescimento do consumo energético</b> .....	3
<b>2.2. A situação energética no Brasil</b> .....	4
2.2.1. O problema da fonte hídrica .....	6
2.2.2. As alternativas renováveis no brasil .....	8
2.2.3. O crescimento da energia eólica .....	9
2.2.4. A alternativa da energia solar .....	10
2.2.5. A colisão dos custos de implantação.....	11
<b>2.3. A classificação da tecnologia</b> .....	13
2.3.1. Energia solar térmica .....	13
2.3.2. Energia solar fotovoltaica .....	14
<b>2.4. Os tipos de painéis</b> .....	15
2.4.1. Silício monocristalino.....	16
2.4.2. Silício policristalino .....	17
2.4.3. Filmes finos .....	18
2.4.4. Painel híbrido .....	19
<b>2.5. O sistema de instalação</b> .....	20
2.5.1. Sistema isolado.....	20
2.5.2. Sistema conectado à rede.....	21
<b>2.6. A necessidade do inversor</b> .....	22
2.6.1. Inversor de onda quadrada e onda senoidal modificada .....	23

2.6.2. Inversor PWM de onda senoidal pura .....	23
2.6.3. Inversores interativos com a rede.....	24
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1. Definição do traçado do sistema .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2. Local de instalação .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3. Sistema fotovoltaico adotado .....</b>	<b>28</b>
3.3.1. Escolha dos painéis .....	28
<b>3.4. Cálculo do custo de implantação da passarela .....</b>	<b>29</b>
3.4.1. Análise da estrutura .....	29
3.4.2. Cálculo do custo da estrutura metálica.....	30
3.4.3. Cálculo do custo do sistema fotovoltaico.....	31
<b>3.5. Avaliação da geração de energia ao campus.....</b>	<b>32</b>
3.5.1. Associação de células.....	33
3.5.2. Dimensionamento dos inversores .....	34
<b>3.6. Consumo energético da cidade universitária .....</b>	<b>35</b>
<b>3.7. Tempo de retorno do investimento.....</b>	<b>35</b>
<b>4. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1. Definição do traçado do sistema .....</b>	<b>37</b>
4.1.1. Levantamento das edificações .....	37
4.1.2. Definição de rotas .....	38
4.1.3. Possibilidade de sombreamento .....	39
<b>4.2. Dimensionamento da estrutura de suporte.....</b>	<b>40</b>
<b>4.3. Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos .....</b>	<b>41</b>
4.3.1. Escolha do tipo de painel .....	42
4.3.2. Dimensionamento do número de módulos .....	43
4.3.3. Dimensionamento dos inversores .....	44
4.3.4. Dimensionamento da fiação .....	46

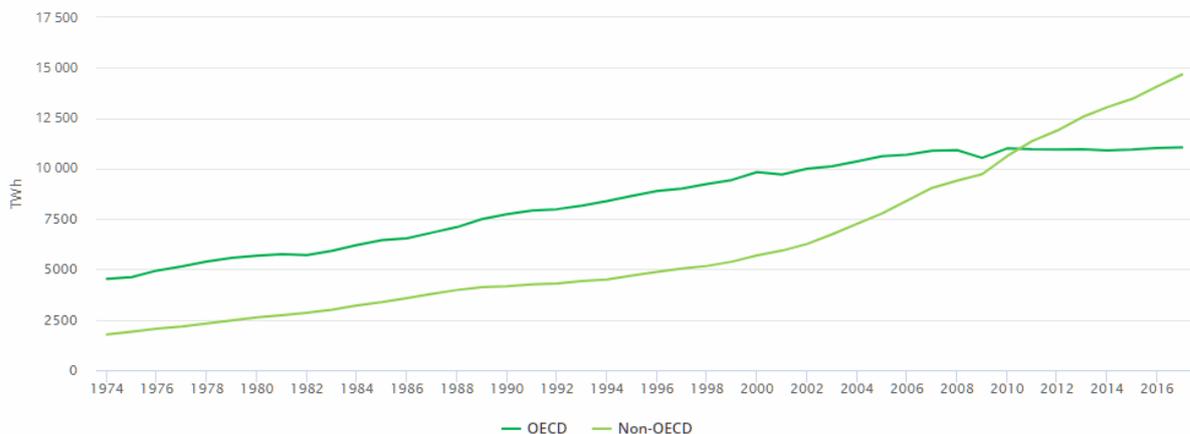
<b>4.4. Cálculo do custo de implantação da passarela .....</b>	<b>47</b>
<b>4.5. Cálculo do custo de implantação do sistema fotovoltaico .....</b>	<b>48</b>
<b>4.6. Avaliação da geração de energia ao campus.....</b>	<b>49</b>
<b>4.7. Tempo de retorno do investimento.....</b>	<b>51</b>
<b>4.8. Possibilidade de novas instalações .....</b>	<b>54</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>5.1. Sugestões para futuros trabalhos .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO A – ORÇAMENTO REALIZADO COM A EMPRESA EMBRAFER.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO B – ORÇAMENTO REALIZADO COM A EMPRESA MEMPS.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO C – ORÇAMENTO REALIZADO COM A EMPRESA PROSFERRO .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO D – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL SOLAR.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO E – EXEMPLO DE DETALHAMENTO DA FATURA DE ENERGIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO (REF. 09/2019) .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO F – PROJETOS DA ESTRUTURA METÁLICA USADA PARA ORÇAMENTO .....</b>	<b>70</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda e consumo de energia decorre do progresso tecnológico que acompanhou o desenvolvimento da humanidade nos últimos séculos. Essa alteração no estilo de vida da raça humana tem gerado comprovadamente alterações climáticas que foram observadas e descritas pela comunidade científica nos últimos anos, dentre elas, a possibilidade de redução da oferta de combustíveis convencionais que, juntamente com a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente, impulsionou a comunidade a pesquisar e desenvolver formas alternativas de energia para abastecer a demanda.

O Brasil, por sua vez, sempre foi elogiado por suas medidas incentivadoras do uso de recursos renováveis para produção de energia que atualmente provém, em sua maioria, de usinas hidrelétricas, principal fonte geradora do país. Esse tipo de fonte foi, por muito, considerada renovável e limpa, mas esse conceito é questionado por estudiosos visto que o alagamento de grandes áreas cultiváveis gera uma alteração na fauna e flora do local, os custos de implantação, manutenção e operação são onerosos a união e há a necessidade de estudos para avaliação de boa localização para implantação da tecnologia. Assim é possível notar, com a figura 1, que o total bruto de eletricidade produzida no mundo está em crescimento constante e são necessários estudos para evitar o déficit energético.

Figura 1 - Total bruto de eletricidade produzida



Fonte: International Energy Agency (2017).

Com a demanda ainda crescente, existiram medidas governamentais usadas para acelerar o programa nuclear brasileiro a fim de se suprir o déficit na distribuição fazendo uso da grande reserva de urânio. Esse programa foi amplamente criticado pela sociedade civil em

razão do questionamento sobre riscos associados e ao problema dos rejeitos radioativos gerados (PEREIRA, 2006).

Por isso, é necessário se pensar em um crescimento da oferta de energia de forma consciente, a fim de desenvolver a sociedade no âmbito econômico, social e ambiental (SHAYANI, 2006).

É possível simpatizar com tal crítica quando se olha para a capacidade do Brasil de produzir energia oriunda de fontes alternativas. Esse tipo de instalação vem crescendo no mundo devido à queda de preço ao longo dos anos, que garantem o acesso da população a esse tipo de tecnologia. Assim, no país, criou-se o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica através do Ministério de Minas e Energia.

## **1.1. Objetivos**

### 1.1.1. Objetivo geral

Avaliar a implantação de uma passarela de pedestres interligando os prédios do campus utilizando energia fotovoltaica na cobertura.

### 1.1.2. Objetivos específicos

1. Definir o roteiro da passarela de pedestres no campus;
2. Dimensionar os painéis de acordo com a quantidade;
3. Verificar capacidade de suporte da estrutura para os painéis;
4. Calcular geração de energia do sistema;
5. Estimar custos de implantação da passarela;
5. Avaliar a economia gerada ao campus.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

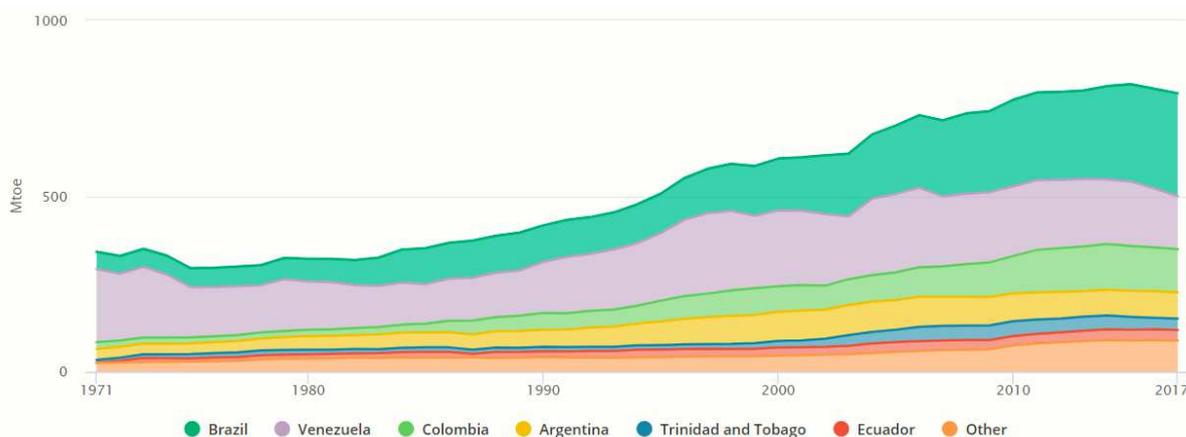
### 2.1. O crescimento do consumo energético

Ao longo dos anos a energia vem se tornando essencial na vida de qualquer humano, seja para iluminar suas casas, preparar seus alimentos ou ainda para lazer. Essa necessidade se torna evidente quando comparamos o crescimento do total de energia produzida ao longo dos anos, desde que a Agência Internacional de Eletricidade (IEA) iniciou a contagem desses dados em 1971.

Com esse aumento da produção constante, são necessárias mais estruturas capazes de gerar energia a fim de evitar um déficit na geração de energia e interromper o fornecimento adequado para a população mundial. Para tal, cada país adotou políticas diversas para implantação do seu plano energético.

O Brasil, por si só, é responsável por 36,9% de toda a produção energética na América do Sul provenientes de países não-participantes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), atingindo um pico máximo de 277 milhões de toneladas equivalentes de petróleo de acordo com a IEA. A figura 2 mostra a produção energética por país, crescente ao longo dos anos e sem nenhum tipo de sinal para um decréscimo nos anos seguintes.

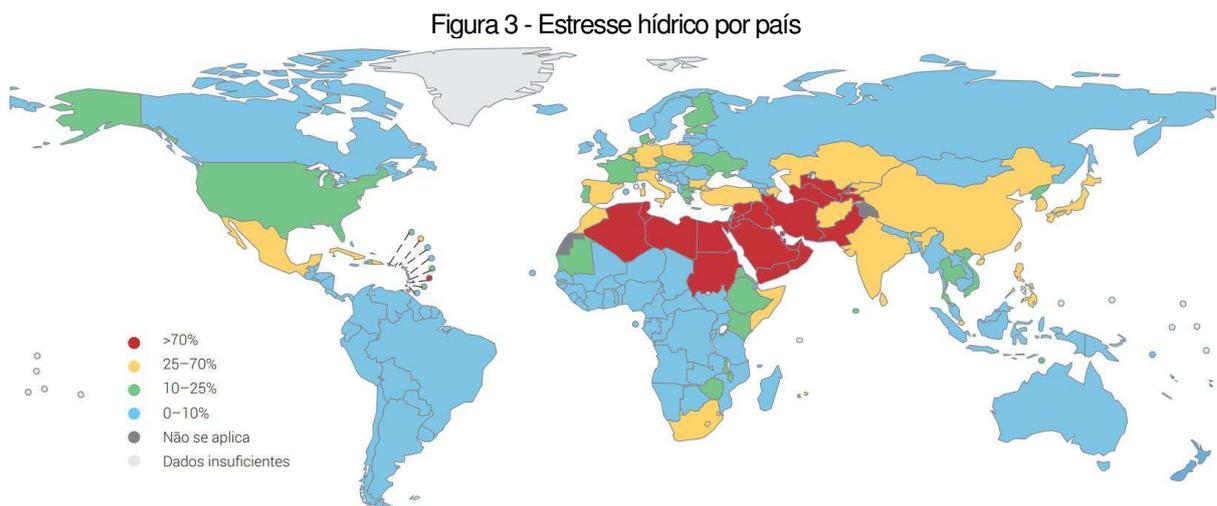
Figura 2 - Produção energética por país



Fonte: International Energy Agency (2017).

É constantemente alertado pela Organização das Nações Unidas (ONU) que o gás carbônico afeta diretamente o clima no planeta favorecendo o aquecimento global, com o derretimento das calotas polares e a descoloração dos recifes de corais, além de redução na biodiversidade, diminuição da capacidade de safra e aumento no estresse hídrico, que se conceitua como a dificuldade em obtenção de água própria para consumo humano (RIBEIRO,

2011), o que agrava diretamente a economia e a produção de energia no nosso país. Isso direciona as atenções a imprudência da região que é responsável pela maior região florestal do mundo. Esse fator é agravado através da publicação da IEA em 2019, que mostrou um aumento na geração proveniente de carvão e óleo maior em 2018 em comparação com o crescimento registrado em 2017, devido ao crescimento na produção energética de países não participantes da OCDE. A figura 3 mostra que mesmo em países desenvolvidos o estresse hídrico é um problema, sendo necessárias soluções mais onerosas para a solução do problema.



Fonte: Organização das Nações Unidas, via dados do AquaSat (2018).

O carvão mineral, o gás natural e o petróleo são as fontes de energia mais usadas no mundo, de acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME) através da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), sendo responsável por 66% do consumo global e 68% da produção energética. A queima desse tipo de combustível é altamente poluente e é um dos principais responsáveis pelas mudanças climáticas.

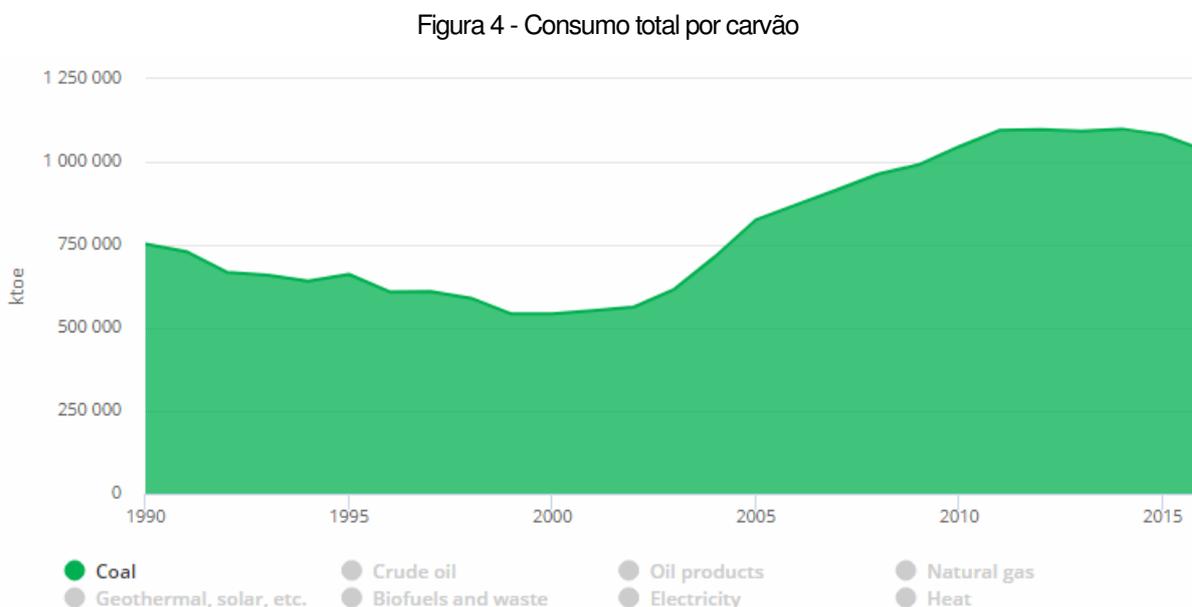
Esse tipo de problema fez com que o mundo, que já passa pelos problemas ambientais citados no parágrafo anterior há anos, voltasse seus estudos às fontes alternativas de energia provenientes de biomassa, vento, incidência solar, variação das marés, entre outras.

## 2.2. A situação energética no Brasil

No Brasil, as fontes fósseis representam cerca de 58% do consumo energético e teve uma participação de 23% da geração de eletricidade. Além disso, de acordo com o Plano

Decenal de Energia para 2024, 70% dos investimentos serão voltados para esse tipo de combustível.

Falando do carvão por si só, fonte da energia gerada pelas termelétricas, esse combustível é responsável por 46% das emissões globais de acordo com o MME e registrou sua queda, em 2015, pela primeira vez na história, decorrente das mudanças no plano energético da China, visando a diminuição dos poluentes. Analisando dados mostrados pela IEA, é possível ver que o abandono do carvão já é uma realidade, gráficos acusam que desde o uso desse combustível vem sendo descartado pelas nações ao longo dos anos e seus investimentos, muitas vezes, são voltados para fontes renováveis de energia. A figura 4 apresenta o consumo total por carvão em todo o mundo, que, apesar dos esforços, continua em crescimento.



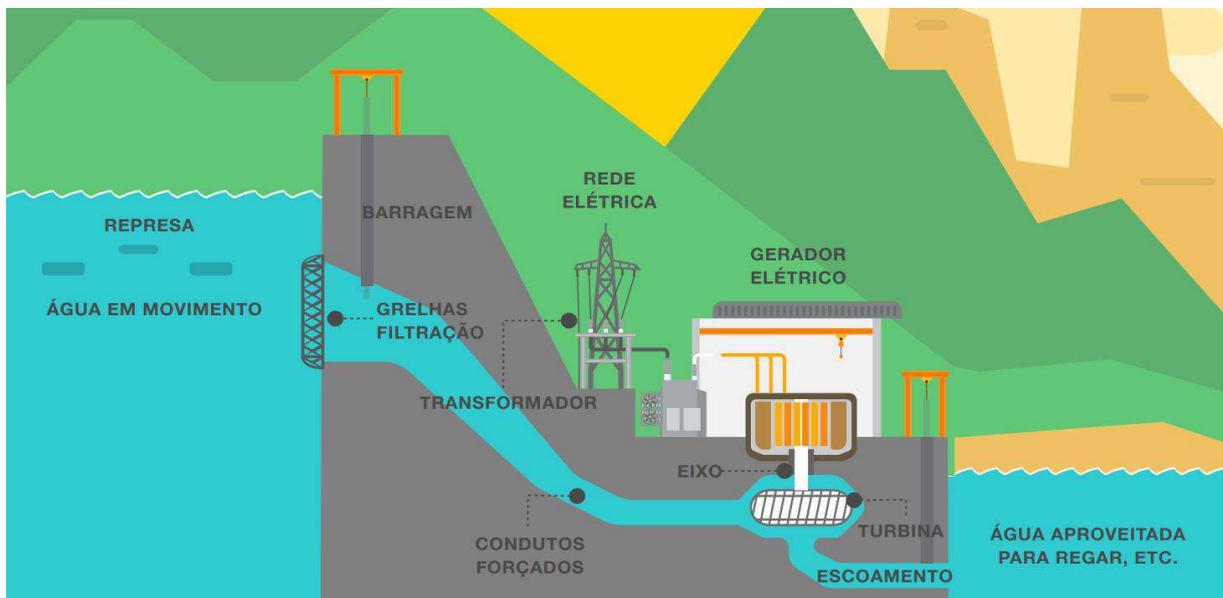
Fonte: International Energy Agency (2016).

No Brasil, a ANEEL estima que 80,6% da geração total de energia seja proveniente de energia renovável, gerando 119,4 GW de potência instalada e fiscalizada proveniente de 2.194 usinas em operação, enquanto as fontes não renováveis compõem seus 19,4% gerando 28,8 GW com 2.400 usinas operantes. Dentre essas fontes, a biomassa contribui com 9,45% sendo usada em termelétricas, a eólica com 6,51% responsável pelos grandes centros de produção eólica, que já recebem contínuos investimentos, e trazem o Brasil para a posição de quarto maior em expansão dessa fonte, a energia solar, por sua vez, vem ganhando destaque por meio do sistema de geração pontual de energia, proveniente de residências e comércios.

### 2.2.1. O problema da fonte hídrica

Para driblar esses problemas, o Brasil adotou um sistema voltado diretamente para a geração de energia proveniente de hidrelétricas, devido ao tamanho continental do país que tem diversos rios a disposição com alta coluna d'água e declividade favorável para instalação desse tipo de tecnologia, e assim, o Brasil se tornou um dos primeiros países a ter mais da metade da sua energia de fonte renovável com energia proveniente de fonte hídrica durante todo o ano. Mas com o passar do tempo, foi avaliado que a fonte energética pode ser limpa, mas a construção dos componentes necessários para sua operação, geram grande impactos ao meio ambiente e a economia do país. Para explicar o funcionamento desse tipo de tecnologia diversos esquemas já foram montados, como apresenta a figura 5.

Figura 5 - Funcionamento de uma usina hidrelétrica



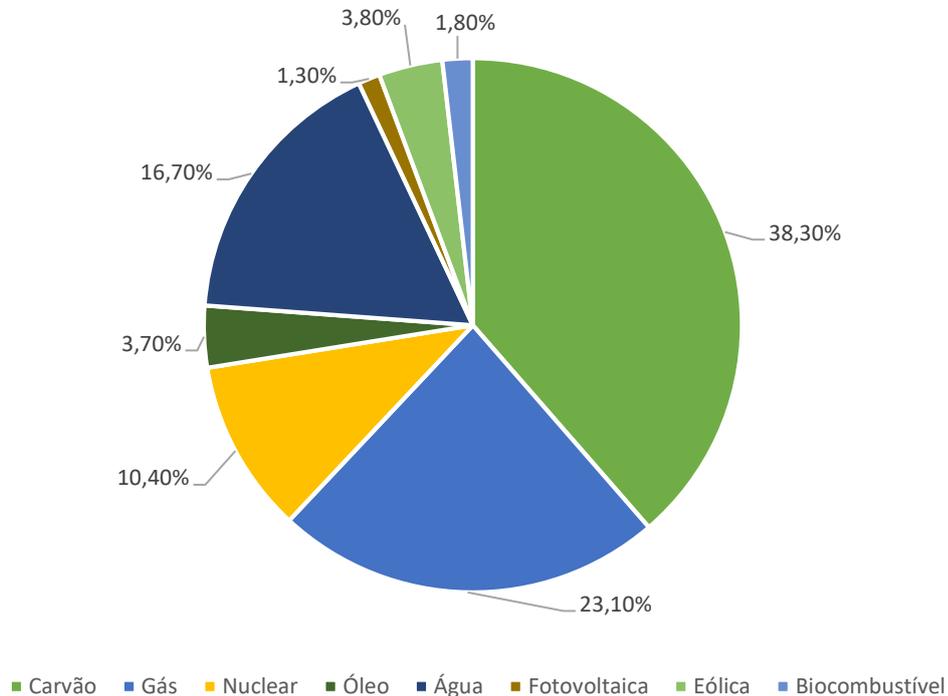
Fonte: Iberdrola (2019?).

A geração de energia por trás desse tipo de usina se dá pelo confinamento de grandes quantidades de água que atravessam condutos forçados após passar por um sistema de filtração, fazendo com que essa água chegue a turbinas impulsionando as palhetas da turbina e criando uma movimentação e consequentemente uma geração de energia através de força mecânica que será, posteriormente, transmitido a rede elétrica.

Entendendo o seu funcionamento, é de fácil visualização o motivo pelo qual é uma tecnologia de grande força no nosso país, aparentemente, não há desvantagens além do custo dela, informação que, após anos de estudos, foi desmentida por diversos pesquisadores da

área. Usando matriz energética mundial, como mostra a foto abaixo, podemos notar o quando esse tipo de tecnologia ainda está entre as mais utilizadas no planeta, como pode ser evidenciado pela figura 6.

Figura 6 - Parcela na geração de energia por fonte no mundo



Fonte: International Energy Agency (2016).

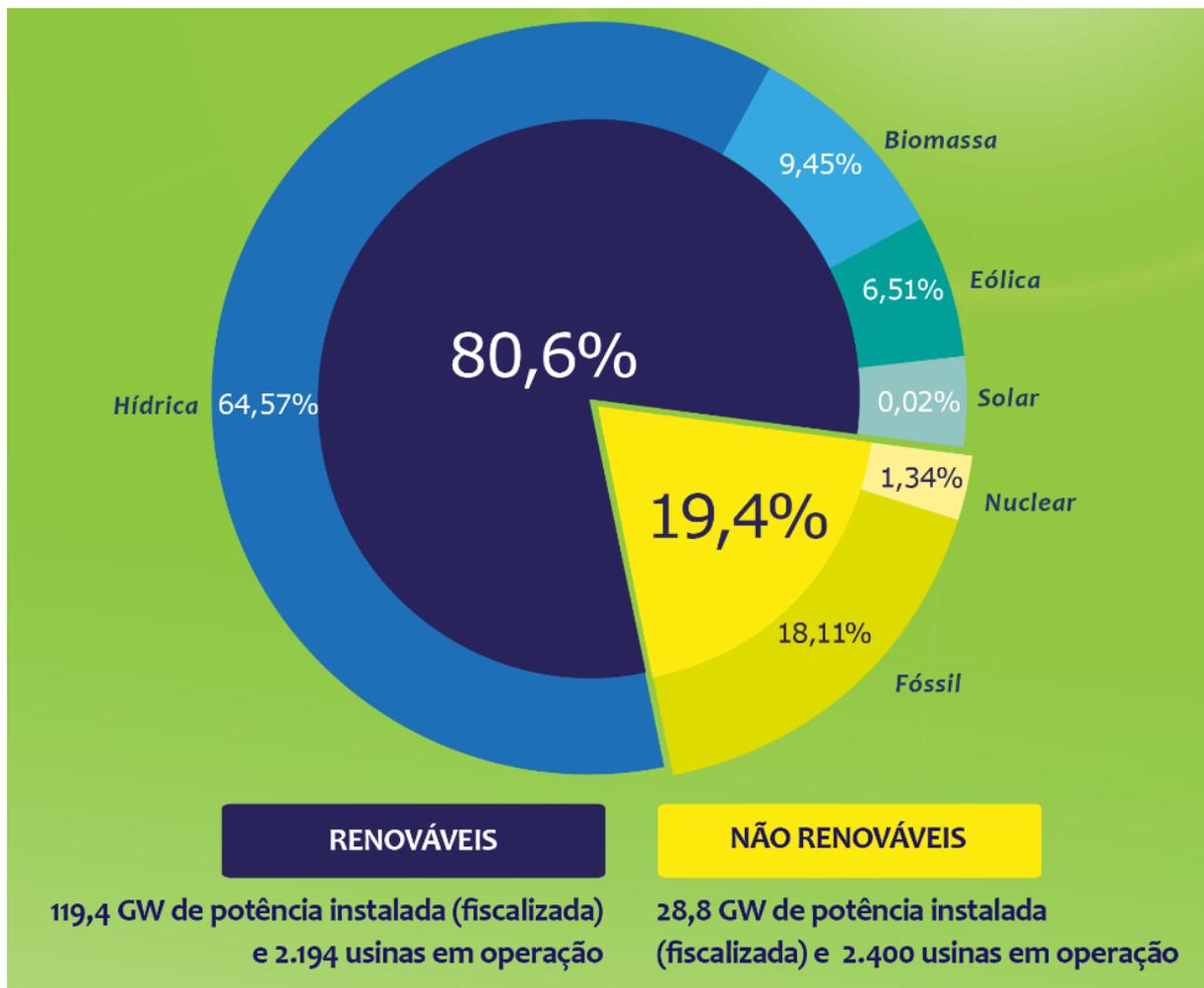
Esse tipo de sistema representa 16,70% de acordo com a distribuição de energia de acordo com levantamentos da Agência Internacional de Energia, e esse tipo de tecnologia continua a crescer no mundo enquanto essa realidade não se repete no Brasil, onde a geração de energia proveniente de fonte hídrica é responsável por 64,57% da produção.

Por mais que esse sistema seja responsável por grande parte da produção energética mundial, como aponta Mari Junior (2013), elas têm um grande custo de implantação e desativação, o que fazem que essas usinas sejam alvo de muitos estudos prévios, visto que o erro durante essa etapa pode gerar prejuízos. O autor ainda aponta aos impactos graves ao meio ambiente, mostrando que o mesmo pode infligir danos a fauna e a flora além de ser possível a necessidade de realocação de populações inteiras e, ainda, a dificuldade que se tem em encontrar ponto onde exista características geográficas favoráveis, proveniente de uma menor área impactada e um curso hídrico de grande potencial, característica normalmente priorizada pelos investimentos.

### 2.2.2. As alternativas renováveis no Brasil

O Brasil é um país continental de clima predominantemente tropical e, por isso, têm um potencial imenso para implantação de tecnologias renováveis, hoje, as fontes de energia do país são, em sua maioria, hídricas, com participação mínima de energias limpas e uma parte preocupante de usinas que fazem uso de recursos não-renováveis por diversas usinas em operação, como mostra a figura 7, onde é possível notar diversos pontos positivos e negativos da nossa matriz energética.

Figura 7 - Parcela na geração de energia no Brasil por fonte

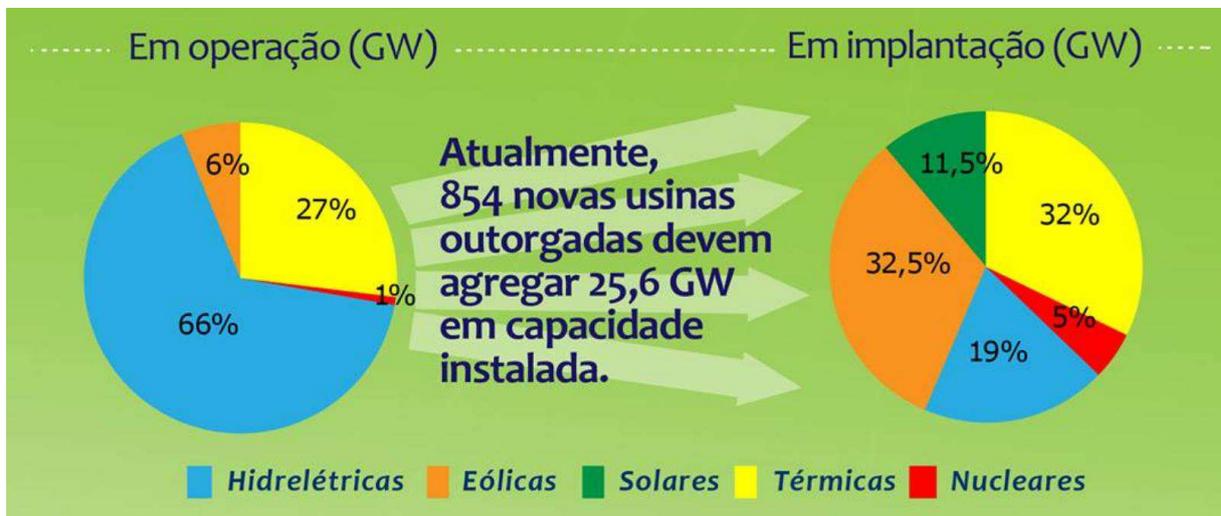


Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2016).

A ANEEL fez uma estimativa do crescimento da implantação de energia renovável no Brasil e chegou à conclusão de que em 2016, estimava-se chegar em 150 GW de potência instalada e que o panorama energético do país poderia ser alterado completamente se as

usinas outorgadas entrarem em operação, dando mais espaço para diversos tipos de tecnologia. De acordo com o gráfico apresentado pela ANEEL na figura 8, podemos notar que o Brasil é capaz de mudar drasticamente sua matriz energética, se tornando referência em energia renovável.

Figura 8 - Projeção energética do Brasil



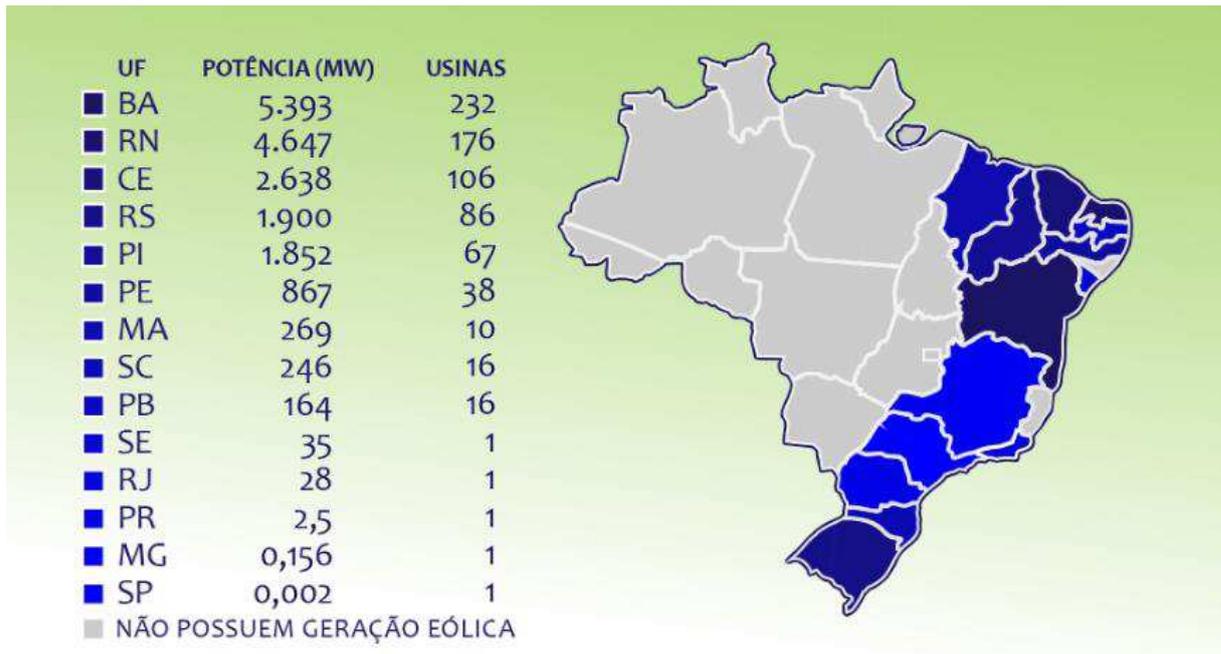
Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2016).

Esse tipo de estudo aponta para diversos pontos importantes, como a diminuição da participação de hidrelétricas no cenário, a preocupação o crescimento de energias com impactos ambientais de diferentes formas e, ainda, a aparição da energia solar nos gráficos nacionais.

### 2.2.3. O crescimento da energia eólica

Como apontado na figura anterior, a energia eólica deve passar a ser a energia de maior representatividade dentre as renováveis, isso é esperado visto que atualmente essa tecnologia responde por mais de 6,5% da produção total do país, com mais de 400 usinas em operação e já ultrapassa os 10 GW de produção, crescendo mais de 2 GW por ano desde 2014, o que coloca o Brasil como oitavo maior do mundo em geração eólica e o quarto em expansão. Isso mostra que não só o Brasil já percebeu o potencial para tal tecnologia como também já iniciou as operações com investimento e implantação de parques eólicos. Assim a ANEEL coletou informações até 2016 para obter os dados e realizar o mapa de calor exibido na figura 9 que mostra a participação da energia eólica nos estados brasileiros.

Figura 9 - Participação da energia eólica nos estados



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2016).

#### 2.2.4. A alternativa da energia solar

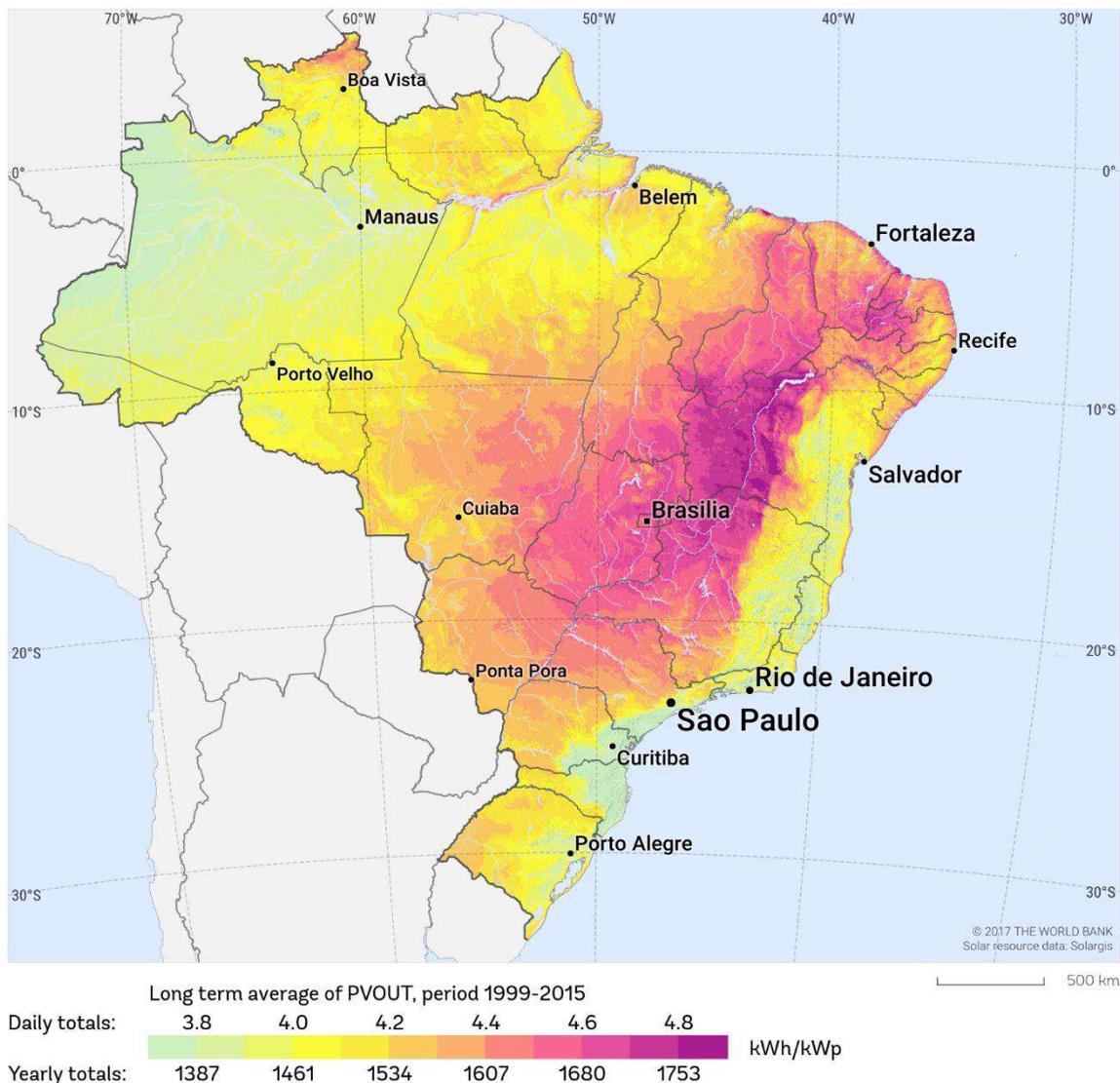
A energia solar tem um panorama de menor expressividade em geração energética mais muito similar. A diferença consiste em que em 2012 a Resolução ANEEL número 482 permitiu ao consumidor gerar sua própria energia elétrica (através de fontes renováveis ou cogeração qualificada) e fornecer o excedente para a rede de distribuição e em 2016, novas regras foram implementadas a fim de reduzir o tempo e o custo de implantação e aumentar o número de consumidores que podem aderir ao sistema o que fez com que a energia solar passasse a crescer mais de mil conexões por ano chegando a 60.895 kW de geração distribuída até novembro de 2016, de acordo com os dados da ANEEL, com uma flexibilidade não proporcionada pelos parques eólicos.

Ainda, para incentivar o sistema, diversos estados implementaram um Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) diferenciado para quem usa esse tipo de conexão, cobrando apenas pela diferença positiva entre o consumo entregue pela rede e a energia gerada pelo consumidor, o mesmo já vale, em todo o país, para a cobrança do Programa de Integração Social (PIS) e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), conforme a lei 13.169 do ano de 2015.

Ainda podemos abordar que o Atlas Solar Global elaborado pela SOLARGIS (2017) aponta a região centro-oeste, interior do nordeste e norte do nordeste como pontos de grande potencial energético para implantação de energia fotovoltaica e isso se dá devido a boa

irradiação solar nessas regiões que varia entre 4,55 e 5,95 kWh/m<sup>2</sup>.dia como aponta o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) o que vai fazer com que as placa aproveitem parte dessa irradiação para transformar em energia elétrica. Trazendo o mapa do potencial fotovoltaico do Brasil na figura 10, podemos notar que toda a região brasileira é capaz de obter bons resultados com energia solar fotovoltaica, apontando destaque para a região central e para o litoral nordestino.

Figura 10 - Potencial fotovoltaico do Brasil



Fonte: Solargis (2017).

### 2.2.5. A colisão dos custos de implantação

Para que uma tecnologia seja desenvolvida é necessário que ela seja atrativa aos investidores assim como aos consumidores. Quando falamos de energia de forma generalista,

percebemos que o custo de energias renováveis ainda é considerado alto, o que dificulta o direcionamento de recursos para ela, especialmente quando a taxa de juros é elevada.

Se compararmos os valores típicos de implantação para usinas geradoras de acordo com o custo de implantação publicado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e pela Companhia Energética de São Paulo (CESP) é possível notar o principal problema do uso da energia solar fotovoltaica. Mesmo que o custo de implantação esteja em queda de aproximadamente 1 U\$/W ao ano como aponta Hegedus e Okuro (2005), o custo ainda é muito elevado se comparado com outras tecnologias. A tabela 1, divulgada pela ANEEL em 2006 leva à comparação dos custos de implantação de diversas tecnologias.

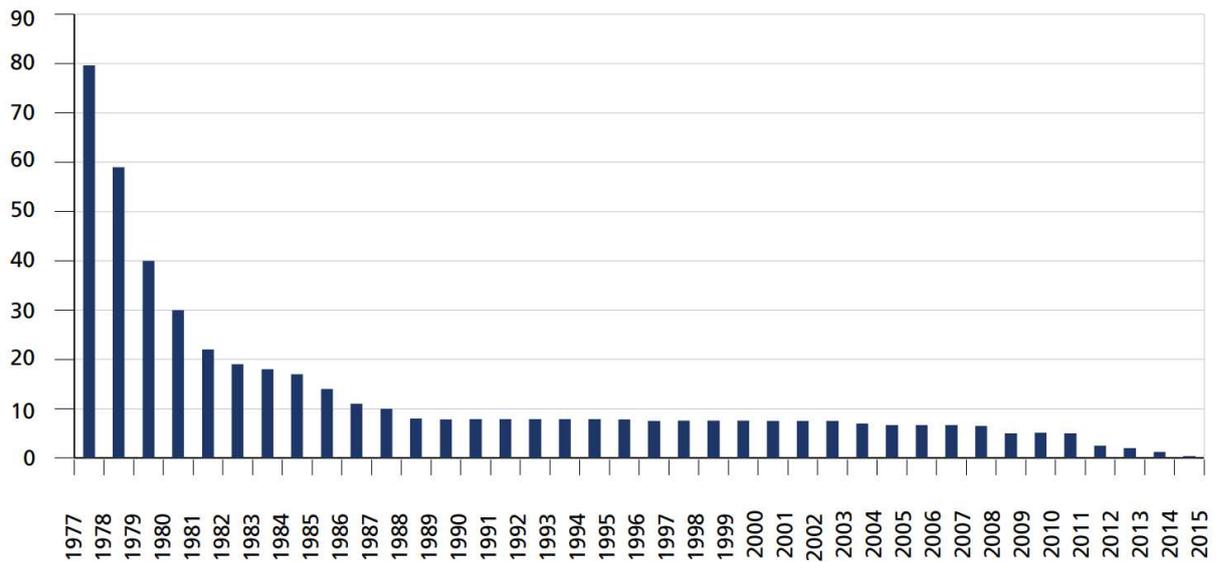
Tabela 1 - Comparação do custo de implantação de usinas de geração de energia

Tipo de Geração	Custo de implantação ANEEL [U\$/W]	Custo de implantação CESP/IMT [U\$/W]
Termelétrica a Diesel	0,40 à 0,50	0,35 à 0,50
Termelétrica a gás	0,40 à 0,65	0,35 à 0,50
Termelétrica a vapor	0,80 à 1,00	-
Termelétrica ciclo combinado	0,80 à 1,00	-
Pequenas centrais hidrelétricas	1,00	-
Geração eólica	1,20 à 1,50	1,00
Células fotovoltaicas	-	5,00 à 10,00

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2006).

Mas esta conta, de acordo com Shayani (2006), não leva em consideração aspectos importantes, pois não inclui o combustível das usinas térmicas e nem o valor gasto com manutenção e operação, valores praticamente inexistentes na tecnologia solar fotovoltaica. Além da implantação, que usinas hidrelétricas podem demorar anos para sua construção e não tem sua capacidade máxima de produção de imediato, necessitando de mais tempo para início da operação das unidades geradoras, enquanto energia solar fotovoltaica tem instalação facilitada, opera em sua capacidade máxima com uma queda de rendimento prevista ao longo dos anos e praticamente não necessita de manutenção ao longo de sua vida útil, que gira próximo dos 25 anos para os módulos solares e 10 anos para os inversores de acordo com os fabricantes. A figura 11 mostrada abaixo aponta o decaimento dos custos da tecnologia ao longo dos anos.

Figura 11 - Histórico dos preços de células de silício



Fonte: Diamandis (2014).

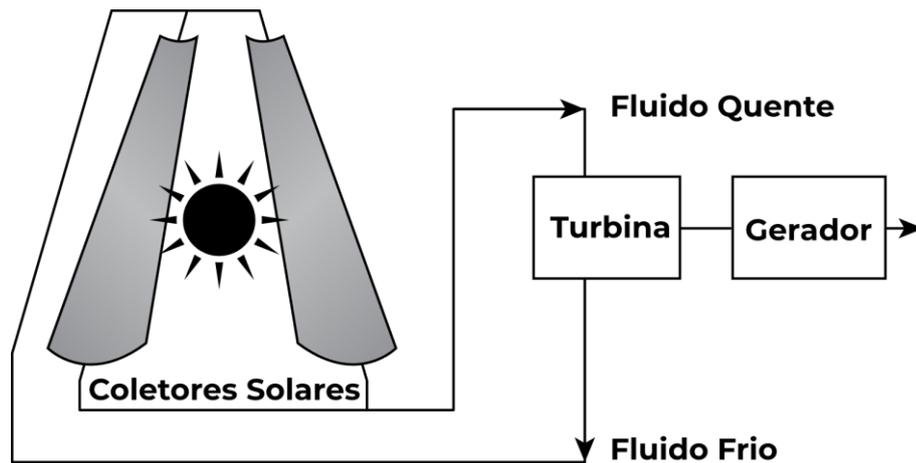
Se considerarmos ainda, que da apresentação dos dados de comparação, realizados em 2006 para um cenário mais recente, nós ainda tivemos quedas, ainda mais acentuadas dos componentes de fabricação da tecnologia, cujo preço de fabricação do silício, um dos principais componentes dos módulos solares, caiu de 76,67 dólares em 1977 para 0,36 dólares em 2014, assim, podemos afirmar que ela têm se tornado cada vez mais interessante e, dependendo do sistema, pode ser um investimento positivo com um tempo de retorno que permita a sua renovação.

## 2.3. A classificação da tecnologia

### 2.3.1. Energia solar térmica

Dentre os diversos tipos de tecnologia, temos a energia solar térmica (ou heliotérmica) que utiliza do calor do sol para produção de energia elétrica. Esse tipo de sistema é mundialmente difundido como um método de aquecimento de água limpa e eficiente, poupando outros recursos como eletricidade, gás e o carvão, mas também existem exemplos de geração de energia elétrica com o uso desse tipo de energia. O funcionamento dele se dá a partir do calor do sol que é levado até uma central geradora, onde vai gerar vapor e acionar uma turbina acoplada a um gerador elétrico. O esquema apresentado na figura 12 ilustra essa tecnologia similar a um radiador, onde o sol usa coletores para aquecer um fluido que passa por uma turbina que faz a geração de energia, o fluido, com a troca de calor, é resfriado e retorna ao início do sistema.

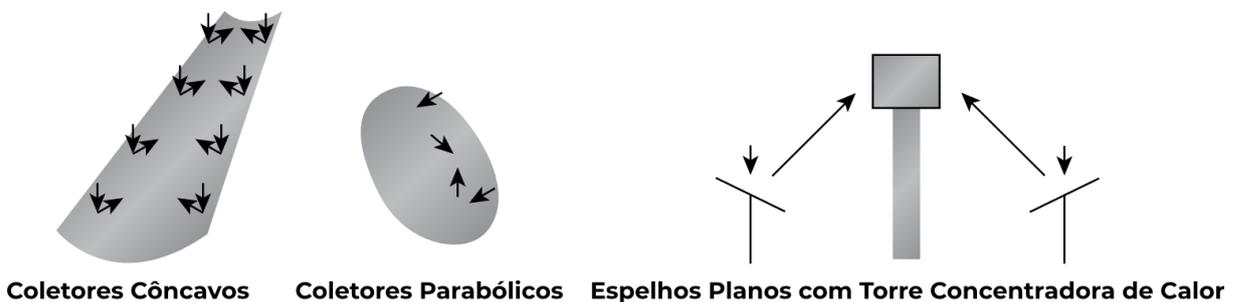
Figura 12 - Resumo de funcionamento da energia solar térmica



Fonte: Villalva (2015).

Existem diversos tipos de usinas solares térmicas, de acordo com o sistema de captação e concentração. Os coletores côncavos refletem o calor do sol e o concentram em uma tubulação, espelhos parabólicos concentram em um ponto central, onde é instalada uma cápsula térmica, e ainda existe um sistema baseado em espelhos planos, posicionados a fim de refletir o calor do sol para uma torre concentradora de calor. O sistema côncavo opera entre 100 e 400°C, enquanto os demais superam os 400°C (VILLALVA, 2015). Todas as tecnologias mostradas de forma esquemática no livro escrito por Villalva (2017) como mostra a figura 13.

Figura 13 - Tipos de energia solar térmica



Fonte: Villalva (2015).

### 2.3.2. Energia solar fotovoltaica

Outra forma de produção de energia se dá pelo efeito fotovoltaico. De forma simplificada, esse efeito começa quando um fóton atinge um elétron da camada de valência de um átomo (por exemplo, um átomo de silício) e recebe a energia com a qual o fóton viajou, caso essa energia seja superior a força de atração com o núcleo o átomo, o elétron se desprende e pode viajar livremente pelo material, tendo se tornado um condutor. Esses

elétrons partem em busca de um espaço até que ele se encaixa em outro átomo que também teve um elétron liberado, o que ocorre em escala, gerando o que chamamos de cargas elétricas. Esta corrente pode alcançar os contatos e deixar o material, para que isso aconteça de forma controlada e constante, é necessário a existência de um campo elétrico de polaridade constante que polariza as partículas e atua como uma “bomba” impulsionando os elétrons em uma direção e os espaços no sentido oposto, como mostra o portal Energia Solar (2017).

Diferente dos sistemas térmicos, que usam a energia solar para aquecimento ou para produzir energia a partir desse aquecimento, os painéis fotovoltaicos têm a capacidade de captar diretamente a luz do sol para produção de eletricidade. É coletada e processada por dispositivos controladores e inversores e podem ser utilizadas tanto via armazenamento em baterias, quando em um sistema conectado diretamente à rede, ainda pode ser usado com poucas unidades de placa solar, sob uma edificação qualquer ou, ainda, para a criação de um imenso parque solar com milhares de placas como mostra a figura 14, que consiste numa fotografia do parque solar de Nova Olinda, localizada em Ribeira do Piauí, no estado do Piauí, possuindo 930 mil painéis espalhados por 690 hectares, sistema que está em operação desde dezembro de 2017.

Figura 14 - Parque solar Nova Olinda



Fonte: Ciclo Vivo (2017).

## 2.4. Os tipos de painéis

Os painéis solares modernos são compostos de diversos elementos a fim de conseguir utilizar o máximo da energia captada do sol e manter a sua eficiência ao longo dos

anos. No início de nossa história, nós possuíamos módulos de baixo rendimento, em torno de 2%, e com um custo de geração elevado, cerca de R\$ 600,00/W. Hoje, já se pode encontrar facilmente estruturas que passam dos 18% de rendimento, custando R\$ 6,00/W de energia produzida, onde o cenário só tende a se tornar mais positivo (BRAGA, 2008).

#### 2.4.1. Silício monocristalino

Braga (2008) ainda aponta para os tipos de células, citando a primeira delas como a historicamente mais utilizada e a mais comercializada como conversor, pois o seu processo de fabricação é básico e bem constituído. O material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado, atingindo pureza de até 99%, o que é razoavelmente eficiente sob o ponto de vista energético, levando em consideração o custo. Porém, para que ele funcione como célula fotovoltaica, necessita de outros dispositivos semicondutores e de um grau de pureza maior, chegando à precisão de 4 casas decimais, ou seja, 99,9999%. Assim é possível obter resultados semelhantes a figura 15, onde conseguimos ver módulos praticamente homogêneos.

Figura 15 - Células de silício monocristalino



Fonte: Feijóo (2017).

Para que esse material atinja as qualidades desejadas é usado uma técnica chamada “Processo Czochralski”, descrito por Braga em seu trabalho.

O silício é fundido juntamente com uma pequena quantidade de dopante, normalmente o boro que é do tipo P. Com um fragmento do cristal devidamente orientado e sob rígido controle de temperatura, vai-se extraindo do material fundido um grande cilindro de silício monocristalino levemente dopado. Este cilindro obtido é cortado em fatias finas de aproximadamente 300 $\mu$ m.

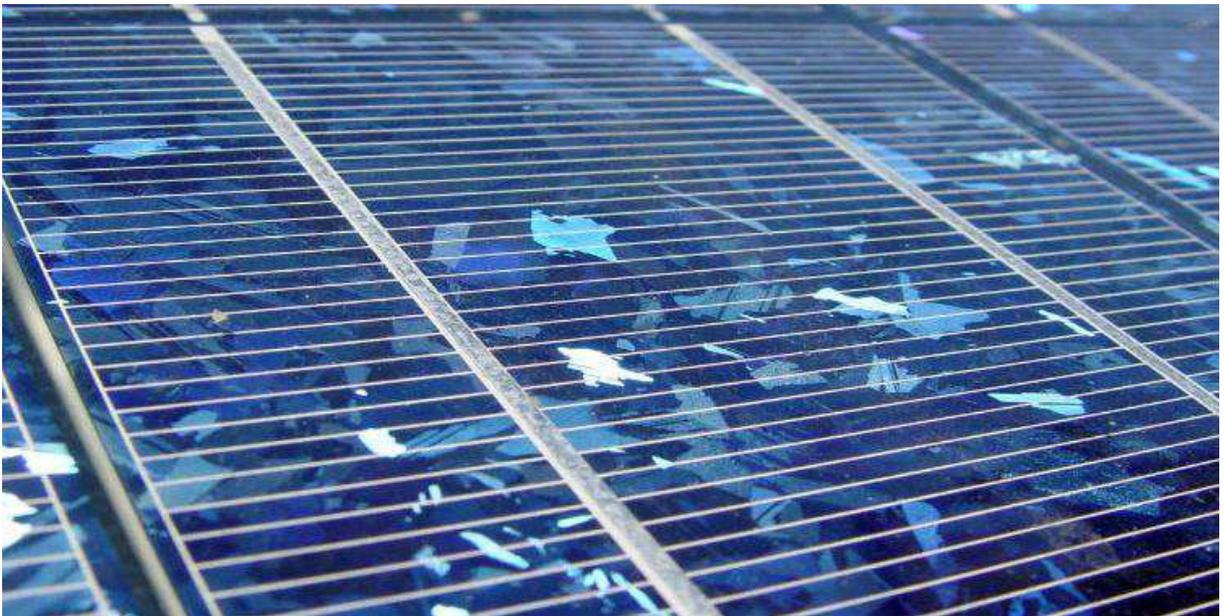
Após o corte e limpeza de impurezas das fatias, deve-se introduzir impurezas do tipo N de forma a obter a junção. Este processo é feito através da difusão controlada onde as fatias de silício são expostas a vapor de fósforo em um forno onde a temperatura varia entre 800 a 1000°C.  
(BRAGA, 2008, p. 21).

Dentre todos os tipos de células, as que possuem o silício monocristalino como material são, normalmente, as que possuem as melhores eficiências, atingindo até 15% em células comerciais e 18% em células fabricadas em laboratório.

#### 2.4.2. Silício policristalino

As células de silício policristalino são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de fabricação menos rigoroso, conseqüentemente, podemos observar um rendimento levemente pior nesse tipo de tecnologia. A figura 16 retirada do portal pplware (2017) consegue ilustrar as imperfeições do silício policristalino, assim, é possível não só entender a diferença quando comparado ao silício monocristalino, mas perceber o quão o Processo Czocharlski é uma técnica complexa e precisa.

Figura 16 - Módulo de silício policristalino



Fonte: pplware (2017).

Podem ser preparadas de diversas formas: pelo corte de um lingote, depositando um filme num substrato, tanto por transporte de vapor quanto por imersão, nesses dois últimos casos só é possível se obter silício policristalino (BRAGA, 2008). Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo tamanho, morfologia e concentração de impurezas. A eficiência teórica máxima do processo pode atingir os 27%, mas em uso comercial são encontrados produtos entre 15 e 18%.

#### 2.4.3. Filmes finos

Essa tecnologia difere das anteriores por serem fabricados através da deposição de finas camadas de silício e outros materiais sobre uma base rígida e flexível, processo que ocorre por vaporização ou através de outros métodos, onde pequenas parcelas de matéria sejam empregadas na fabricação de módulos evitando desperdícios que ocorre na serragem dos *wafers* cristalinos. As temperaturas necessárias para a fabricação desse tipo de tecnologia giram em torno dos 200 a 500°C, valores muito abaixo dos necessários para fabricação dos outros tipos, consomem menos matéria prima, tem um custo muito mais acessível podendo ser produzido em qualquer dimensão (VILLALVA, 2017). A figura 17, através do portal Der ENERGIE, mostra a flexibilidade de módulos solares de filme fino, podendo encaixar em diversas posições e tamanhos, além de conseguir dar uma estética mais harmônica para as edificações com esse sistema.

Figura 17 - Módulo solar de filme fino



Fonte: Der ENERGIE (2015?).

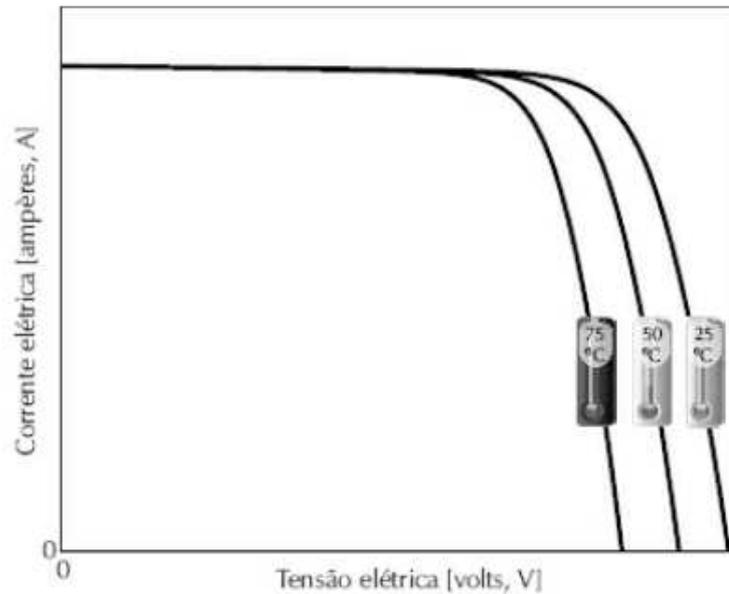
As vantagens dos filmes finos podem ser produzidas em massa, sendo potencialmente mais baratos de fabricar do que as células solares de base cristalinas, possuem aparência homogênea, que a deixa esteticamente bonita, pode ser feito módulos flexíveis, favoráveis a lugares de altas temperaturas e sombreamento de árvores e outras obstruções tem menos impacto sobre o desempenho do painel solar de filme fino, as desvantagens dessa tecnologia são eles também exigem uma grande quantidade de espaço, pois é menos eficiente, significa que o seu custo com estrutura de instalação, mão-de-obra e cabeamento tende a aumentar pois ocupam um espaço maior, devido a sua espessura tendem a degradar mais rapidamente do que os painéis solares mono e policristalino. (VILLALVA, 2017).

#### 2.4.4. Painel híbrido

Esse tipo de tecnologia surgiu em tempos mais recentes como uma inovação em placas solares fotovoltaicas, com o intuito de sanar um dos principais problemas desse tipo de sistema: a perda de rendimento quando a implantação ocorre em países de alta temperatura. Em termos simples, a ideia consiste em aliar a produção energética das placas com a produção de água aquecida.

Já que os painéis perdem eficiência quando esquentam e eles passam boa parte do dia sob incidência solar, isso acaba se tornando uma desvantagem, assim, para compensar essa perda de eficiência a indústria começou a desenvolver novos projetos. Dentre esses projetos, surgiu a ideia de usar esse aumento de temperatura para aquecer a água, que passará por um sistema de radiador a fim de resfriar a água e retornar ela ao sistema de placas, resfriando a mesma. A figura 18 foi determinada através de estudos realizados por Villalva (2017), mostram que existe uma queda na corrente a partir de uma certa tensão e que, com o aquecimento dos módulos solares, é necessário menos tensão para que ocorra o decréscimo.

Figura 18 - Alteração da curva de corrente com a temperatura



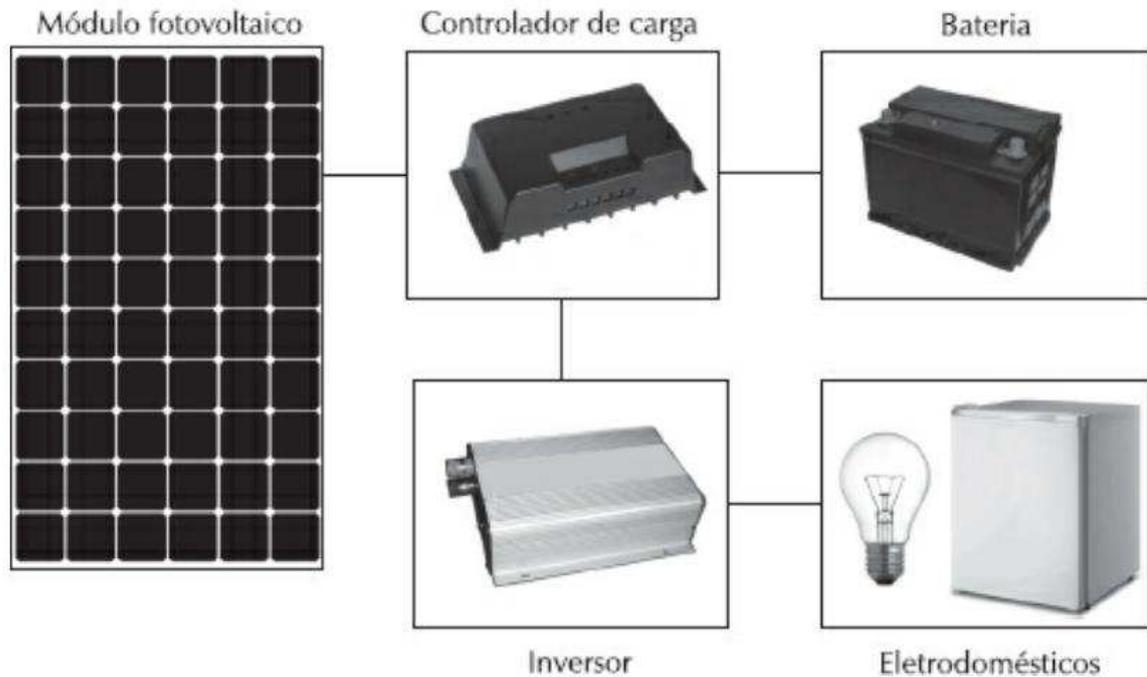
Fonte: Villalva (2017).

## 2.5. O sistema de instalação

### 2.5.1. Sistema isolado

Sistemas isolados foram criados para levar eletricidade para qualquer lugar onde a rede elétrica pública não estivesse disponível. Em seguida passaram a ser usados em diversos sistemas públicos como semáforos, sinalização de estradas, alimentação de sistema de telecomunicações e carregamento de veículos elétricos. Esse sistema normalmente é composto por um conjunto de placas fotovoltaicas, um controlador de carga, uma bateria e um inversor de tensão dependendo da aplicação. De uma forma simples como apresentado na figura 19, o módulo é ligado a um controlador de carga, que passa carga a bateria quando não houver solicitação dos eletrodomésticos e ao inversor, gerando corrente alternada para eles quando houver solicitação.

Figura 19 - Ligação de um sistema fotovoltaico isolado



Fonte: Villalva (2017).

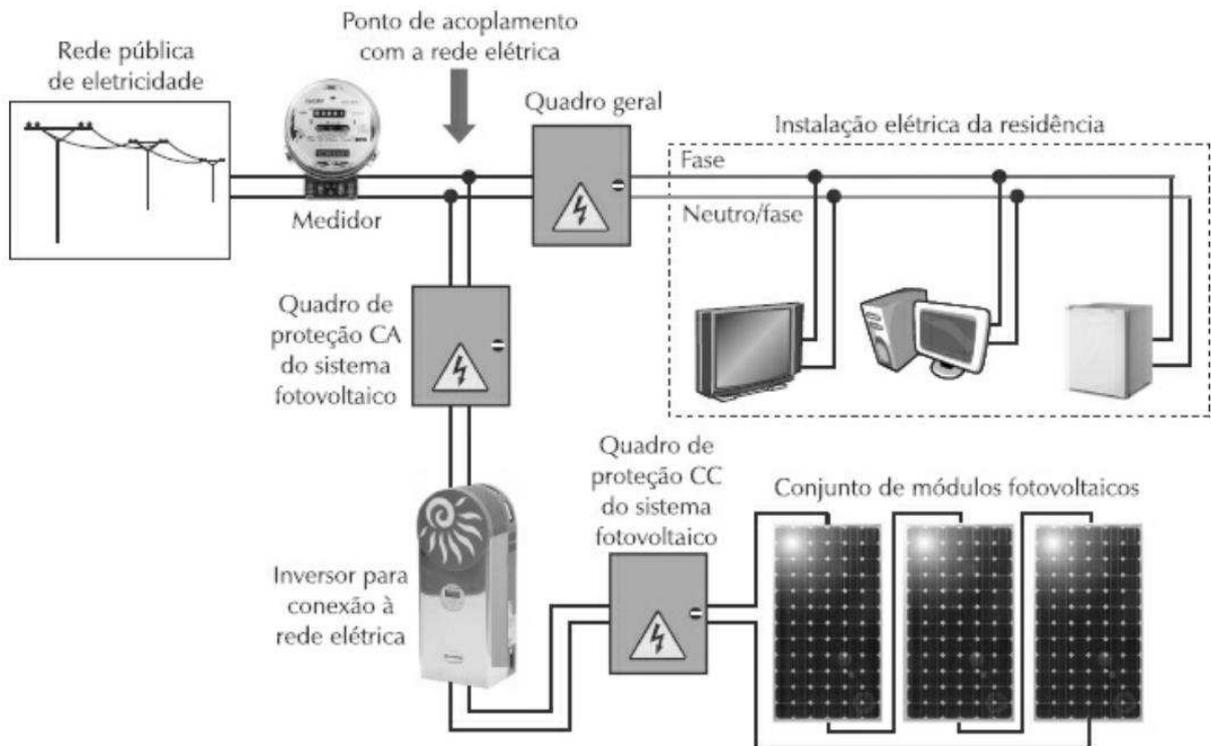
### 2.5.2. Sistema conectado à rede

Esse tipo de sistema tem como princípio operar paralelamente a rede elétrica pública, podendo reduzir ou eliminar o consumo da rede, ou ainda, gerar excedente. Apenas em 2012, com a resolução nº 48, a rede pública de eletricidade passou a ser acessível aos consumidores que desejassem se tornar microgeradores e minigeradores, isso reduziu bastante o custo de implantação do sistema, visto que as baterias eram grande parte do investimento, e reacendeu os investimentos em energia fotovoltaica no Brasil. Em alguns países, ainda, existem políticas de incentivo para essa geração de excedente, onde residências e empresas deixam de ser consumidores e passam a ser produtores de eletricidade.

Os sistemas ainda podem ser classificados em microgeração (potência instalada de até 1kW), minigeração (potência instalada entre 100kW e 1MW) e usinas de energia (potência acima de 1MW) segundo as definições estabelecidas pela ANEEL. Para usinas de energia existe legislação própria que trata da comercialização de energia elétrica fotovoltaica (VILLALVA, 2012). Assim, a figura 20 exibida a seguir consegue mostrar um sistema ligado à rede onde, após o medidor, temos a conexão dos módulos solares, devidamente protegidos pelos quadros de proteção de corrente contínua, seguido do inversor de corrente, protegido

pelo quadro de corrente alternada. Assim, todo consumo gerado no sistema vai ser alimentado pela rede pública apenas quando não houver alimentação proveniente do conjunto de módulos fotovoltaicos, gerando economia para o consumidor.

Figura 20 - Conexão do sistema com a rede



Fonte: Villalva (2017).

## 2.6. A necessidade do inversor

É um equipamento que converte a eletricidade de tensão e corrente contínuas (CC) em tensão e corrente alternada (CA). O inversor é um componente necessário para alimentar componentes de corrente alternada a partir da energia produzida pelas placas ou armazenada em baterias, pois a maioria dos aparelhos que conhecemos é fabricada para trabalhar em tensão e corrente alternada (127V ou 220V e frequência de 60Hz). Existem inversores no mercado de diversas potências e tensões de entrada o que não deve ser problema para o consumidor encontrar uma que satisfaça a sua necessidade (VILLALVA, 2012).

### 2.6.1. Inversor de onda quadrada e onda senoidal modificada

Inversores de onda senoidal modificada são capazes de produzir tensões de saída com o formato de ondas semi-quadradas, o que geram uma menor distorção harmônica do que ondas totalmente quadradas, porém, ambas são muito distorcidas quando comparadas a uma onda senoidal pura.

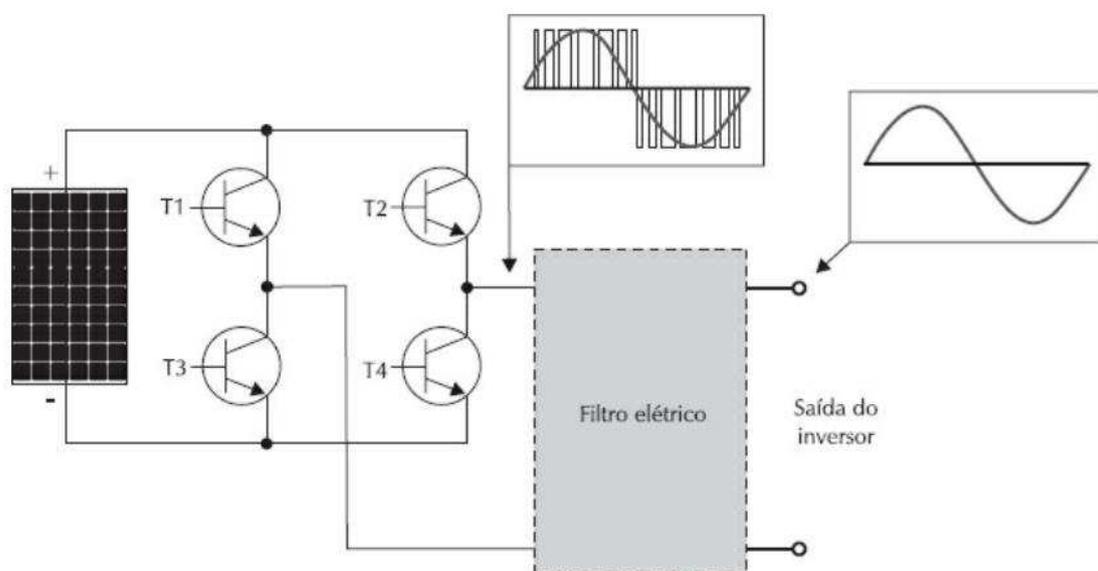
Esse tipo de equipamento é de baixo custo e destinado para alimentação de equipamentos como eletrodomésticos, lâmpadas e aparelhos eletrônicos que não são sensíveis a distorção de tensão e operam normalmente (VILLALVA, 2012).

### 2.6.2. Inversor PWM de onda senoidal pura

Esse modelo, por sua vez, é capaz de produzir onda senoidal quase pura, com baixíssima distorção harmônica. É indicado para alimentar todo e qualquer tipo de equipamento que exija elevada confiabilidade e excelente qualidade de energia como equipamentos médicos, sistemas de telecomunicações e equipamentos de alto custo.

O funcionamento se dá pela modulação de largura de pulsos, ou seja, Pulse With Modulation (PWM), em inglês. Ao invés de produzir uma onda simplesmente quadrada, o inversor PWM produz uma sequência de pequenas ondas de alta frequência. (VILLALVA, 2012). A figura 21 apresenta de que forma o inversor PWM cria esses pulsos que, ao passar pelo filtro elétrico se torna uma onda senoidal quase pura.

Figura 21 - Funcionamento de um inversor PWM



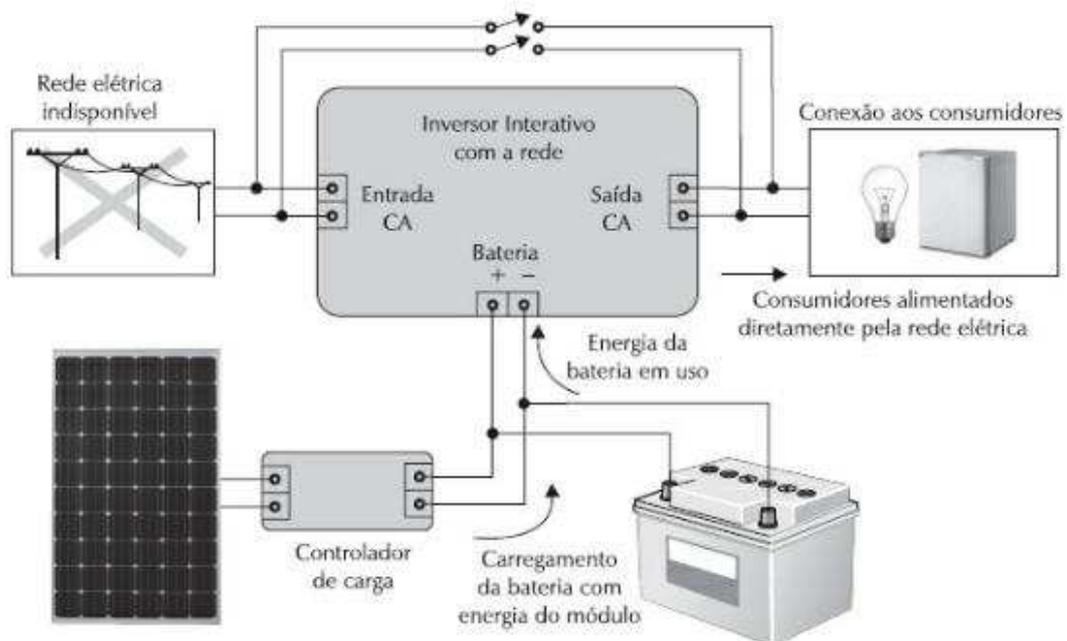
Fonte: Villalva (2012).

### 2.6.3. Inversores interativos com a rede

Existem ainda, alguns modelos que incorporam funções adicionais de controlador de carga e trabalham de forma interativa com a rede. São inversores empregados em sistemas de alimentação de emergência para aplicações não autônomas ou sistemas híbridos de energia. Villalva (2012) ainda aponta que quando a rede elétrica ou outra fonte está presente, o inversor comporta-se como um controlador de carga e realiza o carregamento da bateria.

Em caso de falha da rede ou ausência de outra fonte, o inversor alimenta os consumidores, operando no modo de inversão e fornecendo tensão de alimentação com forma de onda senoidal pura nos seus terminais de saída. Com esse tipo de inversor o módulo fotovoltaico pode ser agregado ao sistema através de um controlador de carga externo, como é mostrado na figura 22, onde é possível identificar um inversor interativo que, na falta da rede elétrica passa a puxar a carga da bateria para alimentar o consumidor, tal situação pode ser invertida quando há rede elétrica, fazendo com que a energia gerada pelo módulo passe a recarregar a bateria.

Figura 22 - Inversor interativo com a rede alimentando o consumidor na ausência da rede elétrica



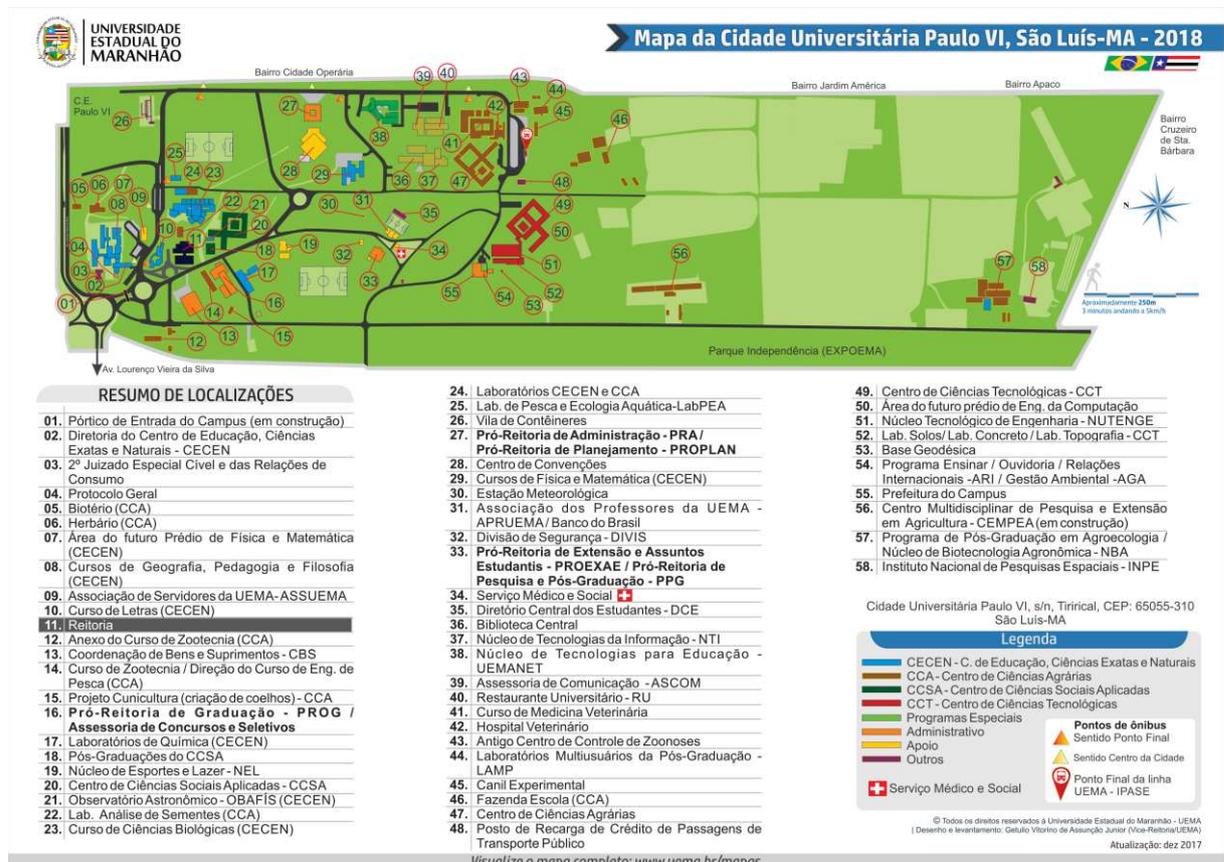
Fonte: Villalva (2012).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Definição do traçado do sistema

Para um sistema que possa abastecer o campus Paulo VI usando uma passarela como base de estudo, pode-se atribuir vários critérios para a definição do melhor traçado a ser adotado. Para isso, como a quantidade de usuários das edificações da cidade universitária é variável ao longo do dia, e que uma passarela aumentaria a circulação de pessoas ao redor dos ambientes, podemos afirmar que a quantidade de usuários iria requerer um estudo mais aprofundado, o que não é escopo deste estudo. A figura 23 mostra as edificações levantadas pela universidade estadual do maranhão no ano de 2018 é possível fazer uma análise mais detalhada e cuidadosa das rotas possíveis da estrutura.

Figura 23 - Mapa da Cidade Universitária Paulo VI



Fonte: Universidade Estadual Do Maranhão (2018).

Assim, para a situação a ser apresentada, foi escolhida a densidade das edificações por região como a melhor forma de avaliar qual seria a melhor rota para instalação da estrutura. Ou seja, a passarela deverá atender o máximo de edificações dentro da região

determinada pela cidade universitária, conseqüentemente, ela deverá ser instalada nas regiões onde há maior concentração de alunos e servidores.

Para que o sistema funcione de forma correta, primeiro é necessário dividir a área a ser estudada em regiões para que elas determinem corretamente o número de edificações presentes em cada região, para determinar a correta densidade. Após isso é contabilizado o número por área mostrando, assim, a importância para o conjunto e a necessidade dela de ser incorporada no sistema.

Com o número de edificações em mãos podemos determinar qual a zona com maior densidade. Ainda é necessário levar em consideração que certas regiões apresentam transporte público o que torna dispensável o uso de uma passarela de pedestres visto que o uso do transporte público torna a locomoção de alunos e funcionários mais prática e segura para o acesso às edificações da instituição.

A rota determinada foi medida com o auxílio do software Google Earth Pro para que pudesse ser contabilizado o percurso para a passarela. Esse programa usa fotos obtidas por satélites e aviões de empresas contratadas pelo Google que tiram fotos em alta resolução de todos os lugares possíveis que, devidamente organizados e em escala, aliados com o algoritmo *Enhanced Compression Wavelet* (ECW), são disponibilizados para que se possa fazer medições e avaliações com uma precisão aceitável para implantação de módulos.

### **3.2. Local de instalação**

A localização em que se pretende instalar o sistema é de suma importância pois ele vai indicar a incidência solar segundo o índice solarimétrico. Segundo o CRESESB é a quantidade de Watts que incidem sobre uma área de 1 metro cúbico durante um dia e pode ser obtido através de um banco de dados disponibilizados no portal da CRESESB, chamado de SunData, a partir da latitude e longitude do local como indica a figura 24.

Figura 24 - Banco de Dados (SunData) do portal da CRESESB

**Coordenada Geográfica**

**Latitude**  **Longitude**  Oeste

**Norte:**

graus decimais (00.00°)

graus, minutos e segundos (00°00'00")

! Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste. Em caso de dúvida entre em contato conosco.

**Localidades próximas**

Latitude: 2,53073° S  
Longitude: 44,3068° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta				
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set			Out	Nov	Dez	
<input checked="" type="checkbox"/>	Sao Luis	Sao Luis	MA	BRASIL	2,501° S	44,349° O		5,7	5,16	5,12	4,90	4,77	4,76	4,91	5,15	5,73	6,16	5,99	5,90	5,72	5,36	1,39
<input checked="" type="checkbox"/>	Sao Luis	Sao Luis	MA	BRASIL	2,501° S	44,249° O		7,2	4,96	4,99	4,79	4,65	4,69	4,84	5,08	5,66	6,00	5,74	5,64	5,48	5,21	1,36
<input checked="" type="checkbox"/>	Sao Luis	Sao Luis	MA	BRASIL	2,601° S	44,349° O		9,1	4,77	4,76	4,64	4,56	4,58	4,81	5,01	5,54	5,94	5,75	5,55	5,30	5,10	1,38

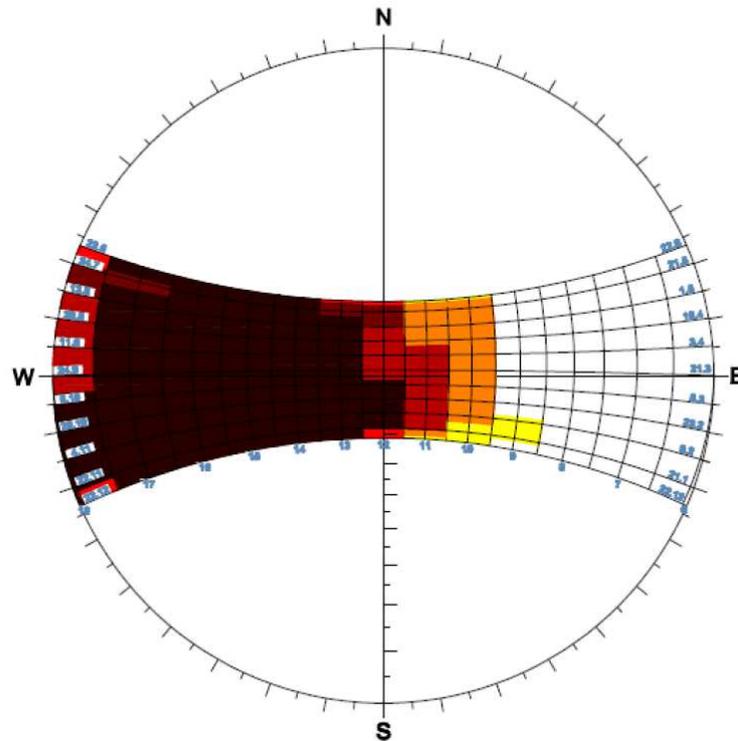
Fonte: Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (2019).

Ainda é necessário indicar se o local de instalação possui elementos que podem gerar sombreamento no sistema, visto que o sombreamento pode reduzir a capacidade de produção energética da placa, reduzindo a eficiência do sistema como um todo. Para isso é necessário calcular o ponto em que a sombra passa incide sobre a estrutura e passa a afetar o sistema através de uma Carta Solar, instrumento gráfico utilizado para avaliar a penetração solar.

Para usar a carta solar, precisamos entender que o anel externo indica o ângulo em relação ao norte, que as linhas curvas na horizontal indicam um dia e mês do ano, as linhas verticais, as horas de um dia e, por fim, a parte inferior do eixo principal vertical, o ângulo em relação ao solo. Ou seja, traça-se uma linha do centro ao ponto de intersecção entre o dia desejado e a hora e vamos obter o ângulo quando criamos um ângulo com a parte inferior do eixo principal.

É importante notas que nem toda edificação ou forma gera sombreamento na estrutura, assim, pode-se usar o Google Earth Pro para determinar áreas cuja vegetação cobre o percurso do sistema e, com o auxílio de carta solar como indicado pela figura 25, é possível entender quais, dentre aqueles posicionamentos, podem gerar sombreamento. Aliado ao estudo realizado por ZOMER (2014), que trava do software PVSYST como aliado para a análise, ele pode ser usado para conferir se os resultados do Google Earth Pro estão dentro de um erro admissível.

Figura 25 - Carta solar de São Luís



Fonte: UFMG (2015).

### 3.3. Sistema fotovoltaico adotado

Como visto anteriormente, dentre os sistemas adotados podemos escolher entre o isolado e o ligado à rede. Visto que na situação proposta pelo trabalho as edificações já possuem conexão com a rede, o sistema ligado à rede se mostra o ideal com o objetivo de não impactar instalações já existentes, apenas usar o sistema para aumentar as possibilidades já existentes. Pois a instituição apresenta um alto consumo elétrico o que levaria a aquisição de diversos módulos de bateria, aumentando o custo de implantação e manutenção do sistema.

#### 3.3.1. Escolha dos painéis

A escolha dos painéis, quando tratamos de espaço limitado e de obter uma redução no consumo, retirando as possibilidades de saldo zero ou positivo, faz com que possamos escolher módulos de melhor custo benefício, melhorando o custo do sistema e dando maior liberdade para variações no orçamento, visando sempre a melhor situação.

Dentre os painéis disponíveis no Brasil, os painéis com maior capacidade de carga estão acima dos 300W e com um rendimento acima de 16%, que, de acordo com a classificação no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) os classifica

como de alta eficiência (para todo módulo de eficiência superior a 13,5%) como mostra a figura 26, já são bastante comuns e capazes de gerar grande quantidade de energia em um espaço reduzido o que os torna ideal para o trabalho, contanto que não ultrapasse as dimensões e nem as voltagens especificadas como será apontado nos capítulos posteriores.

Figura 26 - Classificação do Inmetro para módulos fotovoltaicos

CLASSES	ÍNDICE DE MÓDULO	
	SILICIO CRISTALINO	FILMES FINO
A	EE > 13,5	EE > 9,5
B	13,5 >= > 13,0	9,5 >= > 7,5
C	13,0 >= EE > 12,0	7,5 >= EE > 6,5
D	12,0 >= EE > 11,0	6,5 >= EE > 5,5
E	EE < 11,0	EE < 5,5

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2019).

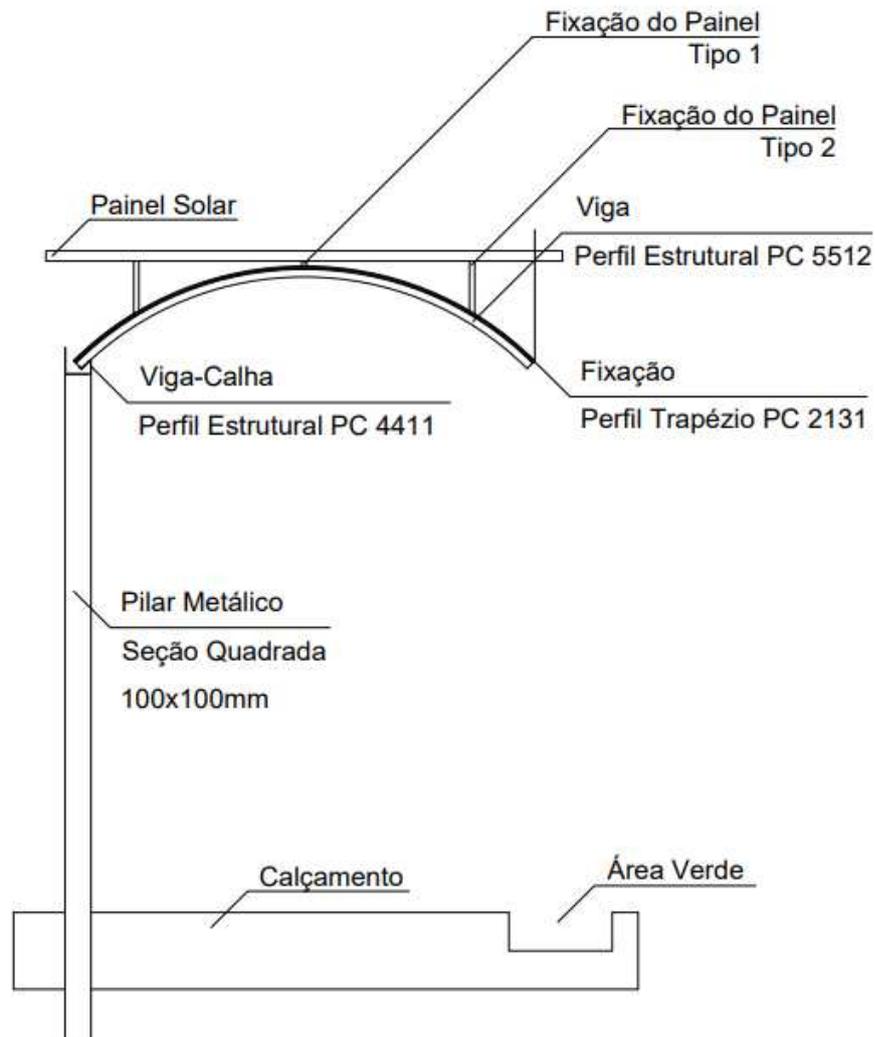
### 3.4. Cálculo do custo de implantação da passarela

#### 3.4.1. Análise da estrutura

Dentre as estruturas conhecidas, foi possível analisar que as estruturas de concreto seriam inviáveis visto que o custo de implantação e a dimensão das peças, quando comparados com um suporte realizado em estruturas metálicas, tornariam a estrutura onerosa e de difícil instalação. Com a análise dessas possíveis dificuldades, foi necessário analisar possibilidades visto que peças metálicas são diversas e possuem grande trabalhabilidade, sempre considerando que a estrutura suporta o sistema fotovoltaico.

Para um sistema modular, será necessário um sistema de dois pilares que possa ser encaixado lateralmente, conectando-se através de uma cobertura de qualquer material que possibilite corte. Para o suporte da cobertura, ainda é necessário um sistema de vigas que suportarão diretamente a cobertura e se ligam aos pilares em uma extremidade, usando de mão francesa para a conexão e, na outra extremidade, a uma viga apoiada sobre os pilares como indica a figura 27.

Figura 27 - Cobertura modular com suporte fotovoltaico



Fonte: Autor (2019).

### 3.4.2. Cálculo do custo da estrutura metálica

Para o cálculo do custo de implantação da passarela, é necessário avaliar os componentes da estrutura a serem implementados e através de tabelas de custos e insumos é possível ter uma estimativa dos valores aplicados na região a fim de se obter um orçamento com baixa variação final. Assim, foi usado o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI) assim como outras composições em caso de falta de dados, sempre indicando a fonte como mostra a figura 28.

Figura 28 - Sistema Nacional de Pesquisa de Preços e Índices

SINAPI - SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL 1 2 de 611

PCI.817.01 - CUSTO DE COMPOSIÇÕES - SINTÉTICO DATA DE EMISSÃO: 11/10/2019 23:32:11

ENCARGOS SOCIAIS SOBRE PREÇOS DA MÃO-DE-OBRA: 115,54%(HORA) 72,97%(MÊS) DATA REFERÊNCIA TÉCNICA: 10/10/2019

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	ORIGEM DE PREÇO	CUSTO TOTAL
VÍNCULO.....: CAIXA REFERENCIAL				
ASTU	ASSENTAMENTO DE TUBOS E PECAS			
0045	FORNEC E/OU ASSENT DE TUBO DE FERRO FUNDIDO JUNTA ELASTICA			
97141	ASSENTAMENTO DE TUBO DE FERRO FUNDIDO PARA REDE DE ÁGUA, DN 80 MM, JUN M TA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	CR	5,28
97142	ASSENTAMENTO DE TUBO DE FERRO FUNDIDO PARA REDE DE ÁGUA, DN 100 MM, JU M NTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	CR	5,86
97143	ASSENTAMENTO DE TUBO DE FERRO FUNDIDO PARA REDE DE ÁGUA, DN 150 MM, JU M NTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	CR	7,34
97144	ASSENTAMENTO DE TUBO DE FERRO FUNDIDO PARA REDE DE ÁGUA, DN 200 MM, JU M NTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	CR	8,80
97145	ASSENTAMENTO DE TUBO DE FERRO FUNDIDO PARA REDE DE ÁGUA, DN 250 MM, JU M NTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	CR	10,29
97146	ASSENTAMENTO DE TUBO DE FERRO FUNDIDO PARA REDE DE ÁGUA, DN 300 MM, JU M NTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	CR	11,77

Fonte: Sistema Nacional de Preços e Índices (2019).

Caso o SINAPI não tenha uma estrutura similar ou componentes que possam auxiliar no cálculo, pode ser utilizado uma cotação de preço particular, onde é feito orçamento com empresas locais a fim de se obter uma precificação do serviço e uma comparação para que se possa ter uma escolha justa e embasada sempre com o auxílio da ferramenta Microsoft Excel para elaboração do orçamento.

### 3.4.3. Cálculo do custo do sistema fotovoltaico

Para o sistema fotovoltaico nós usaremos preços praticados por empresas especializadas no mercado que divulgam preços e especificações a fim de se elaborar um sistema de composição próprio baseado sua potência de operação, valor por unidade, custo por watt produzido e o rendimento da mesma a fim de ser possível elaborar e embasar a melhor escolha para o sistema a ser adotado, como demonstrado pela tabela 2.

Tabela 2 - Comparação econômica entre módulos solares

Fonte	Modelo	Potência (W)	Unidade (R\$)
NeoSolar	Yingli YL330P-35B	330	588,05
NeoSolar	Sinosola SA330-72P	330	660,16
NeoSolar	Yingli Y320P-35B	320	683,05
NeoSolar	GCL P6/72 330W	330	711,55

(continuação da tabela 2)

<b>Fonte</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Unidade (R\$)</b>
NeoSolar	Canadian Solar CS6U-330P	330	683,05
NeoSolar	GCL P6/72 325W	325	683,05
Minha Casa Solar	Dah Solar DHP72-330W	330	531,03
Minha Casa Solar	Canadian Solar CS6K-305M	305	612,87
Minha Casa Solar	Canadian Solar CS3U-360P	360	677,97

Fonte: Autor (2019).

Ainda é necessário se ater para as características do material, e se o mesmo é capaz de suportar intempéries como chuva, poeira, de acordo com a Norma Técnica Brasileira (NBR) 60529 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que atende os critérios da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) em desenvolvimento de ensaios usados como critério para garantir o índice de proteção de equipamentos eletrônicos.

### **3.5. Avaliação da geração de energia ao campus**

A avaliação de energia gerada ao campus será realizada com a posse dos dados de eficiência, potência das placas e a quantidade de módulos instalados. Conhecendo o módulo que será utilizado, é possível saber a quantidade de energia gerada por ele sendo instalado na localidade apresentada. Como sistemas conectados à rede possuem um sistema de Rastreador do Ponto de Máxima Potência (MPPT), deve-se dimensionar baseando-se na insolação diária, ou seja, no valor do quilowatt-hora por metro quadrado diário disponível em uma determinada localidade.

Assim, conhecendo a área do módulo e a sua eficiência pode-se verificar a energia elétrica produzida pelo mesmo e, multiplicando pelo número de dias do mês que o sistema vai estar operante, temos o valor mensal de energia gerada. Com esse valor aliado ao número de energia que desejamos obter, podemos gerar o número de módulos dividindo a energia gerada pelo sistema pela energia de um módulo. (VILLALVA, 2012). Essa teoria pode ser explicitada pela equação 1.

$$Q = \frac{P_m}{P_u} \quad (1)$$

Onde:

Q: Quantidade de Placas do Sistema;

P<sub>m</sub>: Energia do Sistema Fotovoltaico (kWh);

P<sub>u</sub>: Energia Gerada por Módulo (kWh);

A escolha dos painéis pode se dar de diversas formas, dentre elas, podemos usar a energia produzida como base para análise, a fim de obter, no espaço desejado para instalação, placas que atendam, dentro de sua potência estimada, valores próximos ao que se deseja produzir com o sistema. Para essa escolha, podemos usar o índice solarimétrico, assim como a energia consumida e a eficiência das placas de acordo com embasamento teórico sobre o tema por meio de livros, artigos acadêmicos e consultoria com empresas especializadas neste tipo de instalação, como mostra a equação 2.

$$P_m = \frac{P}{i \times n} \quad (2)$$

Onde:

P<sub>m</sub>: Energia do Sistema Fotovoltaico (kWh);

P: Energia Consumida (kWh/dia);

i: Índice Solarimétrico da Região (h/dia);

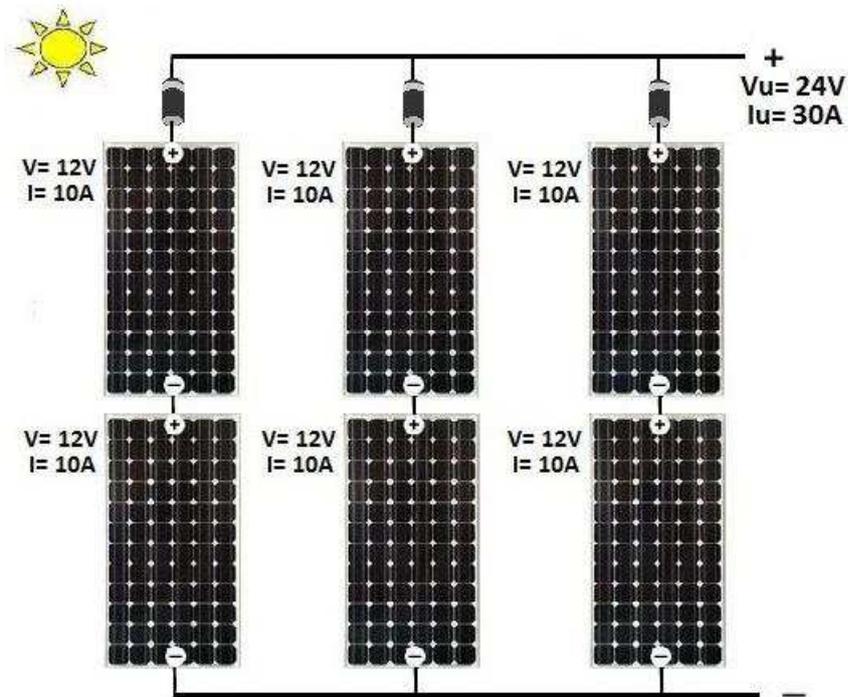
n: Eficiência do Módulo Solar.

### 3.5.1. Associação de células

Ao se tratar da associação das células, componentes essenciais do sistema, devemos estar cientes de que devemos levar em consideração a Voltagem Máxima do Sistema (MSV), visto que a associação de células em série leva a um crescimento significativo da voltagem, assim como a associação dos módulos em paralelo nos leva a um crescimento da amperagem, e vai tornar esse sistema eficiente desde que haja preocupação com que os painéis estejam angulados igualmente, que não criem sombras um no outro e estejam distantes de possíveis causas de sombreamento, que seja calculada uma seção apropriada para a ligação elétrica e que se utilize caixas de junção para ligar ordenadamente entre eles, os terminais dos painéis.

A associação de um sistema fotovoltaico nos leva a entender que não é possível a instalação de painéis com diferentes características e diversos cuidados devem ser tomados a fim de se obter um sistema eficiente. É ainda possível tratar de um sistema híbrido série paralelo como mostrado na figura 29, onde todos os critérios anteriores devem ser atendidos rigorosamente para que o sistema opere de forma contínua sem danos aos equipamentos.

Figura 29 - Esquema de ligação série-paralelo de módulos fotovoltaicos



Fonte: MpptSolar (2019?)

### 3.5.2. Dimensionamento dos inversores

Para o dimensionamento de inversores, deve-se levar em consideração alguns critérios de acordo com Villalva (2017):

- i. A tensão de circuito aberto da não pode ultrapassar a tensão máxima permitida na entrada do inversor. Deve-se observar cuidadosamente esse critério, pois uma sobretensão na entrada do inversor pode danificar o equipamento irreversivelmente.
- ii. O inversor deve ser especificado para uma potência igual ou superior à potência de pico do conjunto de módulos.

Ainda é necessário afirmar que é uma prática comum superdimensionar levemente o conjunto fotovoltaico (ou subdimensionar o inversor), pois a potência de pico do conjunto somente é atingida nas condições padronizadas de teste. Na maior parte do tempo o conjunto

trabalhar abaixo de sua capacidade nominal. Isso ocorre, pois, ligar um conjunto fotovoltaico que tem potência de pico maior do que a suportada pelo inversor vai fazer com que ele seja incapaz de aproveitar a potência máxima do conjunto.

Assim, a potência dos inversores, quando painéis estiverem ligados em série, será definida pela soma das potências dos painéis, caso estejam ligadas em paralelo, será a potência de apenas um dos painéis.

### 3.6. Consumo energético da cidade universitária

Para se obter o custo da cidade universitária foi solicitado a conta de energia à prefeitura de campus por via comunicação interna, a partir do Centro de Ciências Tecnológicas (CCT) da universidade. Assim, obtendo o período de junho de 2018 a junho de 2019 pudemos obter um valor médio de consumo para atender todas as edificações do campus onde as 9 faturas mais recentes encaminhadas foram expostas na tabela 3.

Tabela 3 - Consumo energético mensal do campus

<b>Referência</b>	<b>Consumo (kWh)</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Janeiro de 2019	424032,21	R\$ 189.682,32
Fevereiro de 2019	469918,91	R\$ 207.375,48
Março de 2019	472816,87	R\$ 228.025,34
Abril de 2019	583557,81	R\$ 321.081,70
Mai de 2019	595806,15	R\$ 319.195,14
Junho de 2019	610437,32	R\$ 293.425,30
Julho de 2019	586451,46	R\$ 278.809,16
Agosto de 2019	527855,74	R\$ 257.438,98
Setembro de 2019	675488,55	R\$ 294.993,40
<b>Média</b>	<b>424032,21</b>	<b>R\$ 265.558,54</b>

Fonte: Prefeitura de Campus da Universidade Estadual do Maranhão (2019).

### 3.7. Tempo de retorno do investimento

Visto que o objetivo do sistema é apenas gerar energia, cabe a análise deste trabalho a avaliação de um investimento benéfico e duradouro. Uma medida comum para o é a razão entre a energia produzida e a energia consumida de um sistema específico (Hagens & Mulder, 2008).

Para avaliar o desempenho produtivo de um sistema, dois indicadores são frequentemente utilizados: o primeiro é o tempo de retorno de investimento, ou ainda, *Energy Pay Back Time* (EPBT); o segundo é o fator de produção de energia, conhecido como *Foot-Pounds of Energy* (FPE). Para esse projeto, foi escolhido o método EPBT pois com esse é possível quantificar financeiramente o benefício gerado pela instalação da estrutura, e assim, poder orçar as possibilidades de implantação.

O EPBT indica o tempo necessário para que todos os fluxos de energia utilizados no ciclo de vida do sistema sejam compensados pela sua produção anual. Ou seja, a produção energética dos módulos fotovoltaicos de forma associada deve ser calculada em unidade equivalente de energia primária a fim de ser possível a comparação. Em termos simples, a geração de energia da estrutura irá gerar um abatimento no valor de energia consumido pela cidade universitária.

Esse abatimento se dá visto que o Brasil adota um sistema de tarifa baseado em zonas, além de uma variação de taxa que é aplicável para horários de pico e outra para os demais horários do dia. Assim, o sistema estará gerando energia durante os períodos diurnos, o que não é possível durante o turno noturno, usa-se o valor base de tarifa, juntamente com o consumo para obter o valor economizado pelo sistema em um ano, sempre levando em consideração a perda de desempenho, o reajuste médio anual, inflação anual, o reajuste médio anual e o investimento inicial.

Ainda deve ser considerado a perda de desempenho anual de acordo com o disponibilizado pelo fabricante na ficha técnica do painel solar considerando o tempo de vida útil da placa solar. Todos os cálculos realizados serão feitos com o auxílio da ferramenta Microsoft Excel a fim de facilitar os cálculos.

## 4. ESTUDO DE CASO

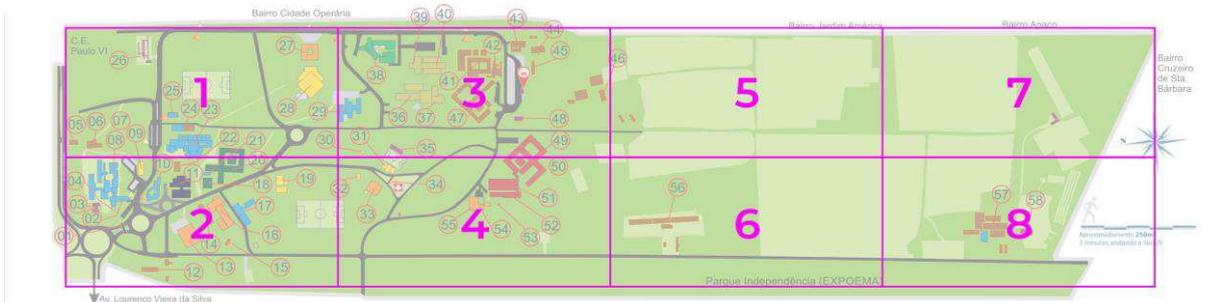
### 4.1. Definição do traçado do sistema

A rota deve ser definida de forma que passassem pelas edificações desejadas de forma que os alunos e servidores possam se locomover com segurança pelas edificações da instituição. Mas, para que o sistema funcione de forma eficiente, é necessário investigar se ela possui regiões que possuem árvores, transporte público, coberturas já existentes e outras edificações a fim de fazer com que os usuários do sistema tenham a cobertura como uma adição aos benefícios atuais, além de ser possível obter mais informações para o devido dimensionamento da mesma.

#### 4.1.1. Levantamento das edificações

Com o uso do mapa disponibilizado na página *online* da UEMA, é possível localizar as edificações mapeadas pela instituição em toda a área de atuação da instituição dentro da Cidade Universitária. Estabelecendo os limites físicos da região como parâmetro para dividir a região em retângulos de mesma altura e largura, delimitando áreas imaginárias em formatos retangulares de mesma altura e comprimento para a avaliação, como mostra a figura 30.

Figura 30 - Demarcação de regiões de análise



Fonte: Autor (2019).

A partir dessa distribuição de espaços, como indicado pela figura 26, foi possível notar que as áreas 5, 6, 7 e 8 necessitariam de uma infraestrutura desproporcional para acesso de uma pequena quantidade de edificações e por isso foram descartadas da avaliação, nos restando as áreas 1, 2, 3 e 4 para realizar a contagem ainda com base no mapa disponibilizado pela instituição.

Utilizando do mapa, foi possível notar que existem edificações que não constam na mesma em virtude de estarem em construção, como o prédio anexo do Centro de Ciências

Sociais Aplicadas (CCSA) e Ginásio Poliesportivo, porém, nenhuma das duas edificações alteram os resultados das quantificações como indicado pela tabela 4.

Tabela 4 - Quantificação de edifícios por região

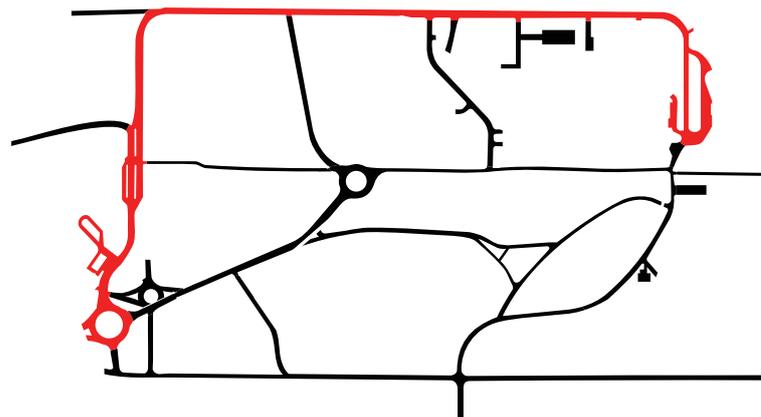
Região	Edificações	Transporte Público
1	9	Disponível
2	19	Parcial
3	17	Parcial
4	10	Indisponível
5	0	Indisponível
6	1	Indisponível
7	0	Indisponível
8	2	Indisponível

Fonte: Autor (2019).

#### 4.1.2. Definição de rotas

Após a definição das regiões e a quantificação das edificações, foi possível notar que as regiões 2 e 3 possuíam a maior quantidade de edificações dentro de suas regiões, assim, tinham prioridade quanto a rota de implantação da passarela de pedestres. Porém, analisando o critério de disponibilidade de transporte público, foi notado que parte das edificações das regiões 2 e 3, assim como a região 1, possuíam acesso a um meio de transporte para locomoção entre as edificações, como mostra a figura 31.

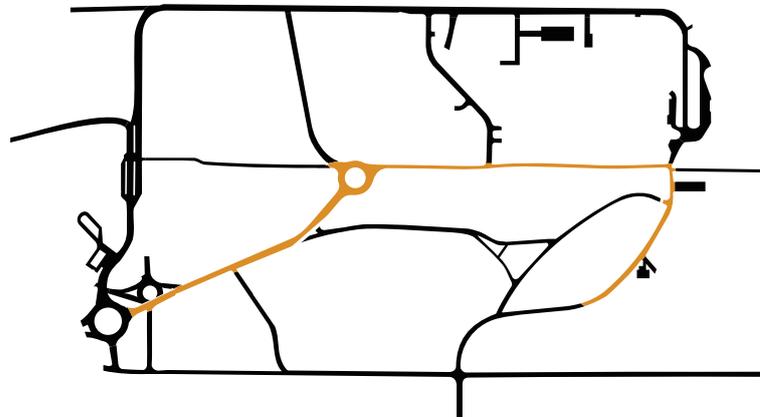
Figura 31 - Rota de transporte público no campus



Fonte: Autor (2019).

Com esse critério definido, a rota deveria passar pela região 2 e 3, passando pelos prédios não atendidos pelo transporte público, e pela região 4. O que leva a rota da passarela de pedestres a seguir do pórtico de entrada, passando pela biblioteca, fazendo a curva para alimentar o Centro de Ciências Tecnológicas e Prefeitura do Campus como mostra a figura 32.

Figura 32 - Rota da passarela de pedestres



Fonte: Autor (2019).

Na rota escolhida, podemos escolher qualquer uma das laterais da estrada e visto que a cidade universitária em diversos pontos possui calçamento em apenas uma das laterais, é necessário saber se será necessária a implantação de novo calçamento a fim de aumentar a eficiência solar.

#### 4.1.3. Possibilidade de sombreamento

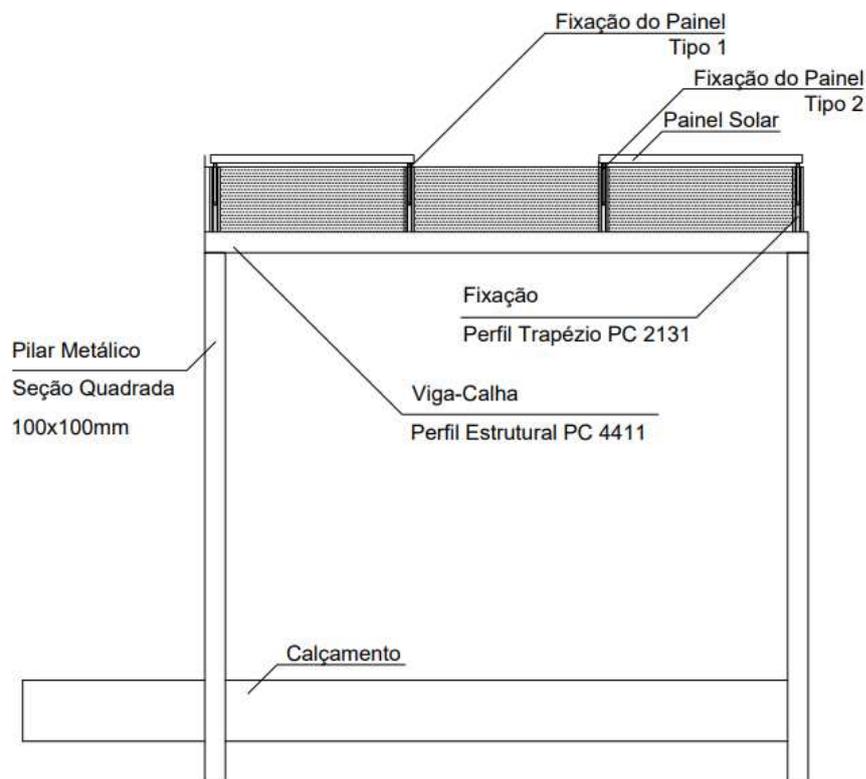
A incidência solar nem sempre é benéfica ao sistema visto que a carga solar sobre fazer o painel aquecer mais que o desejado e gerar perdas pela temperatura, mas o sombreamento pode causar uma redução na capacidade de incidência solar obtida pelos painéis quando em demasia, assim, diversos estudos como o realizado por ZOMER (2014).

Assim, foi possível admitir que para 24% de sombreamento, existe uma redução de radiação incidente de 17%, ou seja, visto que o valor de área sombreada durante o percurso é igual a 276 metros, o que equivale a mesma parcela, é necessário acrescentar uma redução de desempenho de 17% por sombreamento.

## 4.2. Dimensionamento da estrutura de suporte

Essa estrutura foi realizada de tal forma a fim de que se obtenha um módulo com 1,82 metros de largura e 2,94 metros de comprimento que vá ser acoplado em sequência em quantos módulos forem necessários para cumprir a extensão projetada, onde com a chapa de policarbonato que liga um módulo a outro, a estrutura passa a atingir 3,867 metros de comprimento, que, para esse caso, será de 1,168 quilômetros, ou seja, serão necessários 302 módulos, porém, para melhor divisão do sistema, usaremos apenas 300 módulos contendo 600 placas, visto que cada módulo é capaz de suportar 2 painéis solares para fixação nas vigas estruturais que suportam as chapas de policarbonato como mostra a figura 33.

Figura 33 - Vista lateral de um módulo com chapa de ligação

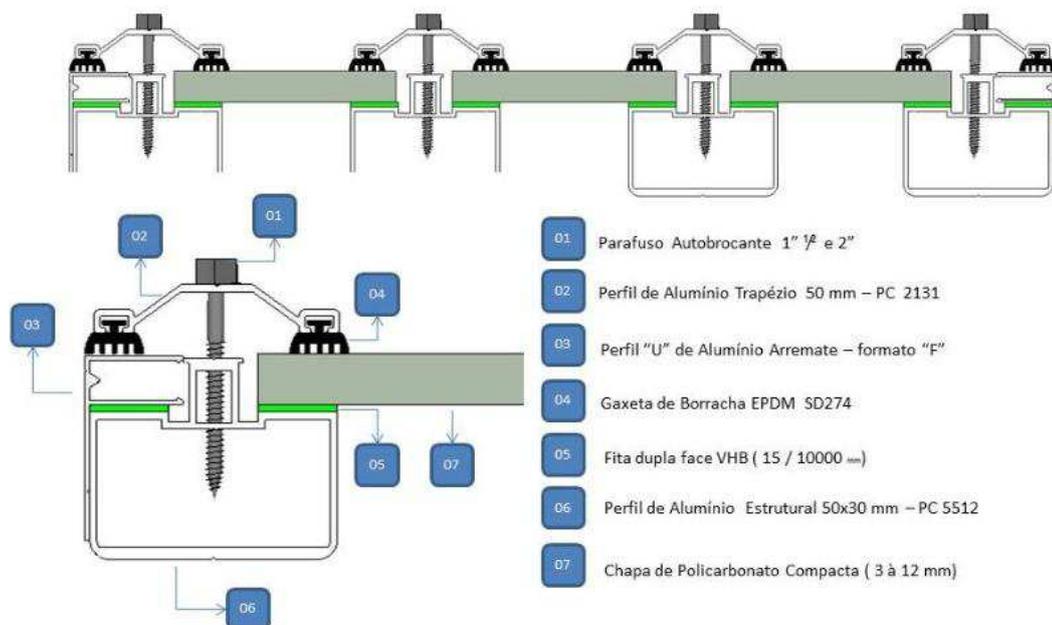


Fonte: Autor (2019).

Foi adotado uma estrutura de suporte feita a base de alumínio com pilares em perfil estrutural quadrado de alma cheia de lado 10 centímetros, ligados por uma viga-calha PC 4411 de 10 centímetros de largura e 10,29 centímetros de altura que suporta vigas em balanço de perfil estrutural PC 5512 com largura de 5 centímetros e altura 3 centímetros, curvadas com raio de curvatura 1,5 metros, formando os encaixes para a chapa de policarbonato de 10 milímetros, fixadas através de um perfil trapézio PC 2131 e uma gaxeta de borracha EPDM

5D274 a fim de evitar vazamentos para dentro da estrutura, que determinam o espaçamento de 95 centímetros entre as vigas, devido a limitação na distâncias entre os encaixes para a chapa de policarbonato, onde um perfil “U” com 2 centímetros de largura e 20,63 centímetros de altura, fixa o sistema em um ponto anterior e um posterior, espaçados 1,17 metros entre si. Ainda, todas as chapas de policarbonato e os módulos sem conexão devem conter em sua extremidade um perfil “U” de alumínio para arremate no formato “F”. Esse sistema de encaixe, padrão para o mercado e devidamente explicitado pela empresa PolySolution pôde ser exibido na figura 34.

Figura 34 - Encaixe das chapas de policarbonato



Fonte: PolySolution (2019).

### 4.3. Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

Como o objetivo deste trabalho é obter o máximo de economia possível, foi estabelecido que a melhor forma de iniciar o cálculo seria determinar a distância em que a passarela poderia ser instalada e estabelecer o quantas placas solares seriam capazes de ser conter nessa extensão.

Além do critério de extensão, precisa-se levar em consideração que a placa solar deve ser capaz de operar em sistemas conectados à rede, visto que o as baterias elevariam o custo total do sistema e poderiam reduzir o tempo de retorno do investimento.

#### 4.3.1. Escolha do tipo de painel

Para obter a melhor opção de placa dentre as apresentadas na metodologia, pudemos ver que as melhores opções possuíam uma relação de custo unitário por watt abaixo de 2 reais por watt e eficiência acima de 17%. O que nos trouxe as opções apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 - Comparação de custo e eficiência dos painéis

<b>Modelo</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>Efc (%)</b>	<b>R\$/W</b>
Yingli YL330P-35B	166,3306	16,6331	1,7820
Sinosola SA330-72P	170,0722	17,0072	2,0005
Yingli Y320P-35B	161,2903	16,1290	2,1345
GCL P6/72 330W	170,0722	17,0072	2,1562
Canadian Solar CS6U-330P	169,7251	16,9725	2,0698
GCL P6/72 325W	167,4954	16,7495	2,1017
Dah Solar DHP72-330W	170,2439	17,0244	1,6092
Canadian Solar CS6K-305M	186,3392	18,6339	2,0094
Canadian Solar CS3U-360P	181,4516	18,1452	1,8833

Fonte: Autor (2019).

Visando o custo benefício, foi escolhido o painel da Dah Solar de 330W que atende pelo modelo DHP72-330W composto de 72 células de silício policristalino 1,956 metros de altura, 0,991 metros de largura e 0,04 metros de profundidade, 22,5 quilos de peso para a cobertura e resistência IP67 (o que determina que o módulo é à prova de poeira e protegido conta imersão temporária em água de até 1 metro por 30 minutos de acordo com a IEC 60529). Considerado o melhor custo-benefício do mercado por custar apenas 531,03 reais por módulo individual adquirido em quantidades superiores a 26 módulos pela empresa Minha Casa Solar, esse modelo tem alta eficiência e pode ser usado tanto em sistemas conectados à rede quando à bateria com garantia linear de 25 anos da empresa. As especificações do modelo podem ser vistas na tabela 6.

Tabela 6 - Especificações técnicas do módulo solar

<b>Dah Solar DHP72-330W</b>	
<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Potência do Painel:	330 Wp
Tolerância:	$\pm 5$ W
Tensão de Máxima Potência (Vmp):	37,3 V
Corrente de Máxima Potência (Imp):	8,85 A
Tensão em Aberto (Voc):	46,1 V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	9,38 A
Tensão Máxima do Sistema:	1000 V
Eficiência:	0,170244
Temperatura Nominal da Célula (TNOC/NOCT):	$45 \pm 2$ °C
Coeficiente de Temperatura da Potência:	-0,41 %/°C
Coeficiente de Temperatura da Tensão:	-0,32 %/°C
Coeficiente de Temperatura da Corrente:	0,05 %/°C
Corrente Máxima do Fusível:	15A
Dimensões do Painel:	1956 x 991 x 40 mm
Peso do Módulo:	22 Kg
Código IP da caixa de proteção:	IP 67, 1 diodo
Número de Células e Tipo:	72 (6x12) Policristalino

Fonte: NeoSolar (2019).

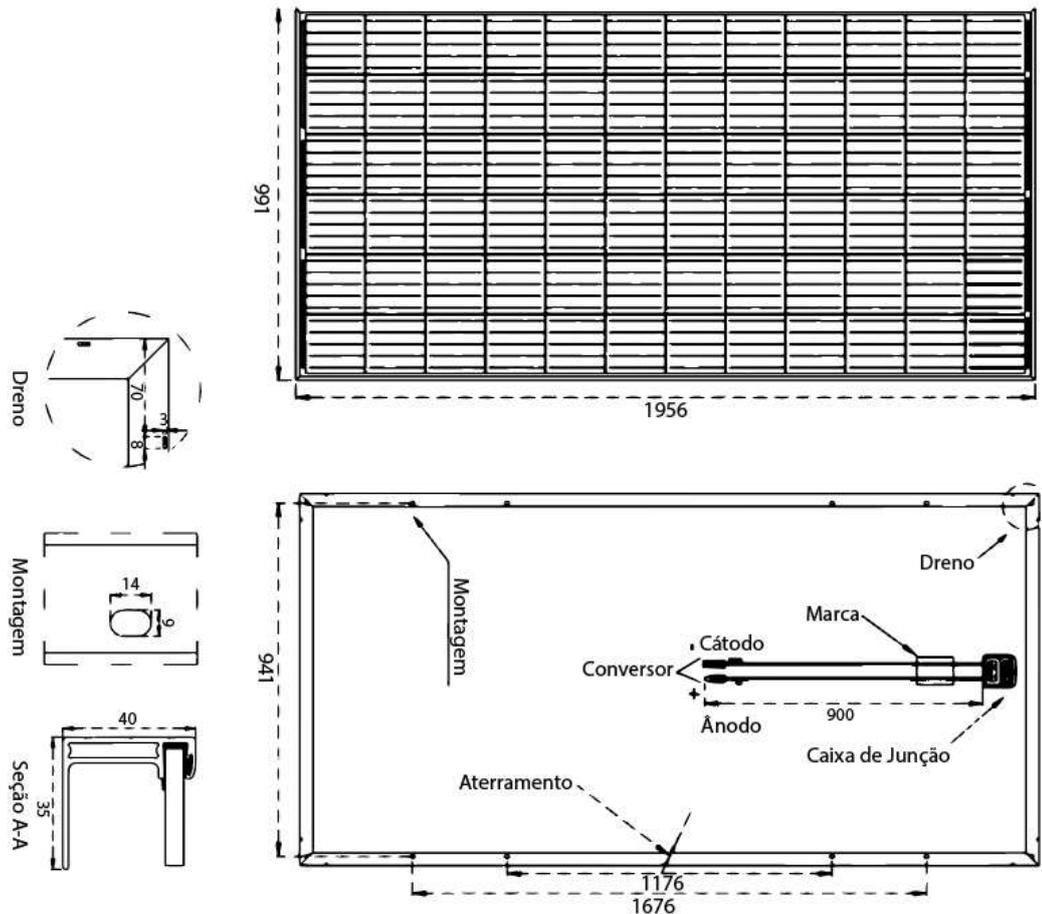
#### 4.3.2. Dimensionamento do número de módulos

Tendo a estrutura de suporte feita em estrutura metálica, para percorrer todo o trajeto de 1,168 quilômetros, foi adotado o aço galvanizado como estrutura principal, coberta por uma chapa de polycarbonato de 1,82 metros de largura, delimitando a passagem dos pedestres, por 2,94 metros de comprimento, determinando a distância entre os pilares do módulo. Usando o sistema de repetição para encaixar módulos idênticos lado a lado para criar uma passarela de rota flexível, resistente e de custo reduzido.

A dimensão da estrutura ainda, é capaz de comportar adequadamente, dois módulos solares juntamente com os equipamentos necessários para operação. Essas dimensões, sistema de encaixe e detalhamentos podem ser conferidos através do site da

fabricante onde foi possível encontrar o detalhamento das dimensões do módulo solar escolhido, como aponta a figura 35.

Figura 35 - Dimensões técnicas do módulo solar



Fonte: Dah Solar (2019).

Com as dimensões é possível afirmar que a estrutura suporta até dois painéis aplicados em sua cobertura sem comprometer a modularidade do sistema. Ou seja, a estrutura em sua totalidade é capaz de suportar um conjunto de 300 módulos solares ao longo dos 1,168 quilômetros de extensão do traçado.

#### 4.3.3. Dimensionamento dos inversores

Os inversores são capazes de absorver a produção dos painéis em corrente contínua e transformar essa potência em corrente alternada para poder ser conectada à rede. Porém, assim como qualquer outro componente, existem limitações. Visto que o trabalho aborda uma implantação de um grande sistema, contendo 600 painéis, não é possível encontrar no mercado um inversor capaz de suportar as especificações desses painéis

aliados, assim, uma forma de solucionar o problema foi a divisão do sistema em 10 inversores com 3 subgrupos de 20 módulos para cada inversor, o que totalizaria 19,8 kW de potência do sistema, nos trazendo o inversor Fronius Symo 20.0-3-M de 20 kW como opção para esse sistema, que contém as especificações mostradas na tabela 6 de acordo com o fabricante.

Tabela 7 - Especificações técnicas do inversor

<b>Fronius Symo 20.0-3-M</b>	
<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Quantidade de MPP Tracker	2,0
Corrente máx. de entrada (I <sub>cc</sub> máx)	33,0 / 27,0 A
Corrente máx. de curto-circuito do campo do módulo	49,5 / 40,5 A
Faixa de tensão de entrada CC (U <sub>cc</sub> mín - U <sub>cc</sub> máx)	200 - 1000 V
Alimentação de tensão inicial (U <sub>cc</sub> inicial)	200,0 V
Tensão nominal de entrada (U <sub>cc,r</sub> )	600,0 V
Faixa de tensão MPP (U <sub>mpp</sub> mín - U <sub>mpp</sub> máx)	420 - 800 V
Faixa de tensão MPP utilizável	200 - 800 V
Quantidade de conexões CC	3 + 3
Potência máxima do gerador fotovoltaico (P <sub>cc</sub> máx)	30,0 kW <sub>peak</sub>
Potência nominal CA (P <sub>ca,r</sub> )	20,0 kW
Potência máx. de saída (P <sub>ca</sub> máx)	20,0 kVA
Potência máxima de saída (I <sub>ca</sub> nom)	28,9 A
Acoplamento à rede (U <sub>ca,r</sub> )	3~ NPE 400/230, 3~ NPE 380/220 V
Dimensão (altura)	725,0 mm
Dimensão (largura)	510,0 mm
Dimensão (profundidade)	225,0 mm
Peso	43,4 kg
Grau de proteção	IP 66

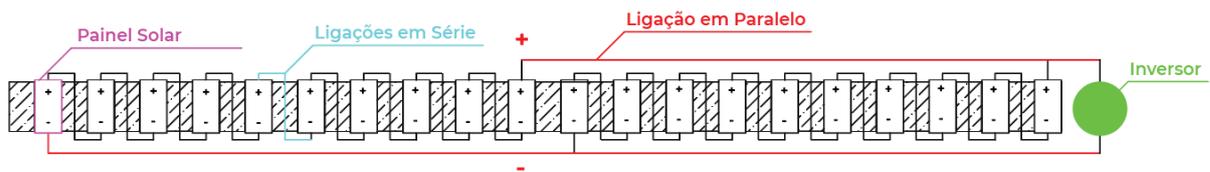
Fonte: Fronius (2019).

Visto que o inversor consegue suprir três conexões de corrente contínua, é inteligente interligar os subgrupos de forma a não exceder os valores máximos de corrente e tensão de entrada. Para isso, como já visto na metodologia que a tensão cresce quando os

módulos são postos em série e que a corrente aumenta quando postos em paralelo, podemos fazer uso de uma ligação mista série-paralelo a fim de respeitar os valores máximos.

Assim, optamos por ligar 10 placas em série, fazendo com que a tensão de um módulo passe de 46,1V para 461V, para que duas divisões estivessem ligadas em paralelo entre si, elevando a corrente de 9,38A para 18,76A, o que levaria o subgrupo a ser ligado diretamente ao inversor com 20 placas por ligação, o que se repetiria por 3 vezes, até preencher as saídas necessárias para funcionamento dos 3 subgrupos que, juntos, totalizam 60 placas como mostra a figura 36.

Figura 36 - Esquema de ligação do subgrupo ao inversor

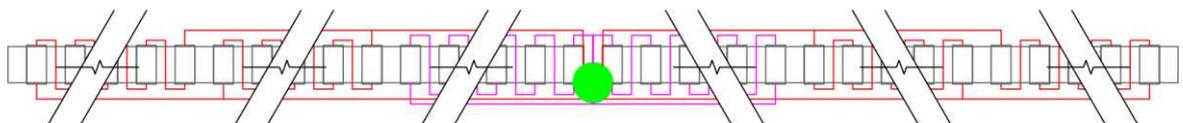


Fonte: Autor (2019).

#### 4.3.4. Dimensionamento da fiação

Para o dimensionamento da fiação necessária, foi criado um esquema para um inversor, com 3 subgrupos de 20 módulos em cada e feito a ligação assim como demonstrada pela figura 36 e contabilizado as distâncias necessárias para realizar cada ligação em série, o que seria algo em torno de 4,4 metros, e para cada ligação em paralelo. Que seria de 95,9 metros para cada subgrupo à esquerda e a direita do inversor, e 1,4 metros para o subgrupo que comportaria o inversor em seu interior como mostra a figura 37.

Figura 37 - Esquema para ligação de um inversor



Fonte: Autor (2019).

Todas essas dimensões somadas dariam 457,2 metros para cada inversor, ou seja 4,572 quilômetros para toda a estrutura. Como por critérios de segurança, recomenda-se usar 10% de margem devido a desperdício e para evitar escassez, recomendamos a compra de 5,1 quilômetros de fiação.

#### 4.4. Cálculo do custo de implantação da passarela

O custo de implantação da passarela é um fator crucial para determinação da viabilidade econômica, visto que é um dos fatores para determinação da dívida inicial a ser abatida da geração do sistema para que se possa avaliar a viabilidade econômica. Em virtude de ser uma estrutura única, ela não pôde ser encontrada através do SINAPI e nem de outras composições, assim, foi necessário a cotação com empresas para a definição de um valor médio para fabricação e implantação de um módulo que será aplicado no local, assim, através de empresas especializadas em estruturas metálicas, podemos chegar ao valor de R\$ 1.974,241,80 como uma média para implantação dos 300 módulos, como mostra a tabela 8.

Tabela 8 - Custo de implantação de um módulo

<b>Empresa</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Total</b>
Proferro	300	R\$ 11.416,00	R\$ 3.424.800,00
Memps	300	R\$ 9.391,76	R\$ 2.817.528,00
Kiola	300	R\$ 3.103,46	R\$ 931.039,20
Embrafer	300	R\$ 2.412,00	R\$ 723.600,00
<b>Média</b>			<b>R\$ 1.974.241,80</b>

Fonte: Autor (2019).

Ainda, é preciso usar de uma cobertura, visto que a área coberta pelas placas solares não pode ser utilizado para este fim, assim, a melhor solução de forma a ser adaptável ao percurso, resistente à danos externos e ainda possibilitar a passagem de luz foram as chapas de policarbonato que foram obtidas através da Secretaria de Infraestrutura (SEINFRA) do Estado do Ceará, porém, visto que essa cotação é de uma empresa em localidade diferente, ainda foi necessário a pesquisa em mais duas empresas para tirar uma média de preço das chapas de policarbonato, valor que é demonstrado pela tabela 9.

Tabela 9 - Custo de implantação das chapas de policarbonato

<b>Empresa</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Total</b>
SEINFRA	2.500 m <sup>2</sup>	R\$ 101,00	R\$ 252.500,00
DWGA	2.500 m <sup>2</sup>	R\$ 80,39	R\$ 200.982,00
PolySolution	2.500 m <sup>2</sup>	R\$ 110,94	R\$ 277.350,00
<b>Média</b>			<b>R\$ 243.610,67</b>

Fonte: Autor (2019)

#### 4.5. Cálculo do custo de implantação do sistema fotovoltaico

Para ser possível obter o custo de implantação do sistema fotovoltaico, é necessário dividir o mesmo em quatro etapas: o custo dos painéis, o custo dos inversores, dos controladores de carga e da fiação elétrica. Todos esses componentes devem ser cotados em pelo menos 3 estabelecimentos comerciais e deve ser estabelecido uma média de preço entre eles para se ter uma estimativa mais realista dos custos orçados, esse método foi usado ao longo de todo o trabalho. Os custos para aquisição dos painéis são explicitados pela tabela 9.

Tabela 10 - Custo de aquisição dos painéis solares

<b>Fonte</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Total</b>
Casa do Micro Inversor	600	R\$ 785,00	R\$ 471.000,00
Minha Casa Solar	600	R\$ 531,03	R\$ 318.618,00
Energy One	600	R\$ 720,00	R\$ 432.000,00
<b>Média</b>			<b>R\$ 407.206,00</b>

Fonte: Autor (2019).

Para a devida adequação de 600 módulos, é inviável fazer com que eles se liguem infinitamente em paralelo, então o sistema deve ser subdividido em 10 sistemas independentes com um inversor Fronius Symo 20.0-3-M 20kW em cada, esse inversor foi escolhido pois o mesmo suporta é capaz de suportar 3 conjuntos de 20 módulos em série sem ficar acima das suas especificações, sem falar que a facilidade de um controle via aplicativo de garante uma grande facilidade na manutenção. A aquisição de tais equipamentos pode ser mensurada de acordo com as médias obtidas e apresentadas na tabela 11.

Tabela 11 - Custo de aquisição dos inversores

<b>Fonte</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Total</b>
NeoSolar	10	R\$ 23.240,70	R\$ 232.407,00
Minha Casa Solar	10	R\$ 19.036,17	R\$ 190.361,70
Energy Shop	10	R\$ 20.159,04	R\$ 201.590,40
<b>Média</b>			<b>R\$ 208.119,70</b>

Fonte: Autor (2019).

Ainda é possível analisar o custo necessário para aquisição de toda a fiação para ligar o sistema propriamente, tanto para a conexão entre placas, quanto para conexão aos controladores de carga e inversores próprios para cada subsistema sempre adequando uma folga de 10% para garantir contra possíveis perdas. Assim, os custos podem ser evidenciados pela tabela 12.

Tabela 12 - Custo de aquisição da fiação elétrica

<b>Fonte</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Total</b>
NeoSolar	5.100 m	R\$ 5,69	R\$ 29.019,00
Eletroluz	5.100 m	R\$ 4,36	R\$ 22.239,57
60Hz	5.100 m	R\$ 7,20	R\$ 36.720,00
<b>Média</b>			<b>R\$ 29.326,19</b>

Fonte: Autor (2019).

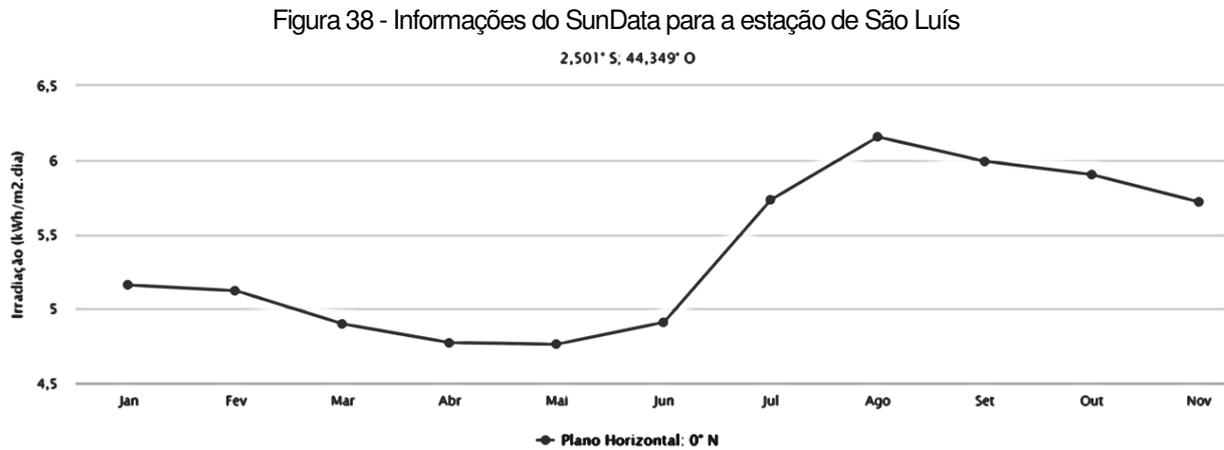
Com os valores obtidos acima, é possível analisar que o custo de implantação médio de todos os componentes necessários para a estrutura operar corretamente é de R\$ 2.874.590,36 e, com esse valor, é possível estimar a sua viabilidade econômica.

#### **4.6. Avaliação da geração de energia ao campus**

Em posse do modelo escolhido e da área que queremos implantar os modelos, podemos saber a geração de energia do sistema através da multiplicação da potência total das placas, visto que 600 placas de 330Wp são equivalentes a um sistema de 198 kWp.

Usando os valores de 2,53073º para latitude sul e 44,3068º para longitude oeste, podemos entrar no portal SunData da CRESESB para obter a irradiação solar média na estação mais próxima ao ponto de instalação da estrutura que, de acordo com o exibido na

figura 38, é a estação localizada em São Luís à 5,7 quilômetros de distância do ponto de instalação, com latitude 2,501º sul e 44,349º norte, nos indicando uma irradiação média no plano horizontal de 5,36 para essa região.



Fonte: CRESESB (2019).

Assim, podemos seguir e avaliar as perdas do sistema de acordo com os dados coletados pela Fotaic, empresa especializada na instalação e dimensionamento de estruturas fotovoltaicas ligadas à rede, onde, após anos de pesquisa, resultou nos dados da tabela 12.

Tabela 13 - Porcentagem de perdas

Motivo da Perda	Mínimo	Máximo
Temperatura	7,0%	18,0%
Incompatibilidade Elétrica	1,0%	2,0%
Acúmulo de Resíduos	1,0%	8,0%
Cabeamento CC	0,5%	1,0%
Cabeamento CA	0,5%	1,0%
Inversor	2,5%	5,0%

Fonte: Fotaic (2017).

E ainda podemos incluir a perda por sombreamento que foi medida no local de instalação fazendo uso de uma carta solar para maior precisão, em todo o percurso, usando a calçada já existente, existem pontos onde árvores e edificações podem causar sombreamento na estrutura, reduzindo a sua capacidade de produção. Assim, em todo o nosso percurso existem cinco zonas de sombreamento em virtude da vegetação local, totalizando 385 metros

de possibilidade de sombreamento da estrutura em diversas posições, o que nos leva a 24% da área total sombreada, reduzindo em 17% o nosso rendimento.

Assim, usando a equação 1, podemos obter o resultado de geração de energia quando usamos as perdas médias de rendimento para cada uma das situações descritas acima, totalizando 40,75% de perda média de rendimento. Como indicado pela equação 2.

Com esse valor conseguimos obter o valor de 18.943,85 kWh/mês para 30 dias de operação do sistema, o que nos torna possível de usar o valor para abatimento nas contas de energia da universidade e podendo calcular o tempo de retorno do investimento.

#### 4.7. Tempo de retorno do investimento

Após o dimensionamento do sistema e na posse das faturas de energia da instituição, é possível fazer uma análise do tempo de retorno do investimento o que torna possível observar a quantidade de tempo que será necessária para que a instalação possa ser efetivamente benéfica à instituição.

Ainda é possível identificar que devido os medidores de energia da universidade são divididos por instalações, é necessário fazer uma separação de cada instalação para a correta obtenção das tarifas atribuídas a cada termo do demonstrativo, visto que é aplicado uma tarifa para cada consumo registrado como demonstrado na tabela 14.

Tabela 14 - Tarifas aplicadas nos meses de janeiro, março, maio, julho e setembro

Referência	01/19	03/19	05/19	07/19	09/19	Média
<b>Consumo</b>	0,69718	0,71227	0,71220	-	-	<b>0,70560</b>
<b>Fora Ponta</b>	0,33968	0,34705	0,34704	0,34697	0,29596	<b>0,33883</b>
<b>Ponta</b>	2,26274	2,31179	2,31177	2,31129	2,21602	<b>2,28426</b>
<b>Ativa</b>	24,26234	24,78827	24,78800	24,78286	24,20107	<b>24,54191</b>
<b>Ultrapassagem</b>	-	49,57651	49,57602	49,56573	-	<b>49,35015</b>
<b>Excedente NP</b>	0,29843	0,30486	0,30386	0,30482	-	<b>0,30225</b>
<b>Excedente FP</b>	0,29843	0,30490	0,30489	0,30483	0,25144	<b>0,29673</b>

Fonte: Autor (2019).

Com os consumos de cada mês em mãos, disponibilizados pela Universidade Estadual do Maranhão, foi possível identificar, nos demonstrativos, que a conta de luz da universidade é uma fatura agrupada, por isso, é necessário que se identifique quais as

edificações pertencem ao campus Paulo VI e fazer o somatório de todo o consumo, ainda, usando o número total de placas e as equações 1 e 2 é possível encontrar a geração energética fornecida pelo sistema fotovoltaico. Assim, os consumos energéticos realizados pelo campus universitário e a geração energética são apresentados pela tabela 15.

Tabela 15 - Custo evitado por ano

<b>Ano</b>	<b>Consumo Energético (kWh/ano)</b>	<b>Geração Energética (kWh/ano)</b>
1	6.612.735,705	227.326,176
2	6.612.735,705	225.431,791
3	6.612.735,705	223.553,193
4	6.612.735,705	221.690,250
5	6.612.735,705	219.842,831
10	6.612.735,705	210.834,115
15	6.612.735,705	202.194,557
20	6.612.735,705	193.909,032
25	6.612.735,705	185.963,030

Fonte: Autor (2019).

Por fim é possível usar os valores de consumo energético e a geração do sistema para obter o custo estimado a ser cobrado pela companhia de energia e o custo que os módulos reduziram desse custo usando de uma estimativa da tarifa, para determinar, em valores financeiros atuais, ou seja, sem reajuste do valor tarifário cobrado pela companhia e sem considerar a inflação anual, como mostra a tabela 16.

Tabela 16 – Cálculo do custo de consumo e geração simples

<b>Ano</b>	<b>Tarifa Aplicada (R\$/kWh)</b>	<b>Custo do Consumo</b>	<b>Custo da Geração</b>
1	0,706	R\$ 4.665.946,31	- R\$ 160.401,35
2	0,706	R\$ 4.665.946,31	- R\$ 159.064,67
3	0,706	R\$ 4.665.946,31	- R\$ 157.739,13
4	0,706	R\$ 4.665.946,31	- R\$ 156.424,64
5	0,706	R\$ 4.665.946,31	- R\$ 155.121,10
10	0,706	R\$ 4.665.946,31	- R\$ 148.764,55

(continuação da tabela 16)

<b>Ano</b>	<b>Tarifa Aplicada (R\$/kWh)</b>	<b>Custo do Consumo</b>	<b>Custo da Geração</b>
15	0,706	R\$ 4.665.946,31	- R\$ 142.668,48
20	0,706	R\$ 4.665.946,31	- R\$ 136.822,21
25	0,706	R\$ 4.665.946,31	- R\$ 131.215,51

Fonte: Autor (2019).

Porém, visto que esses valores são reajustados anualmente, precisa-se fazer um ajuste da tarifa anualmente crescendo, em seu valor, a média dos últimos 3 resultados anuais inflacionários do país, que resultou em 4,33% e um valor médio de reajuste anual das tarifas, que, de acordo com Nakabayashi (2015) é de 9,75%. Essas análises nos levam aos resultados da tabela 17.

Tabela 17 - Custo do custo de consumo e de geração descontado

<b>Ano</b>	<b>Tarifa Aplicada (R\$/kWh)</b>	<b>Custo do Consumo</b>	<b>Custo da Geração</b>
1	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 138.494,01
2	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 137.344,51
3	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 136.204,55
4	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 135.074,06
5	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 133.952,94
10	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 128.485,41
15	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 123.241,05
20	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 118.210,75
25	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 113.385,76

Fonte: Autor (2019).

Em posse dos valores supracitados, aliados aos custos para implantação do sistema, é possível verificar em quanto tempo o investimento é pago, se será possível fazer um novo investimento no fim da vida útil do sistema e o custo final a ser pago de energia a partir da redução de custos gerado pela energia fotovoltaica.

Para isso foi elaborado uma tabela a partir da dívida gerada pela implantação do sistema, esse valor vai ser subtraído todos os meses pelo custo da geração energética, reduzindo a dívida todos os meses, a fim de encontrar em que ponto essa dívida foi paga e se será possível obter, ao fim da vida útil, um novo sistema. Assim, o custo final para a universidade, levando em consideração a implantação, vai ser dado pela soma do custo do consumo, da manutenção periódica, que inclui a reposição dos inversores a cada 10 anos, e a reposição do sistema de painéis solares, conectores e fiação a cada 25 anos, de acordo com a vida útil fornecida pelos fabricantes (custo positivo) e do custo da geração (custo negativo) gerando um valor para que seja possível analisar se, em algum ponto a geração energética vai capaz de gerar um acumulado financeiro positivo a fim de possibilitar novos investimentos, como mostra a tabela 18.

Tabela 18 - Viabilidade econômica da estrutura

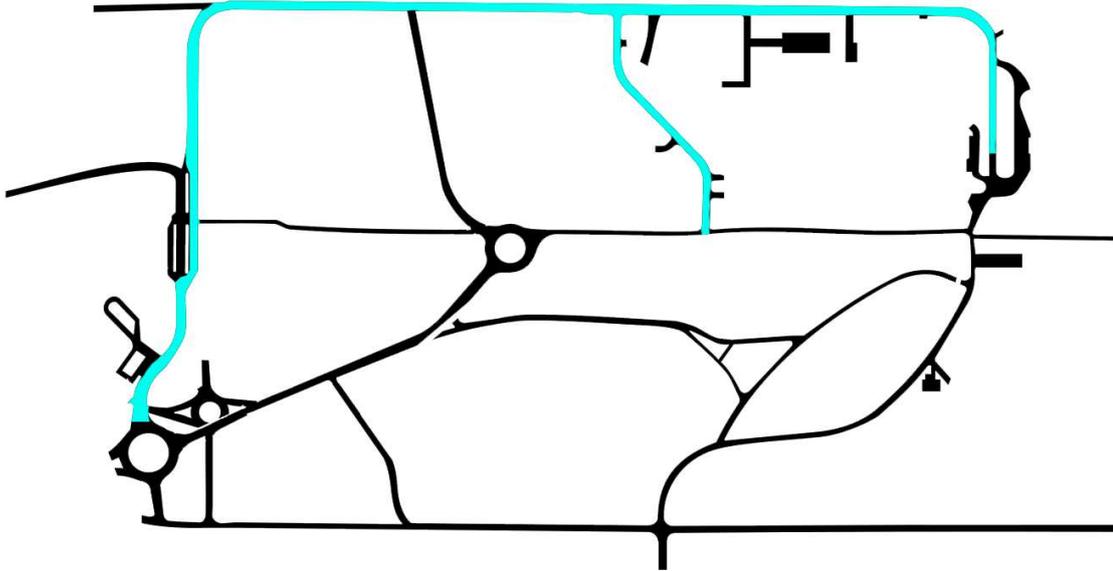
Ano	Custo Evitado	Dívida Restante	Custo de Manutenção	Redução
0	-	R\$ 2.874.590,36	-	-
1	-R\$ 138.494,01	R\$ 2.736.096,34	-	-2,968%
2	-R\$ 137.344,51	R\$ 2.598.751,83	-	-2,944%
3	-R\$ 136.204,55	R\$ 2.462.547,27	-	-2,919%
4	-R\$ 135.074,06	R\$ 2.327.473,22	-	-2,895%
5	-R\$ 133.952,94	R\$ 2.193.520,28	-	-2,871%
10	-R\$ 128.485,41	R\$ 1.540.249,29	R\$ 208.119,70	-2,754%
15	-R\$ 123.241,05	R\$ 913.642,74	-	-2,619%
20	-R\$ 118.210,75	R\$ 312.612,25	R\$ 208.119,70	-2,533%
22	-R\$ 116.256,59	R\$ 79.126,06	-	-2,492%

Fonte: Autor (2019).

#### 4.8. Possibilidade de novas instalações

Ainda é possível levar em consideração novas implantações, para isso, foi criado um novo caminho hipotético, que sairia da própria estrutura, partindo da rotatória de entrada da universidade, seguindo o mesmo caminho percorrido pelo transporte público até a sua finalização em frente ao hospital veterinário do campus, ainda, com uma ligação entre as duas linhas da passarela, passando pelos prédios de matemática e a lateral da biblioteca, fazendo com que a passarela pudesse atender todas as edificações, como mostra a figura 39.

Figura 39 - Proposta de roteiro complementar



Fonte: Autor (2019).

A partir desse novo trecho, deve-se repetir todo o processo, alcançando o valor de 1,514 quilômetros de extensão, que suportariam 780 painéis em 390 módulos para que mantivéssemos o padrão de 60 painéis por inversor. Assim, teríamos uma geração de 295,524 MW de energia anuais, onde poderíamos somar aos 227,326 MW da etapa principal e obter novos custos de geração como mostra a tabela 19.

Tabela 19 - Custo total do trecho opcional

<b>Ano</b>	<b>Tarifa (R\$/kWh)</b>	<b>Custo do Consumo</b>	<b>Custo da Geração</b>
1	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 180.042,22
2	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 178.541,87
3	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 177.054,02
4	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 175.578,57
5	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 174.115,42
10	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 166.980,52
15	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 160.138,00
20	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 153.575,87
25	0,706	R\$ 4.665.946,31	-R\$ 147.282,64

Fonte: Autor (2019).

Esses valores só serão capazes de operar com um novo investimento, visto que seria necessários 780 painéis solares e inversores, 13 inversores, 6,6 quilômetros de fios, 390 módulos estruturais, 3.000 metros quadrados de chapas de policarbonato, que, somados aos custos do primeiro trecho, elevariam o custo de implantação para R\$ 3.712.433,89, levando a novos cálculos do tempo de retorno, manutenção do sistema fotovoltaico e da redução de custo como mostra a tabela 20.

Tabela 20 - Tempo de retorno do investimento descontado para os trechos

<b>Ano</b>	<b>Custo Evitado</b>	<b>Dívida Restante</b>	<b>Manutenção</b>	<b>Redução</b>
0	-	R\$ 3.712.433,89	-	-
1	- R\$ 208.521,75	R\$ 3.503.912,14	-	8,586%
2	- R\$ 236.772,26	R\$ 3.267.139,87	-	8,508%
3	- R\$ 268.850,15	R\$ 2.998.289,73	-	8,432%
4	- R\$ 305.273,94	R\$ 2.693.015,79	-	8,356%
5	- R\$ 346.632,42	R\$ 2.346.383,36	-	8,281%
10	- R\$ 654.284,22	- R\$ 232.098,19	R\$ 396.222,75	2,981%
15	- R\$ 1.234.990,78	- R\$ 5.099.097,60	-	7,568%
20	- R\$ 2.331.100,40	- R\$ 14.285.776,97	R\$ 605.384,76	5,260%
25	- R\$ 4.400.056,42	- R\$ 31.626.045,74	R\$ 2.360.851,35	3,095%

Fonte: Autor (2019).

De acordo com todos os dados obtidos através dos cálculos, é possível comparar o decaimento da dívida ao longo dos anos para cada trecho, individualmente e em conjunto onde podemos entender em que ponto a estrutura será paga, qual das situações tem melhor benefício e se o valor economizado é capaz de suportar novo investimento. Assim, pode-se observar que em todos os trechos a estrutura está paga a partir do vigésimo ano de operação desconsiderando qualquer reajuste, assim podemos comparar as opções de instalação de acordo com a economia gerada por cada trecho como demonstra a tabela 21.

Tabela 21 - Comparação do tempo de retorno simples

<b>Ano</b>	<b>Trecho Principal (1,168km)</b>	<b>Trecho Opcional (1,514km)</b>	<b>Somatório dos Trechos (2,682km)</b>
<b>Investimento</b>	<b>R\$ 2.874.590,36</b>	<b>R\$ 3.712.433,89</b>	<b>R\$ 6.587.024,25</b>
1	R\$ 2.714.189,01	R\$ 3.503.912,14	R\$ 6.218.101,14
2	R\$ 2.555.118,99	R\$ 3.297.128,06	R\$ 5.852.240,10
3	R\$ 2.397.369,25	R\$ 3.092.067,19	R\$ 5.489.415,70
4	R\$ 2.240.928,84	R\$ 2.888.715,15	R\$ 5.129.602,75
5	R\$ 2.085.786,88	R\$ 2.687.057,72	R\$ 4.772.776,24
10	R\$ 1.329.179,83	R\$ 1.703.699,38	R\$ 3.032.580,03
15	R\$ 603.455,05	R\$ 760.637,07	R\$ 1.363.413,04
20	-R\$ 92.647,97	-R\$ 143.780,47	-R\$ 237.623,90
25	-R\$ 760.338,29	-R\$ 1.011.136,80	-R\$ 1.773.311,64
<b>Economia</b>	<b>-R\$ 760.338,29</b>	<b>-R\$ 1.011.136,80</b>	<b>-R\$ 1.773.311,64</b>

Fonte: Autor (2019).

Se considerarmos a evolução das taxas de acordo com a inflação e o reajuste anual, o sistema passa a ser pago em apenas 10 anos de operação e possui valores de economia bem mais expressivos ao longo dos anos, sendo capaz de realizar a instalação de novos trechos se necessário como demonstra a tabela 22.

Tabela 22 - Comparação do tempo de retorno descontado

<b>Ano</b>	<b>Trecho Principal (1,168km)</b>	<b>Trecho Opcional (1,514km)</b>	<b>Somatório dos Trechos (2,682km)</b>
<b>Investimento</b>	<b>R\$ 2.874.590,36</b>	<b>R\$ 3.712.433,89</b>	<b>R\$ 6.587.024,25</b>
1	R\$ 2.714.189,01	R\$ 3.503.912,14	R\$ 6.218.101,14
2	R\$ 2.532.050,38	R\$ 3.267.139,87	R\$ 5.799.182,29
3	R\$ 2.325.228,67	R\$ 2.998.289,73	R\$ 5.323.492,37
4	R\$ 2.090.378,88	R\$ 2.693.015,79	R\$ 4.783.337,86
5	R\$ 1.823.702,71	R\$ 2.346.383,36	R\$ 4.169.982,66
10	-R\$ 160.228,16	-R\$ 232.098,19	-R\$ 393.058,34
15	-R\$ 3.905.615,88	-R\$ 5.099.097,60	-R\$ 9.007.450,10

(continuação da tabela 22)

<b>Ano</b>	<b>Trecho Principal (1,168km)</b>	<b>Trecho Opcional (1,514km)</b>	<b>Somatório dos Trechos (2,682km)</b>
20	-R\$ 10.976.391,08	-R\$ 14.285.776,97	-R\$ 25.270.233,06
25	-R\$ 24.325.038,98	-R\$ 31.626.045,74	-R\$ 55.972.123,23
<b>Economia</b>	<b>-R\$ 24.325.038,98</b>	<b>-R\$ 31.626.045,74</b>	<b>-R\$ 55.972.123,23</b>

Fonte: Autor (2019).

Podemos então, expandir os nossos resultados para encontrar o custo evitado todos os meses pelo sistema dividindo o custo anual pelo número de meses do ano e subtraindo o mesmo gradativamente do valor investido, criando um banco de dados extenso para ter uma precisão maior na obtenção da data em que o sistema passa a gerar lucro à instituição. Assim, é possível obter os resultados apresentados resumidos pela tabela 23.

Tabela 23 - Comparação dos resultados do EPBT

<b>Trecho</b>	<b>Tipo de EPBT</b>	<b>Ano</b>	<b>Mês</b>	<b>Dia</b>
Principal (1,168km)	Simple	20	5	3
Opcional (1,514km)	Simple	20	3	15
Somatório (2,682km)	Simple	20	4	6
Principal (1,168km)	Descontado	23	9	12
Opcional (1,514km)	Descontado	23	7	12
Somatório (2,682km)	Descontado	23	8	8

Fonte: Autor (2019).

## **5. CONCLUSÃO**

O presente trabalho foi capaz de mostrar que as energias renováveis são capazes de gerar uma economia de grande valia a longo prazo, apesar de serem onerosas em um primeiro momento. Assim, foi possível perceber que o custo do sistema fotovoltaico é pouco oneroso quando comparado a de toda a estrutura, representando 22,85% e que mesmo assim foi capaz de apresentar resultados positivos, visto que a dívida inicial da estrutura foi paga em 23 anos de operação considerando o tempo de retorno descontado, o que indica que o investimento é viável e se paga ao longo de sua vida útil.

Ainda foi possível analisar, dividindo o custo final pelo custo de consumo de um mesmo ano, a taxa de redução energética providenciada pelo sistema, que chegou 5,587% e possibilitou até 7,216 milhões de reais de economia quando com trechos combinados, e, no trecho principal fez com que o custo a ser pago pela instituição ao longo de 25 anos, que seria de R\$ 116.648.657,83 fosse reduzido de R\$ 7.216.910,13, que, abatido das manutenções que custariam R\$ 2.467.675,26 levaria a uma economia de R\$ 4.749.234,87 nos cofres públicos, sendo capaz de suportar uma nova instalação e, ainda, novos investimentos.

É válido frisar que o trabalho levou em consideração um pórtico assumindo a capacidade de suporte dela, tendo sido analisada apenas por ferramentas computacionais e nenhum dimensionamento foi apresentado, o que pode, gerar alterações nos custos, assim como a indisponibilidade de modelos apresentados, reajustes de preços realizados pelos fabricantes. Ao longo do trabalho foram necessárias, ainda, algumas simplificações de cálculos e tabelas para a melhor apresentação do conteúdo disponibilizado, utilizando sempre de situações hipotéticas como média de valores orçados, tarifas energéticas e reajustes anuais.

### **5.1. Sugestões para futuros trabalhos**

Apesar das simplificações e das características assumidas não representarem grandes modificações no trabalho quanto aos bons resultados apresentados, é visto que o estudo de novas possibilidades de inserção do sistema e o estudo do dimensionamento uma estrutura capaz de acomodar um sistema fotovoltaico na cobertura seria benéfico para aumentar a precisão dos resultados e até potencializá-los. É possível analisar se, economicamente, a implantação de um sistema fotovoltaico na cobertura das edificações poderia aumentar os resultados positivos apresentados.

Outra solução diferente da apresentada neste trabalho seria a instalação de uma usina solar fotovoltaica na região próxima à Vila de Containers, onde, com um cálculo rápido da área construída, seria possível implantar uma usina de dimensão suficiente para suportar toda a capacidade de consumo da universidade, gerando superávit energético sem a total necessidade de uma estrutura inferior para operação.

Para que a perda de rendimento ocasionada devido ao sombreamento possa ser devidamente calculada, é possível realizar um estudo tendo como base o posicionamento das árvores e do sol no campus, permitindo um resultado mais preciso, visto que é um trabalho de suma importância quando se trabalha com energia fotovoltaica voltada para instalações em altura reduzida, diferente do apresentado em coberturas.

Ainda é possível tratar de um estudo sobre as tarifas cobradas pela concessionária para as contas da instituição visto que valores de consumo por ultrapassagem, ativa e excedente são onerosos e podem, eventualmente ser reduzidos com um melhor dimensionamento, evitando a cobrança de tarifas elevadas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **BIG - Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <http://bit.ly/28INSwk>. Acesso em 02 ago. 2019

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Registros de Micro e Minigeradores distribuídos efetivados na ANEEL**. Disponível em: <http://bit.ly/28JOOFJ>. Acesso em 02 ago. 2019

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatórios de Consumo e Receita de Distribuição. Consumidores, Consumo, Receita e Tarifa Média – Região, Empresa e Classe de Consumo**. Disponível em: <http://bit.ly/1SZ4qZB>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14039: **Instalações elétricas em média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV**. Rio de Janeiro, 2008

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 60529: **Graus de proteção providos por invólucros (Códigos IP)**. Rio de Janeiro, 2017

BRAGA, R. P. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro, 2008.

COMPANHIA ENERGÉTICA DO MARANHÃO S.A. NT.31.002: **Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão (15 e 36,2 kV)**. Maranhão, 2005

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGISO DE S. BRITO. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGISO DE S. BRITO. **Potencial Solar – SunData v 3.0**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em 09 set. 2019

DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Rio de Janeiro: Ipea, 2018.

FOTAIC. **Manual da Energia Solar**. Disponível em: <https://fotaic.com.br/files/uploads/downloads/fotaic-o-manual-da-energia-solar.pdf>. Acesso em 01 nov. 2019

FUKUROZAKI, Sandra Harumi; PASCHOAL, José Octavio Armani. **Avaliação do ciclo de vida de tecnologias fotovoltaicas: Panorama atual do tempo de retorno de investimentos em energia e custos associados**. III Congresso de Energia Solar, 2010.

GREENPEACE. **Hidrelétricas na Amazônia: um mau negócio para o Brasil e para o mundo**. Disponível em: <http://bit.ly/28JQgbl>. Acesso em 03 ago. 2019

HAGENS, Nathan John; MULDER, Kenneth. **A Framework for Energy Alternatives: Net Energy, Liebig's Law and Multi-criteria Analysis**. Dordrecht: Springer, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos, 2006.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. **Energy balance of non-OECD countries (2014 edition)**. IEA energy statistics (Beyond 20/20). Paris, International Energy Agency.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics 2015**. Disponível em: <http://bit.ly/1PDDLtQ>. Acesso em 02 ago. 2019

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. **Statistic data browser**. Disponível em: <https://www.iea.org/statistics/?country=BRAZIL&year=2016&category=Electricity&indicator=ShareElecGenByFuel&mode=chart&dataTable=ELECTRICITYANDHEAT>. Acesso em 09 set. 2019

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2015**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2015>. Acesso em 02 ago. 2019

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. Disponível em: <http://bit.ly/1SmCF7z>. Acesso em 02 ago. 2019

NAKABAYASHI, Renny Kunizo. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

RIBEIRO, W. (2011). **Oferta e estresse hídrico na região Metropolitana de São Paulo**. Estudos Avançados, 25(71), 119-133. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10602>. Acesso em 02 ago. 2019

SHAYANI, R. A. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais**. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Brasília, 2006.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Editora Érica, 2012.

ZOMER, Clarissa Debiazi. **Método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas fotovoltaicos integrados em edificações**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Florianópolis, SC, 2014.

**ANEXOS**

## ANEXO A – ORÇAMENTO REALIZADO COM A EMPRESA EMBRAFER



### 5.0 Responsabilidade do cliente

- 5.1 Fornecimento de projetos arquitetônicos/complementares, especificações.
- 5.2 Fornecimento de água, luz e sanitários para realização dos trabalhos.
- 5.3 Segurança dos materiais, ferramentas e equipamentos postos na obra.
- 5.4 Eventuais fornecimentos ou serviços não mencionados nessa proposta.

### 6.0 Normas técnicas empregadas

- 6.1 NBR 8800 - Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.
- 6.2 NBR 14762 - Dimensionamento de estruturas constituídas por perfis formado a frio.
- 6.3 NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.
- 6.4 NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações.
- 6.5 NBR 8681 - Ações e seguranças nas estruturas
- 6.6 NBR 6323 - Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido.
- 6.7 AWS - American Welding Society.
- 6.8 ASTM - American Society for Testing and Materials.
- 6.9 AISI - American Iron and Steel Institute.

### 7.0 Garantia

- 7.1 A garantia pelos materiais fornecidos e os serviços executados será de 05 (cinco) anos, de acordo com o Artigo 618 Código Civil Brasileiro, exceto nos casos de má utilização/manutenção das estruturas ou danos por acidente.

### 8.0 Valor da obra

- 8.1 **R\$ 1.447,00 (Um mil, quatrocentos e quarenta e sete reais). Estrutura**  
**R\$ 965,00 (Novecentos e sessenta e cinco reais). Mão de obra**

**Total R\$ 2.412,00 (Dois mil, quatrocentos e doze reais).**

### 9.0 Condições de pagamento

- 9.1 40% fechamento do contrato.
- 9.2 40% na entrega das estruturas metálicas no local da obra.
- 9.3 20% na conclusão da montagem das estruturas metálicas.

### 10.0 Prazo de execução

- 10.1 Validade da proposta: 10 dias.
- 10.2 Prazo fabricação: 45 dias
- 10.3 Prazo para montagem estruturas e instalação: 5 dias

Colocamo-nos a sua inteira disposição para prestar-lhes quaisquer informações.

Atenciosamente,

#### EMBRAFER CONSTRUÇÕES METÁLICAS

Evandro Schneider – Engenheiro Vendas

Celular / WhatsApp - (41) 999048726

E-mail: evandro@embrafer.com

Fone: (41) 3082 8850

**ALBUNS OLIENTES  
QUE ESCOLHERAM A EMBRAFER**



## ANEXO B – ORÇAMENTO REALIZADO COM A EMPRESA MEMPS



MEMPS – MONTAGEM ELETROMECÂNICA MANUTENÇÃO E PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS

CNPJ: 13.133.387/0001-04

INSC EST. 121.434-842

Revisão: 00

PROPOSTA COMERCIAL TH 114 – 2019

Data: 11/11/2019

### 7. PREÇOS

ITEM	DESCRIÇÃO	UND	QTDE	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
1	Fabricação de estrutura metálica para suporte de placas solares com pintura	1	vb	R\$ 9.391,76	R\$ 9.391,76
				<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 9.391,76</b>

O valor da proposta é de R\$ 9.391,76 (nove mil, trezentos e novena e um reais e setenta e seis centavos)

### 8. REAJUSTE DE PREÇO

Os preços são fixos e irrealizáveis durante o prazo de 90 (noventa) dias.

### 9. DESEQUILIBRIO ECONÔMICO FINANCEIRO DO CONTRATO

Caso haja aumento inesperado de insumos, recrudescimento da inflação ou outros motivos fora do nosso controle que alterem o equilíbrio econômico-financeiro do contrato, os reflexos decorrentes serão negociados em conjunto com V.Sas.

### 10. CONDIÇÕES DE PAGAMENTO

Deverá ser realizado o pagamento de 40% no "de acordo" da presente proposta e o restante de acordo com boletins de medição (BM) emitidos mensalmente baseados na evolução da fabricação e montagem.

### 11. PRAZO PARA ENTREGA

O prazo de entrega será de 8 (oito) dias após o recebimento de toda matéria prima.

### 12. VALIDADE DA PROPOSTA

A Proposta tem validade de 90 (noventa) dias.

## ANEXO C – ORÇAMENTO REALIZADO COM A EMPRESA PROSFERRO



PROSFERRO Metalurgica  
(ALM Correia Metalurgica)  
prosferrro@hotmail.com  
Fone: 98-3222.6230

**Orçamento número 1677**

### DADOS DA VENDA

 Cliente: Universidade Estadual do Maranhão  
 Telefone:  
 E-mail:  
 Endereço: Av. Oeste Externa, 2220,  
São Cristovao,  
São Luís - MA

 Data: 07/11/2019  
 Situação: Ordem de Serviço  
 Vendedor: WANDERSON COELHO MARTINS

### ITENS DA VENDA

Tipo	Descrição	Preço unit.	Quant.	Desconto	Total
Produto	Fabricação e montagem de cobertura metálica: Altura 2,45 x 1,82 de largura.	0,00	1	0,00	0,00
Produto	Pilares em metalon 100x100(14) galvanizado, cobertura em policabornato, pintura anticorrosiva na estrutura metálica.	0,00	1	0,00	0,00
Produto	Valor total.:	11.416,00	1	0,00	11.416,00
<b>TOTAL</b>			<b>3</b>	<b>RS 0,00</b>	<b>R\$ 11.416,00</b>

### FINANCEIRO

Resumo do financeiro:  
A vista, no valor de R\$ 11.416,00

#### Observações gerais

Prazo de entrega de 20 dias úteis.

Obs.: Fornecimento e instalação dos Painéis Solares por conta do contratante.

Proposta válida por 20 dias.

#### Solicitante

Gabriel

Assinatura/Carimbo do cliente: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

# ANEXO D – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL SOLAR

## Mechanical Specification

Cells Type Poly/156.75x156.75mm  
 Weight 22.5kg  
 Dimension (LxWxT) 1956x991~40mm  
 Output Cables TUV, Length900mm, 4.0mm<sup>2</sup>  
 No. of Cells 72 (6x12)  
 Front Glass 3.2mm High Transmission,Low Iron Tempered Glass  
 Frame Anodized Aluminium  
 Junction box IP67, 3 Bypass Diodes  
 Connector MC4 or MC4 Compatible

## Packing Configuration

Container	20GP	40GP	40HC
PCS per pallet	27	27	27
PLT per container	10	24	24
PCS per container	270	648	696

## Operating Parameters

Maximum system voltage DC1000V  
 Operating Temperature (°C) -40 ~+85°C  
 Maximum series fuse rating 15A  
 Snow load,frontside 5400Pa  
 Wind load, backside 2400Pa  
 Nominal operating cell temperature (NOCT) 45°C±2°C  
 Application level Class A

## Electrical Characteristics (Standard Test Conditions)

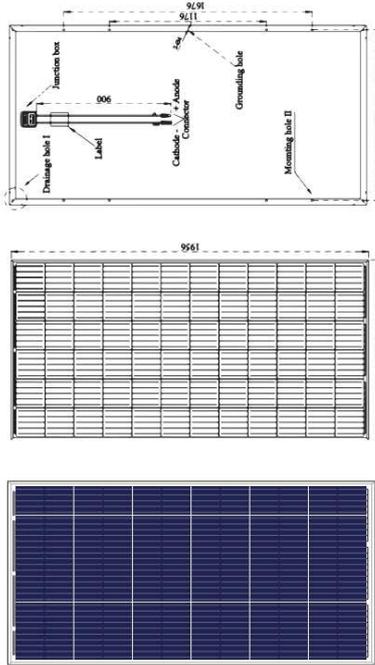
Module Type	DHP72-315	DHP72-320	DHP72-325	DHP72-330
Maximum Power (Pmax)	315W	320W	325W	330W
Open-circuit Voltage (Voc)	45.6V	45.8V	45.9V	46.1V
Maximum Power Voltage (Vmp)	36.9V	37.1V	37.2V	37.3V
Short-circuit Current (Isc)	9.00A	9.10A	9.25A	9.38A
Maximum Power Current (Imp)	8.54A	8.63A	8.76A	8.85A
Module Efficiency (%)	16.25%	16.51%	16.77%	17.02%
Power tolerance	0 ~+5W			
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C			
Temperature Coefficient of Voc	-0.32%/°C			
Temperature Coefficient of Pmax	-0.41%/°C			
Standard Test Environment	Irradiance 1000w/m <sup>2</sup> , Cell temperature 25°C, Spectrum AM1.5			

## Electrical Characteristics (Noct)

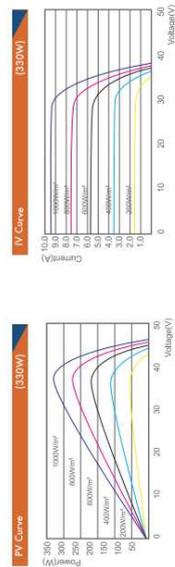
Module Type	DHP72-315	DHP72-320	DHP72-325	DHP72-330
Maximum Power (Pmax)	234W	238W	242W	246W
Open-circuit Voltage (Voc)	42.4V	42.5V	42.6V	42.7V
Maximum Power Voltage (Vmp)	34.3V	34.4V	34.5V	34.6V
Short-circuit Current (Isc)	7.25A	7.35A	7.47A	7.57A
Maximum Power Current (Imp)	6.82A	6.92A	7.02A	7.11A
Standard Test Environment	Irradiance 800w/m <sup>2</sup> , Cell temperature 20°C, Spectrum AM1.5, Wind speed 1m/s			

## DHP72<sup>SB</sup> 315W-330W

Poly crystalline PV Module



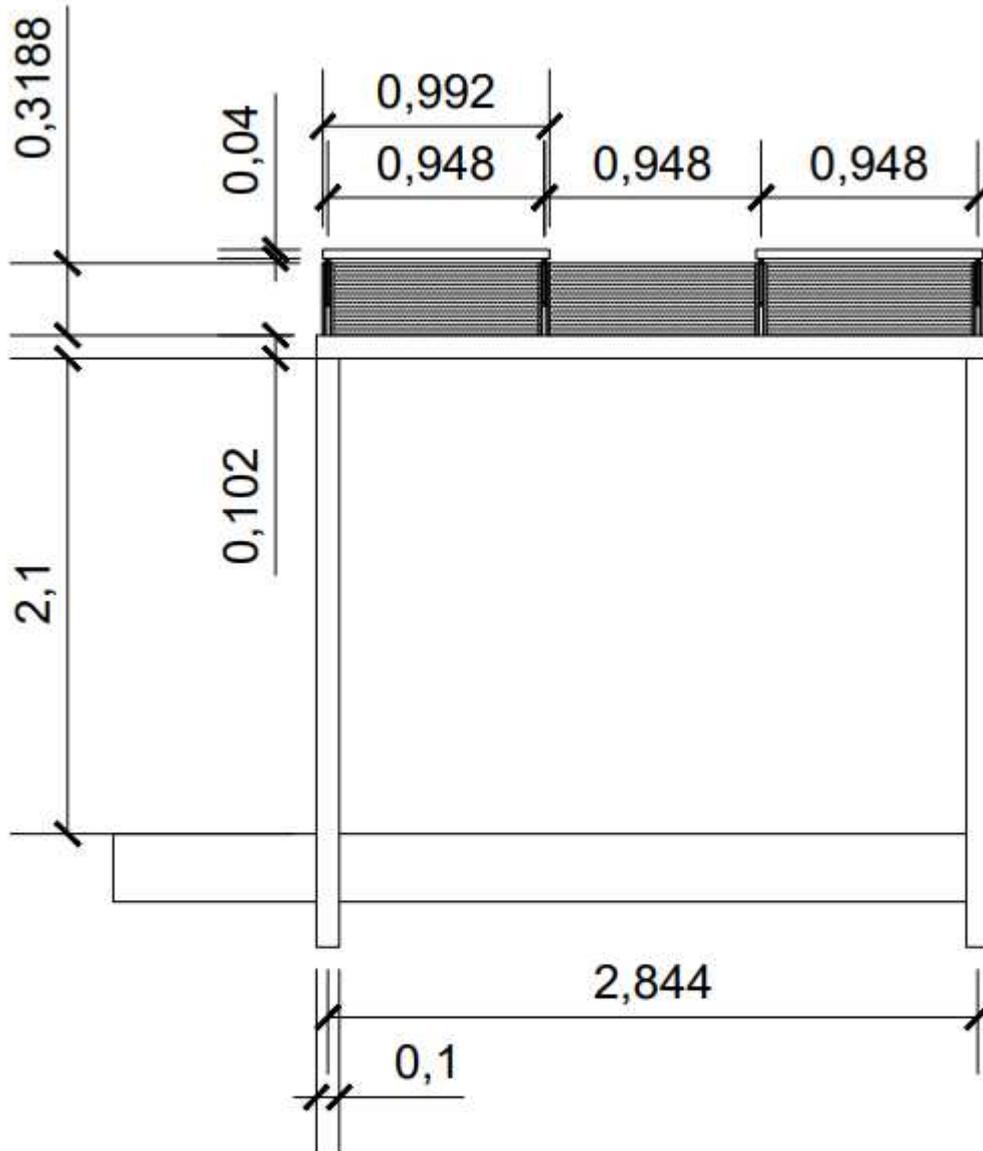
## Function parameter



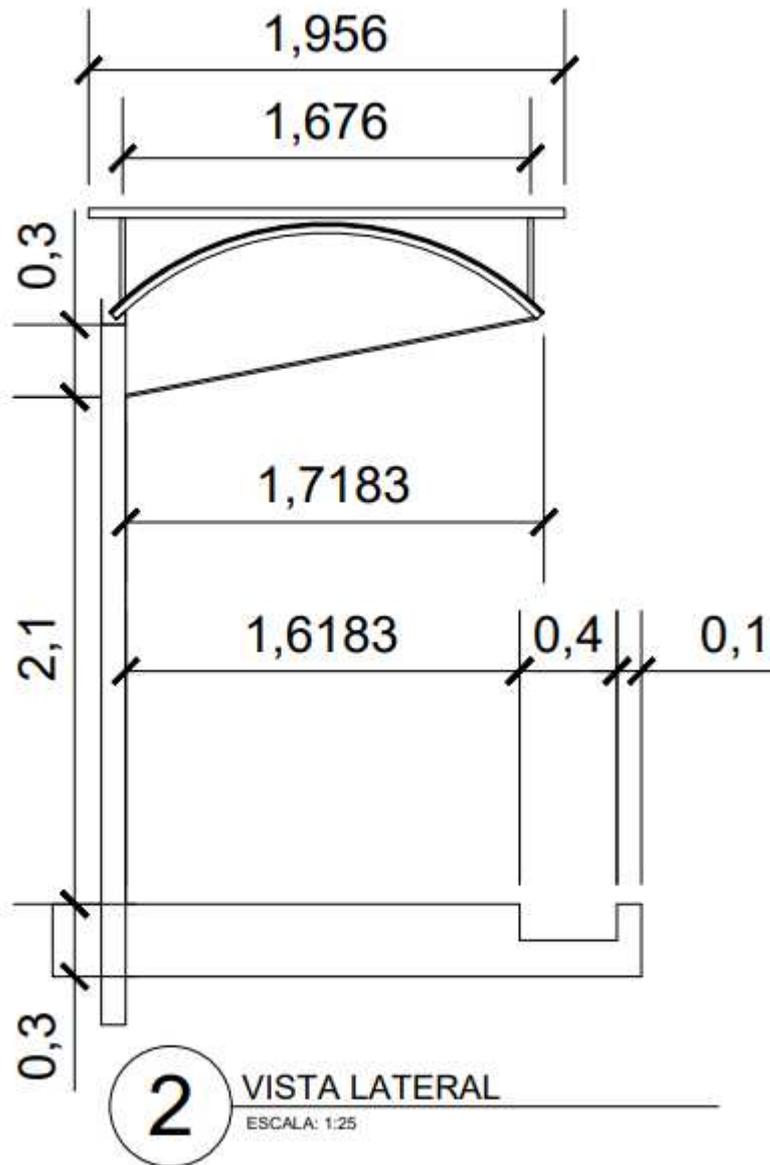
## ANEXO E – EXEMPLO DE DETALHAMENTO DA FATURA DE ENERGIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO (REF. 09/2019)

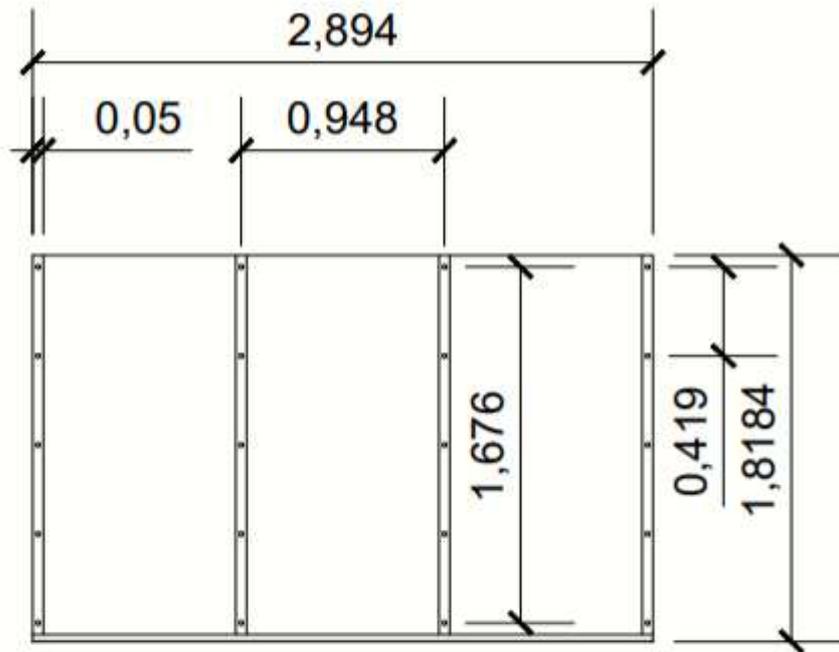
<b>RELACÃO DE FATURAS AGRUPADORAS/AGRUPADAS</b>					
<b>CLIENTE:</b> 1568027 - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO <b>Endereço:</b> MACHADO ASSIS, S/N <b>Referência:</b> 09/2019	<b>COMTA CONTRATO:</b> 00400003811 <b>Município:</b> ITAPECURU MIRIM <b>Documento:</b> 610010020394	<b>Bairro:</b> CAMINHO GRANDE <b>Complemento:</b> UNIV ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA <b>Unidade de Leituras:</b> SLO4A001	<b>Valor:</b> 48528,67 <b>Referência:</b> 09/2019		
<b>Empresa:</b> C001-Cemar <b>Local:</b> SAO LUIS	<b>Endereço:</b> UNIVERSIDADE UEMA, S/N <b>Complemento:</b> LABORATORIO DE SOLO UEMA	<b>Bairro:</b> JD S CRISTOV II <b>Fatura:</b> 020190900711539			
<b>Nome:</b> UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO <b>Instalação:</b> 000211829	<b>Município:</b> SAO LUIS	<b>Data Fat.:</b> 06/09/2019 <b>Dias Fat.:</b> 30 <b>Apres:</b> 07/10/2019	<b>Valor:</b> 14311,66		
<b>Classe Principal</b> 05	<b>Classe de Consumo</b> 5028411600	<b>Tensão</b> A4	<b>Recolhimento:</b> 06/09/2019		
<b>Hash Code:</b> CBEA.3FEB.C087.34FF.E030.9926.5049.DAC4	<b>Nota Fiscal:</b> 000711539	<b>Vector:</b> 21/10/2019	<b>Valor:</b> 14311,66		
Valores de Tributos		Valores Faturados			
Tributos	Base de Cálculo	Aliquota	Valor		
ICMS	0,00	0,00	0,00		
COFINS	11782,11	2,0474	241,43		
PIS	11782,11	0,4445	52,40		
Valores Medidos		Leit. Anterior	Leit. Atual		
Exp. Medidor	Cte.	%FP	Medido		
CAFP	33040024560	1,80	485.560,72		
CANP	33040024560	0,02	3.619.771,00		
CRFP	33040024560	1,80	186.317,48		
GRFP	33040024560	0,02	1.558.220,00		
DAFP	33040024560	0,07	71.685,00		
DANP	33040024560	0,07	29.210,00		
DEFP	33040024560	0,07	1.070,00		
DENP	33040024560	0,07	440,00		
DRFP	33040024560	0,02	256.171,00		
DRANP	33040024560	0,02	103.303,00		
DRFP	33040024560	0,02	3.788,00		
DRNP	33040024560	0,02	1.655,00		
UFPP	33040024560	1,80	4.020,66		
UFNP	33040024560	0,02	44.259,00		
			47.016,00		
			49,63		
			50,87		
Valores Faturados		Descrição	Quantidade	Preço	Valor
		Clp-llum Pub Pref Munic	18.491,49	0,314531	5816,15
		Consumo Fora Ponta	1.435,90	2,197083	3154,91
		Consumo Ponta	80,00	23,741625	1899,33
		Demanda Ativa	50,86	0,272477	13,86
		Consumo Relativo Excedente NF	331,86	0,272735	90,51
		Consumo Relativo Excedente PF			817,45
		Adicional Band. Vermelha			703,92
		Multa			121,59
		Correção Monetária			778,02
		Juros			

ANEXO F – PROJETOS DA ESTRUTURA METÁLICA USADA PARA ORÇAMENTO

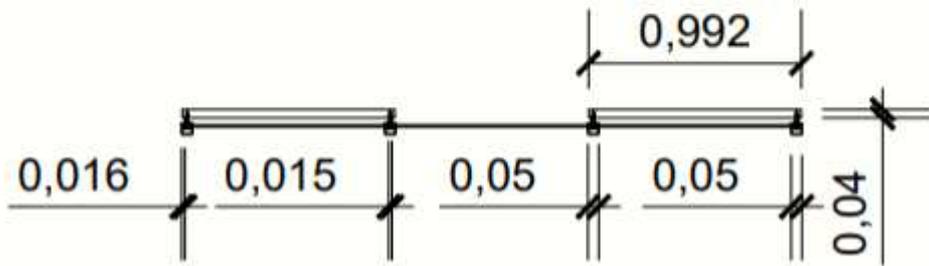


1 VISTA FRONTAL  
ESCALA: 1:25

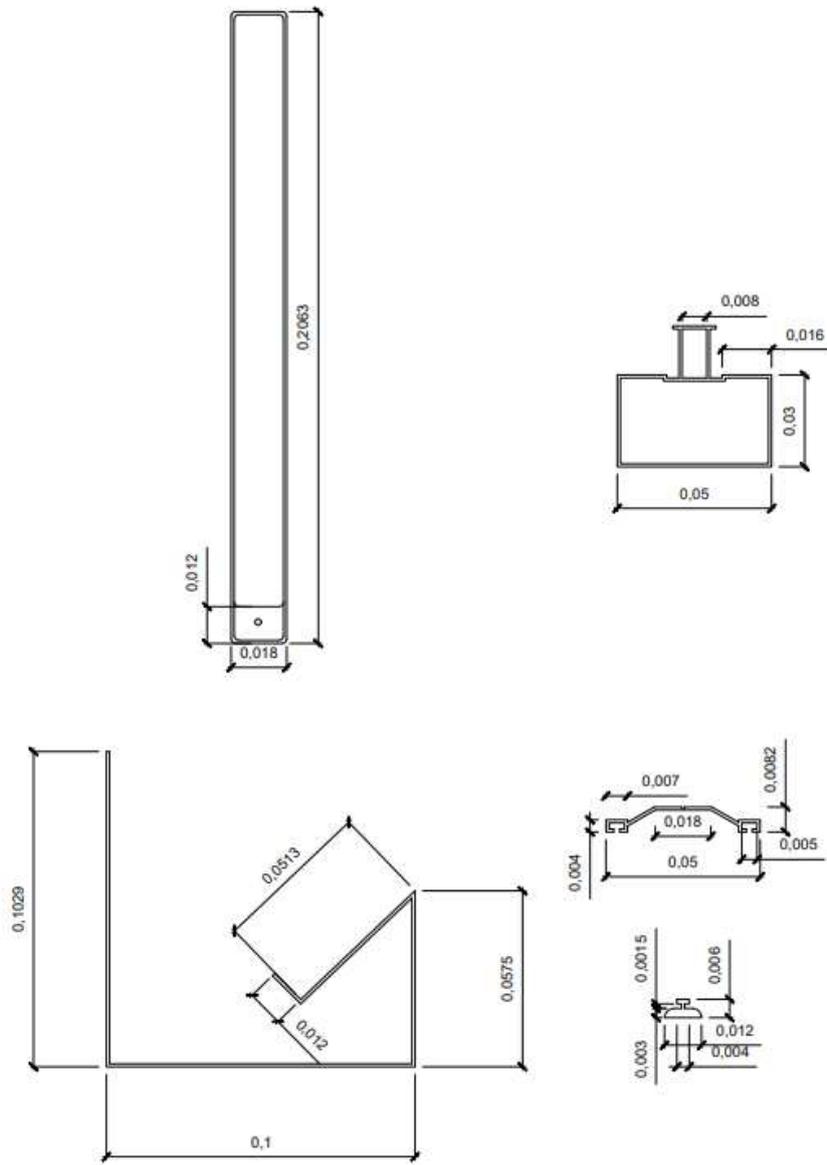




**3** VISTA SUPERIOR  
ESCALA: 1:25



**4** CORTE A-A'  
ESCALA: 1:25



5

PERFIS METÁLICOS

ESCALA: 1:2