

**Universidade Federal da Paraíba
Centro de Energias Alternativas e Renováveis
Departamento de Engenharia Elétrica**

Wisley da Silva Bastos

Estudo de Caso de um Projeto Fotovoltaico Integrado à Edificação

**Paraíba - PB
Out - 2018**

WISLEY DA SILVA BASTOS

**ESTUDO DE CASO DE UM PROJETO FOTOVOLTAICO INTEGRADO
A EDIFICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica como um dos pré-requisitos para a obtenção do título em Bacharel em Engenharia Elétrica sob orientação do Prof. Kleber Carneiro de Oliveira.

**Paraíba - PB
2018**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B327e Bastos, Wislley da Silva.

Estudo de Caso de um Projeto Fotovoltaico Integrado à Edificação / Wislley da Silva Bastos. - João Pessoa, 2018.

74 f. : il.

Orientação: Kleber Carneiro de Oliveira.
Monografia (Graduação) - UFPB/CEAR.

1. BIPV. 2. Sistema Fotovoltaico Interligado à Rede. 3. Painéis Fotovoltaicos. 4. Energia Solar. I. Oliveira, Kleber Carneiro de. II. Título.

UFPB/BC

Wisley da Silva Bastos

Estudo de Caso de um Projeto Fotovoltaico integrado à Edificação

Trabalho de Conclusão de Curso Submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica como parte dos requisitos necessários para à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Data de Aprovação: ____/____/____

Nota: ____

Aprovado por:

Prof. Dr. Kleber Carneiro de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. João Marcelo Dias Ferreira (Membro)
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nady Rocha (Membro)
Universidade Federal da Paraíba

Paraíba – PB
2018

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãs, minha esposa Rosimeri, minha filha Lívia e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu Pai Luzivaldo Florêncio Bastos que batalhou muito para me oferecer uma educação de qualidade. A minha Mãe Vera Lúcia da Silva Bastos, que sempre acreditou no meu potencial e nunca negou uma palavra de incentivo. Aos meus queridos irmãos Wilams e Wilma, que me fizeram rir em tempos de puro estresse. A minha esposa Rosimeri, que foi compreensiva com os momentos em que permaneci distante. Aos mestres prof. Nady Rocha e prof. Helon David, que durante anos compartilharam seus conhecimentos comigo, meu muito obrigado. Não posso deixar de agradecer em especial o meu orientador, prof. Kleber de Oliveira, que nunca negou uma ajuda durante o TCC e me apoiou no momento mais difícil, o qual serei eternamente grato. Meu sincero agradecimento a todos os meus amigos em especial a Marcos Victor, que deram uma contribuição valiosa para a minha jornada acadêmica. Obrigado pelos conselhos, palavras de apoio, puxões de orelha e risadas. Só tenho a agradecer e dizer que este trabalho também é de vocês. Por fim, manifesto aqui a minha gratidão à Deus, que me deu força e energia para realizar o sonho de ser Bacharel em Engenharia Elétrica pela UFPB.

“Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis a nós mesmos.”

Friedrich Nietzsche.

RESUMO

Haja vista o grande crescimento de estudos na área de eficiência energética e qualidade de energia, o trabalho em questão tem por finalidade analisar a viabilidade do desenvolvimento de um projeto de sistema fotovoltaico integrada à edificação – BIPV, o qual será conectado à rede elétrica. O desenvolvimento deste trabalho baseia-se no projeto arquitetônico do novo Centro Educacional Infantil, situado no bairro dos Bancários, João Pessoa – PB. Foi realizada uma análise de viabilidade do local, da área utilizável para instalação dos módulos, da definição dos componentes, da estimativa de orçamento para execução do projeto, da sustentabilidade do sistema fotovoltaico, além da análise do tempo de *payback* do investimento. Por fim será mostrado o custo do kWh do projeto implementado.

Palavras Chaves: BIPV. Sistema Fotovoltaico Interligado à Rede. Painéis Fotovoltaicos. Energia Solar.

ABSTRACT

Considering the great growth of studies in the area of energy efficiency and energy quality, the work in question has the purpose of analyzing the feasibility of the development of a photovoltaic system project integrated to the building – BIPV, which will be connected to the power grid, the development of this work is based on the architectural project of the new Children’s Educational Center, located in the district of Bancários, João Pessoa – PB. A site feasibility analysis, usable area for the installation of the modules, definition of the components, estimation of budget for project execution, sustainability of the photovoltaic system, besides the analysis of the payback time of the investment, will finally be shown the cost of the project kWh of the implemented project.

Key Words: BIPV. Photovoltaic System Interconnected to the Network. Photovoltaic Panels. Solar Energy.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Matriz de produção de energia elétrica 2018 [2].	2
Figura 2 - Atlas solarimétrico [3].	5
Figura 3 - Diagrama de uma célula fotovoltaica [6].	6
Figura 4 - Painel fotovoltaico com células de silício monocristalino.	7
Figura 5 - Painel fotovoltaico com células de silício monocristalino.	8
Figura 6 - Painel fotovoltaico com células de filme fino.	8
Figura 7 - Célula fotovoltaica de heterojunção.	8
Figura 8 - Relação entre corrente e tensão de um módulo fotovoltaico [9].	9
Figura 9 - Relação entre potência e tensão de um módulo fotovoltaico [9].	10
Figura 10 - Influência da radiação solar (esquerda) e da temperatura (direita) [9].	11
Figura 11 - Modelos de associação dos módulos em série, paralelo e serie-paralelo, respectivamente [9].	11
Figura 12 - Relação entre corrente e tensão para módulos em paralelo [9].	12
Figura 13 - Relação entre corrente e tensão para módulos em série [9].	12
Figura 14 - Relação entre corrente e tensão para módulos em série e paralelo [9].	13
Figura 15 – Exemplo de sistema fotovoltaico autônomo [10].	14
Figura 16 - Exemplo de sistema fotovoltaico conectado a rede [10].	15
Figura 17 - Diagrama de uma usina fotovoltaica conectada à rede.	16
Figura 18 - Organização dos componentes de um sistema de microgeração fotovoltaica.	17
Figura 19 - Fachada de edifício coberta por painéis solares.	20
Figura 20 - Módulo fotovoltaico do tipo cortina de vidro.	21
Figura 21 - Sistema BIPV de cobertura.	22
Figura 22 - Sistema BIPV de átrio.	22
Figura 23 – Imagem do Solar Powered Office Complex [13].	24
Figura 24 - Imagem do estádio de Kaohsiung [13].	24
Figura 25 - Sanyo Solar Ark [13].	25
Figura 26 - Vilarejo de Sonnenschiff [13].	25
Figura 27 - Vista superior do local onde o projeto será aplicado.	26
Figura 28 - Maquete digital do prédio a ser construído.	27
Figura 29 - Vista superior da maquete digital.	28
Figura 30 - Curvas de irradiação solar durante todo o ano.	29
Figura 31 - Conjunto de painéis fotovoltaicos.	30

Figura 32 - Exemplo de inversor solar.	31
Figura 33 - Maquete do Centro Educacional com os painéis fotovoltaicos. Fonte: Autor.	40
Figura 34 - Planta final do sistema BIPV projetado.	41
Figura 35 - Geração de energia esperada anual para cada ângulo azimutal.	42
Figura 36 - Gráfico da VPL do sistema fotovoltaico apresentado.	47

Sumário

CAPÍTULO 1 - Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Introdução	1
1.3 Objetivo Geral.....	2
1.4 Objetivos Específicos	3
1.5 Organização do Trabalho.....	3
CAPÍTULO 2 - Geração solar fotovoltaica.....	5
2.1 Células Fotovoltaicas	6
2.1.1 Tipos de Células Fotovoltaicas.....	7
2.2 Módulos Fotovoltaicos	9
2.2.1 Curvas Características dos Módulos Fotovoltaicos.....	9
2.2.2 Influência da Temperatura e da Radiação Solar.....	10
2.3 Associações de Células e Módulos Fotovoltaicos	11
CAPÍTULO 3 - Sistemas Fotovoltaicos.....	14
3.1 Sistemas Autônomos.....	14
3.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.....	15
3.2.1 Usinas de Geração Fotovoltaica	15
3.2.2 Minigeração Fotovoltaica.....	16
3.2.3 Microgeração Fotovoltaica.....	16
3.3 Sistemas de Tarifação ou Compensação.....	17
3.3.1 Tarifação <i>Net Metering</i>	18
3.3.2 Tarifação <i>Feed In</i>	18
3.4 Incentivos para a Geração Distribuída no Brasil	19
CAPÍTULO 4 - sistemas fotovoltaicos integrados.....	20
4.1 Tipos de Sistemas BIPV	21
4.1.1 Sistemas de Fachada.....	21

4.1.2	Sistemas de Cobertura	22
4.1.3	Sistemas de Átrio.....	22
4.2	Materiais Utilizados em Sistemas BIPV	23
4.3	Exemplos de Sistemas BIPV pelo Mundo	23
4.3.1	Solar Powered Office Complex	23
4.3.2	Estádio de Kaohsiung	24
4.3.3	Sanyo Solar Arc.....	24
4.3.4	Sonnenschiff	25
CAPÍTULO 5 - Estudo de Caso		26
5.1	Localização	26
5.2	Aspectos Arquitetônicos	27
5.3	Avaliação do Local	27
5.4	Medição da Radiação Solar	28
5.5	Orientação e Escolha do Ângulo de Inclinação	29
5.6	Dimensionamento dos Componentes do Sistema	29
5.6.1	Painel Fotovoltaico	30
5.6.2	Inversor Solar	31
5.6.3	Configuração do Arranjo Fotovoltaico.....	33
5.6.4	Dimensionamento dos Fusíveis no lado de Corrente Contínua (CC).....	34
5.6.5	Dimensionamento dos Cabos no Lado de Corrente Contínua (CC).....	35
5.6.6	Chave Seccionadora do Lado CC	37
5.6.7	Dispositivo de Proteção Contra Surto (DPS) do Lado CC	37
5.6.8	Condutores do Lado CA	37
5.6.9	Disjuntor Lado CA	38
5.6.10	Dispositivo de Proteção contra Surto (DPS) do Lado CA.....	39
5.6.11	Condutor de Equalização e Aterramento.....	39
5.6.12	Diagrama Unifilar e Trifilar	40

5.7	Esboço Final do Projeto	40
5.8	Geração de Energia Esperada	41
5.9	Orçamento do Sistema BIPV Projetado.....	42
CAPÍTULO 6 - Análise de Viabilidade Econômica		44
6.1	Valor Presente Líquido (VPL).....	44
6.1.1	Fluxo Futuro de Benefícios	45
6.1.2	Taxa de Juros (Selic)	47
6.2	Cálculo da VPL do Projeto Fotovoltaico.....	47
6.3	Período de Retorno do Investimento (<i>payback</i>).....	48
6.4	Aspecto Ambiental.....	49
6.5	Custo Nivelado de Energia (CNE).....	50
Conclusões.....		51
Referências		52
Apêndice A – Diagrama Unifilar.....		54
Apêndice B – Diagrama Trifilar.....		55
Apêndice C – Maquete Digital		56
Apêndice D – Planilha do simulador PVsize		58
Apêndice E – Catálogos dos Equipamentos		59

CAPÍTULO 1 -INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

O Brasil possui um território com dimensões continentais, além de uma matriz energética provida, em sua grande maioria, por usinas hidrelétricas, que se localizam a quilômetros de distância dos grandes centros urbanos e industriais. Desse modo, apresenta uma complexa rede elétrica aérea cuja topologia é denominada de sistema de transmissão.

A função do sistema de transmissão é interligar a geração até os grandes centros, manipulando grandes montantes de energia. Essa estrutura requer um grande investimento para a manutenção e operação, sendo por sua vez repassado aos consumidores.

Diariamente incide sobre a superfície da terra mais energia vinda do sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta em todo um ano. Dentre as diversas aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico se apresenta como uma das mais elegantes formas de gerar potência elétrica.

Do ponto de vista da eficiência energética, a geração direta de eletricidade a partir da energia solar, pode ser considerada bastante ideal, visto que geração e consumo de energia têm coincidência espacial, minimizando assim as perdas por transmissão comuns aos sistemas geradores centrais tradicionais.

O presente trabalho visa contribuir nesse tema, propondo um sistema BIPV - *Building Integrated Photovoltaics*, no qual são utilizados sistemas fotovoltaicos como elementos arquitetônicos de uma edificação, demonstrando que é possível integrar bons projetos arquitetônicos a sistemas de geração de energia elétrica.

1.2 INTRODUÇÃO

Na década de 70, o Brasil possuía uma dependência expressiva por derivados de combustíveis fósseis. Devido à crise do petróleo o país passou por dificuldades energéticas e, conseqüentemente, econômicas, uma vez que o crescimento econômico de um país está vinculado ao seu potencial energético, que é essencial para o funcionamento da economia e o desenvolvimento da sociedade.

Devido ao seu vasto território, o Brasil possui inúmeras fontes de energias renováveis para geração de energia elétrica, dentre as quais a água é a principal, gerando eletricidade através das usinas hidrelétricas. Porém, esta fonte de energia alternativa está sendo

cada vez mais questionada devido aos seus altos custos e o grande impacto ambiental que causa. E foi durante a longa estiagem sofrida pelo Brasil, recentemente, que se percebeu o problema da alta dependência das usinas hidrelétricas, pois, sozinhas, não são capazes de atender a demanda energética atual do país, sendo necessário acionar as usinas termoe-létricas [1].

Por sua vez, as termoe-létricas utilizam carvão mineral para gerar energia elétrica, ou seja, não é uma fonte renovável, gera impactos ambientais, aumenta o custo da energia e afeta setores como economia e emprego. Devido a esse contexto, houve uma expansão e o desenvolvimento de tecnologias de geração de energias alternativas, tais como, a energia solar que utiliza painéis fotovoltaicos.

A geração fotovoltaica é a terceira fonte de energia renovável mais utilizada pelos países, ficando atrás apenas das energias hidráulica e eólica, porém, no Brasil, representa menos de 1% da energia total produzida no país, de acordo com a Figura 1.

Ao utilizar materiais semicondutores como o silício para gerar eletricidade através dos raios do sol, a tecnologia fotovoltaica vem recebendo várias melhorias possibilitando o aumento da capacidade de fornecimento de energia elétrica tornando-se uma fonte de energia renovável bastante viável e com pouca manutenção [1].

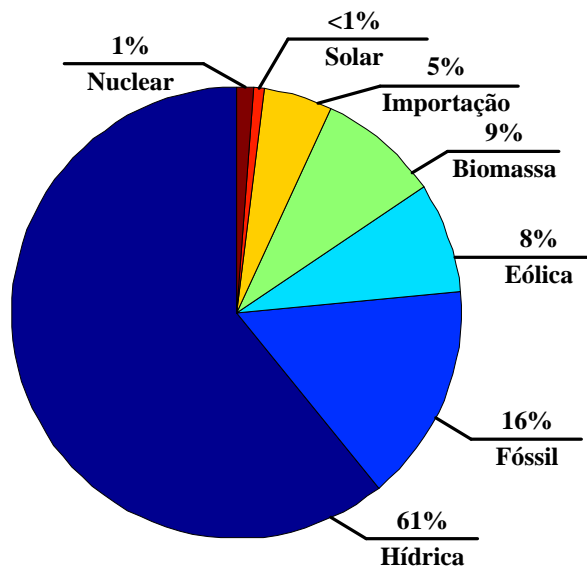


Figura 1 - Matriz de produção de energia elétrica 2018 [2].

1.3 OBJETIVO GERAL

A partir do cenário elucidado anteriormente, neste trabalho, pretende-se desenvolver um sistema BIPV no Centro Educacional Infantil, no qual são utilizados sistemas fotovoltaicos como elementos arquitetônicos desta edificação.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Portanto, os principais objetivos do trabalho são:

- Dimensionar o sistema fotovoltaico para atender uma parcela da demanda de energia;
- Orçar componentes de fabricantes homologados na fábrica;
- Realizar o projeto elétrico;
- Definir o leiaute da usina fotovoltaica;
- Atender os principais procedimentos para conexão com a rede de distribuição;
- Calcular as variáveis econômicas: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), *Payback*;
- Compreender em quais aspectos o projeto é viável economicamente.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho será dividido em seis capítulos que são enumerados e descritos da seguinte forma:

- Capítulo 1: serão apresentados a motivação para a realização de um projeto BIPV, uma abordagem da situação da energia renovável, principalmente a energia solar no Brasil, e os principais objetivos deste trabalho.
- Capítulo 2: será feita uma pequena abordagem sobre a geração de energia solar no Brasil, serão apresentadas as células solares e seus tipos, como também, os módulos fotovoltaicos com suas curvas características e as formas de associação.
- Capítulo 3: neste capítulo serão abordados os tipos de sistemas fotovoltaicos que se dividem em sistemas autônomos e sistemas conectados à rede, as formas de tarifação ou compensação que trazem vantagens para os produtores de energia, além de alguns incentivos para o uso de sistemas fotovoltaicos no Brasil.
- Capítulo 4: será feita uma breve introdução sobre os sistemas BIPV, apresentação dos tipos de sistema, como também, as principais tecnologias utilizadas e alguns projetos importantes pelo mundo, que utilizam energia solar.
- Capítulo 5: aqui será apresentado todo o estudo de caso de um sistema BIPV para o Centro Educacional Infantil situado no Bairro dos Bancários, João Pessoa – PB, que será idealizado pela estudante de Arquitetura e Urbanismo Gilmara de Paiva Silva,

além disso, serão mostrados todos os passos e cálculos utilizados para obter o dimensionamento de todos os componentes do sistema.

- Capítulo 6: por fim, neste capítulo, será apresentado um modelo para avaliação da viabilidade econômico do projeto, denominada de valor presente líquido (VPL), como também, a forma de calculá-lo e algumas das taxas e tarifas referentes a projetos de energia solar ou que afetam o valor do dinheiro.

CAPÍTULO 2 - GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

Todos os dias o Sol envia energia à Terra, estima-se que essa energia possua uma ordem de grandeza de 15×10^{15} MWh por ano, equivalendo a 10 mil vezes o consumo de energia em todo o planeta e tornando o Sol uma fonte de energia alternativa inesgotável.

O Brasil possui uma grande vantagem territorial, pois se encontra próximo à faixa do Equador o que garante um índice de radiação solar de aproximadamente 140000 MW, conforme o Ministério de Minas e Energia, que é 50% a mais do que a energia consumida no país.

De acordo com a Figura 2, que mostra a média anual da distribuição da radiação solar pelo país, é possível ver que o valor máximo de radiação é de 6,5 kWh/m²/dia e acontece ao norte da Bahia, pois é caracterizada por um clima semiárido e com pouca ocorrência de chuvas. Já a irradiação mínima ocorre no estado de Santa Catarina, atingindo patamares de 4,25 kWh/m²/dia [3].

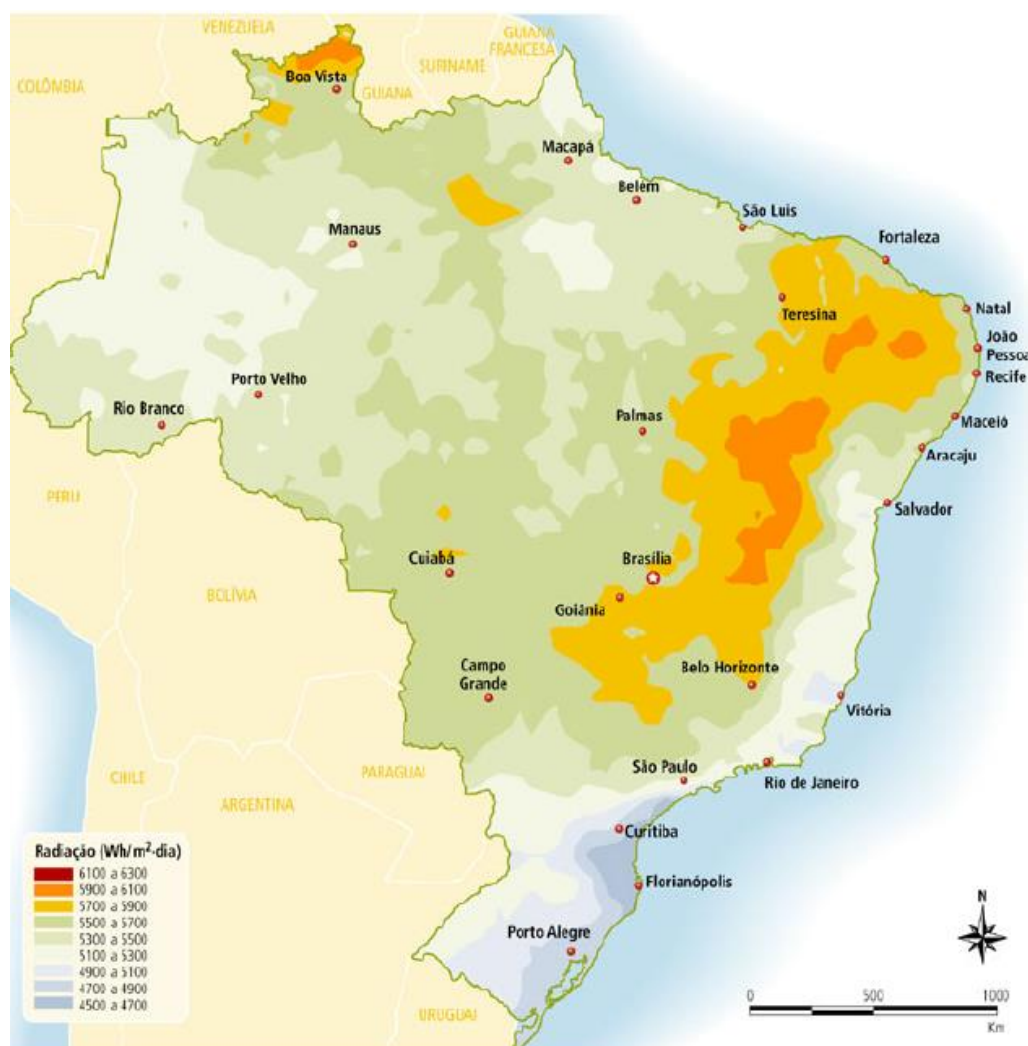


Figura 2 - Atlas solarimétrico [3].

Devido a isso, o país possui uma grande capacidade solar, possuindo uma taxa de irradiação solar de 1500-2500 kWh/m² que é muito maior que em alguns países europeus, porém é uma fonte de energia mal utilizada, pois apenas 0,01% da capacidade instalada de energia do país são obtidas através de painéis fotovoltaicos, pois as outras fontes de energia são mais desenvolvidas e possuem uma melhor infraestrutura que ajuda a manter os preços mais baixos, porém o uso de energia fotovoltaica é promissor e a tendência é que os preços se tornem mais competitivos a medida que o conhecimento sobre painéis fotovoltaicos for crescendo [4].

E as principais vantagens da energia solar, de interesse para este trabalho, são os baixos níveis de ruído, poluição e degradação do meio ambiente, além de ser uma fonte de energia renovável adequada para ambientes urbanos, pois pode ser integrada as construções gerando, assim, economia financeira ao substituir os revestimentos dos edifícios ou residências por células fotovoltaicas, além de reduzir as linhas de distribuição e geração, pois a energia é produzida no mesmo local em que é consumida [5].

2.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A Figura 3 representa o esquema de uma célula fotovoltaica, que é responsável pela conversão direta da energia da radiação solar em eletricidade e esse fenômeno é possível devido ao efeito fotovoltaico, que é a capacidade que alguns materiais possuem de gerar tensões ou correntes elétricas ao ser expostos a luz do sol.

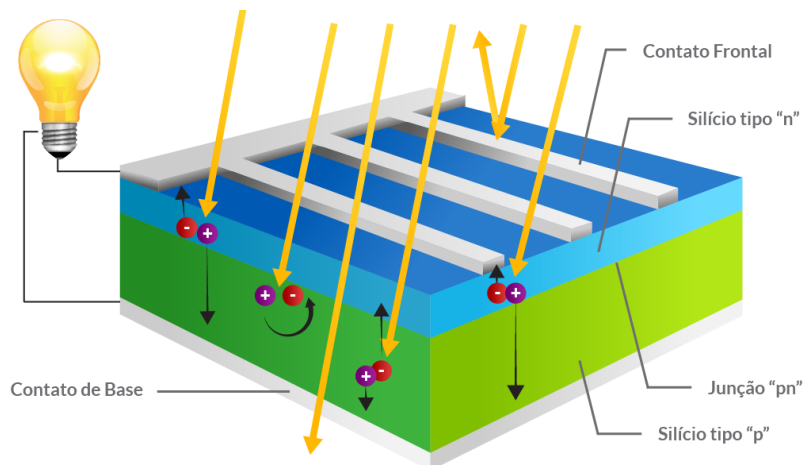


Figura 3 - Diagrama de uma célula fotovoltaica [6].

As células fotovoltaicas se tornaram possíveis devido à teoria dos dispositivos formados através da junção das regiões positivas e negativas entre dois semicondutores, que foi desenvolvida por William Shockley em 1949 e com a qual foi capaz de projetar os primeiros transistores.

Então, em 1950, ocorreu a revolução dos semicondutores, o que originou as primeiras células fotovoltaicas eficientes, que foram desenvolvidas na empresa Bell Telephone Company no ano de 1954.

Infelizmente, produzindo energia elétrica através de centrais de carvão conseguiu-se diminuir os custos em até seis vezes comparados ao que é gasto na geração fotovoltaica, porém essa diferença, há duas décadas, chegou a ser vinte vezes maior [7].

2.1.1 Tipos de Células Fotovoltaicas

- **Células de Silício Cristalino:** são fatias de lingotes de silício cristalino tratadas quimicamente para produzirem energia elétrica através do efeito fotovoltaico, o principal material utilizado na fabricação dos lingotes é o SoG-Si, conhecido como “silício de grau solar” [8].
 - **Silício Monocristalino (mono-Si):** são células mais eficientes, possuem formato circular, porém são cortados para deixar um leve formato octogonal, quase um quadrado. Os painéis que utilizam este tipo de célula possui um padrão de pequenos diamantes brancos, como mostra a Figura 4.



Figura 4 - Pannel fotovoltaico com células de silício monocristalino.
Fonte: <http://www.solarvoltenergia.com.br/tipos-de-pannel-fotovoltaico/>

- **Silício Policristalino (multi-Si):** neste tipo célula usa-se um processo de fundição diferente, no qual o silício purificado é fundido em grandes blocos, apesar de menos eficientes que as células de silício monocristalino, elas são as mais comuns em painéis fotovoltaicos, a Figura 5 mostra um exemplo de pannel feito de silício policristalino.



Figura 5 - Paineis fotovoltaicos com células de silício monocristalino.
Fonte: <http://www.archiexpo.com/pt/prod/jetion-solar-europe/product-69997-1428309.html>

- **Células de Filme Fino (*Thin-Film*):** de acordo com a Figura 6 são diferentes das células de silício, estas células utilizam telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre gálio índio (GICS) ou silício amorfo (a-Si) no seu processo de fabricação, também são utilizadas para pequenas células fotovoltaicas e possuem uma eficiência de 2 a 3 por cento menor que as de silício cristalino [8].



Figura 6 - Paineis fotovoltaicos com células de filme fino.
Fonte: <https://www.indiamart.com/proddetail/thin-film-solar-panel-15044929712.html>

- **Célula Fotovoltaica de Heterojunção (HJT):** é uma tecnologia que une camadas de silício amorfo com wafers de silício mono cristalino, como mostra a Figura 7, podendo gerar células com eficiências 20% maiores [8].

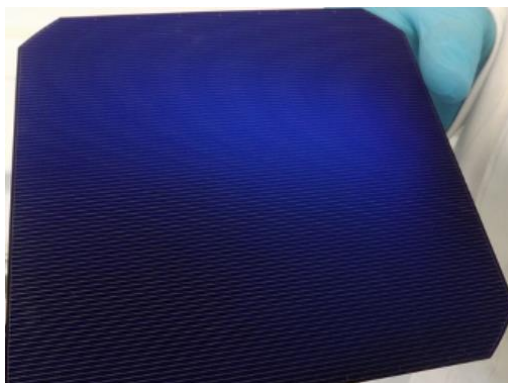


Figura 7 - Célula fotovoltaica de heterojunção.
Fonte: <http://en.ofweek.com/news/EcoSolifer-aims-for-mass-HJT-solar-production-with-29-5m-cell-line-33054>

2.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Quanto à capacidade de geração de energia, as células possuem uma desvantagem, que é o seu tamanho, dessa forma só conseguem gerar uma tensão de aproximadamente 0,6 V e para obter energia em larga escala necessita-se de uma grande quantidade de células fotovoltaicas e a solução desse problema são os módulos solares.

O módulo fotovoltaico consiste no agrupamento de células solares, geralmente utilizam-se as células conectadas em série, pois garantem um maior valor de tensão, dessa forma os terminais frontais da primeira célula são conectados ao terminal base da seguinte e assim sucessivamente, até que se obtenha a tensão desejada.

Com isso, os fabricantes utilizam várias células por módulo, dependendo da faixa de potência do sistema, e podem atingir até 40 a 70 V de tensão e suas correntes dependem da sua área, pois estão diretamente relacionadas com a quantidade de luz solar que incide no módulo [9].

2.2.1 Curvas Características dos Módulos Fotovoltaicos

Como os painéis fotovoltaicos dependem de existência de luz solar para funcionarem, então, diferentes das fontes elétricas convencionais, eles não conseguem manter um valor de tensão constante em seus terminais, além disso, dependendo da quantidade de corrente exigida pelo equipamento conectado ao painel, a tensão pode aumentar ou diminuir.

Dessa forma, as principais características dos módulos fotovoltaicos são apresentadas através de suas curvas I-V e P-V correspondente, mostradas na Figura 8 e Figura 9, respectivamente [9].

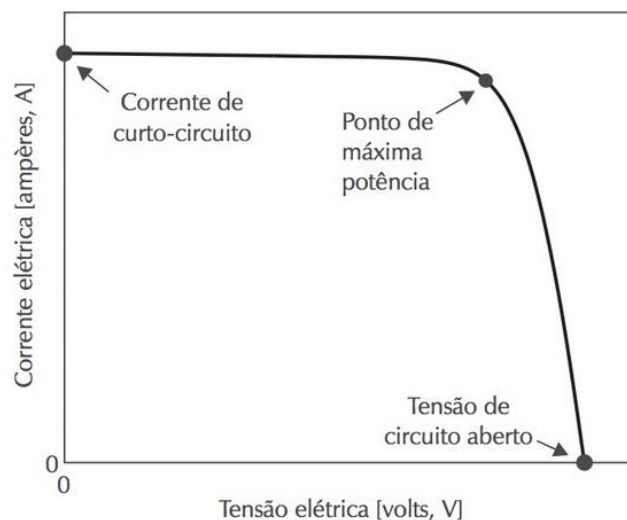


Figura 8 - Relação entre corrente e tensão de um módulo fotovoltaico [9].

Para essas curvas é possível visualizar três pontos importantes que caracterizam o painel, os quais são: ponto de corrente de curto-circuito, ponto de máxima potência e o ponto de tensão de circuito aberto, cada ponto é descrito a seguir [9].

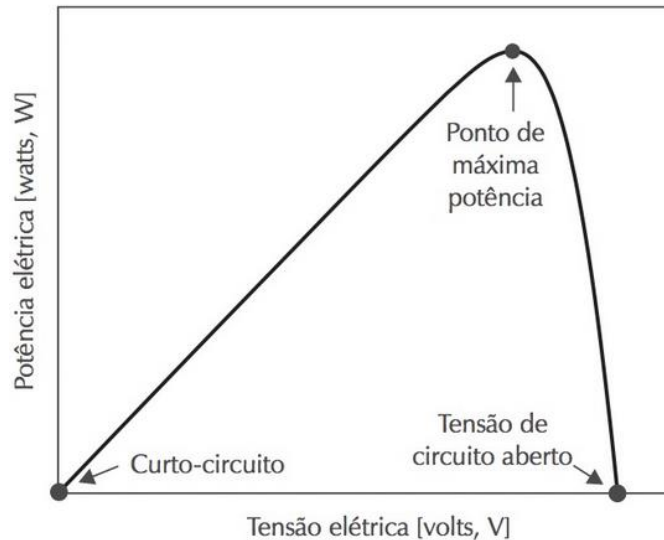


Figura 9 - Relação entre potência e tensão de um módulo fotovoltaico [9].

- Ponto de Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}): é o valor de corrente que flui nos terminais quando se coloca um curto circuito no painel, dessa forma, como não há nenhuma carga ou dispositivo elétrico sendo alimentado pelo módulo, a corrente é máxima e a tensão é nula.
- Ponto de Potência Máxima ($P_{máx}$): é o ponto ideal de atuação dos painéis fotovoltaicos, que é quando tanto a corrente quanto a tensão estão muito próximos de seus valores máximos simultaneamente.
- Ponto de Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}): é o máximo valor de tensão que o módulo pode fornecer, este valor é atingido apenas quando não há nada conectado, ou seja, os terminais estão abertos, por consequência a corrente é nula.

Os valores de tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito podem parecer não possuírem nenhuma utilidade, pois não faz sentido deixar o painel sem nenhuma conexão ou em curto circuito, mas são importantes para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, pois os equipamentos e dispositivos elétricos que fazem parte do sistema devem obedecer aos requisitos de tensão e corrente máximos [9].

2.2.2 Influência da Temperatura e da Radiação Solar

Os painéis fotovoltaicos geram energia através do sol, devido a isso são muito influenciados pelo clima e pela temperatura, pois se estiver chovendo haverá pouca radiação solar e

se o sol estiver no seu ponto máximo de radiação haverá aumento de temperatura.

Como se pode ver pela Figura 10 a radiação solar é responsável por alterações no valor da corrente do módulo, pois, se há pouca luz, a corrente produzida é pequena, já a temperatura é responsável pelas mudanças no valor da tensão, pois quanto mais quente menor é a tensão [9].

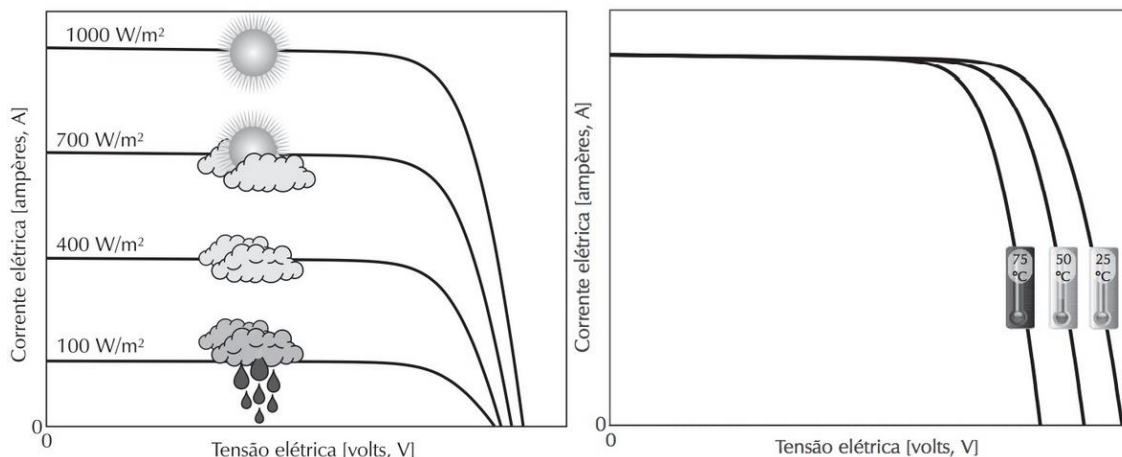


Figura 10 - Influência da radiação solar (esquerda) e da temperatura (direita) [9].

2.3 ASSOCIAÇÕES DE CÉLULAS E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Como mostrado na Figura 11, os módulos fotovoltaicos podem se associar de diferentes formas com o objetivo de atender os valores de corrente e tensão desejados.

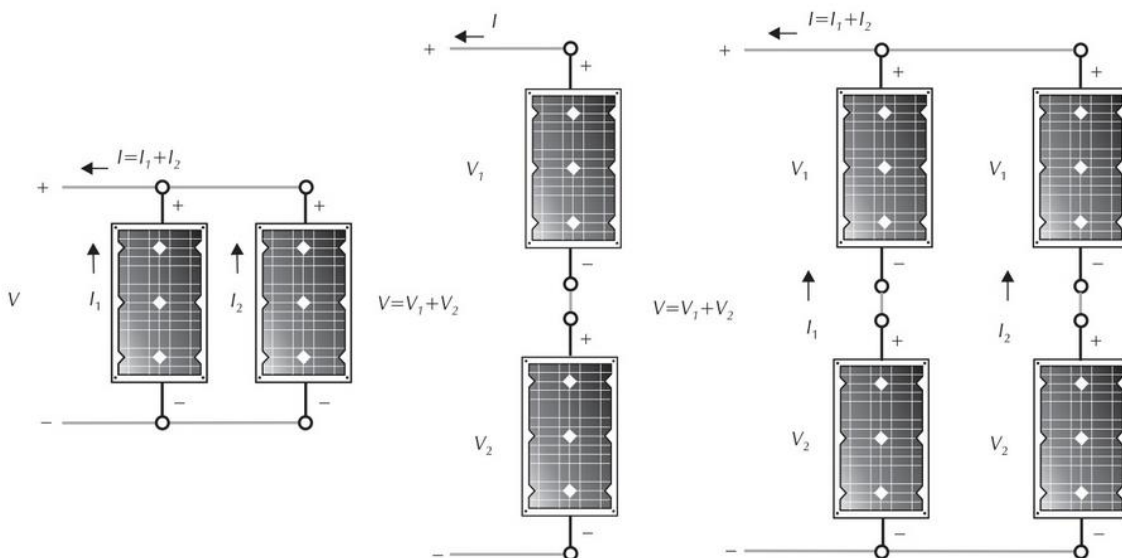


Figura 11 - Modelos de associação dos módulos em série, paralelo e serie-paralelo, respectivamente [9].

Nas conexões em paralelo conectam-se todos os terminais de mesma polaridade, dessa forma todos os módulos possuirão a mesma tensão, porém as suas correntes irão se acumular e a sua curva I-V se tornará na curva da Figura 12 [9].

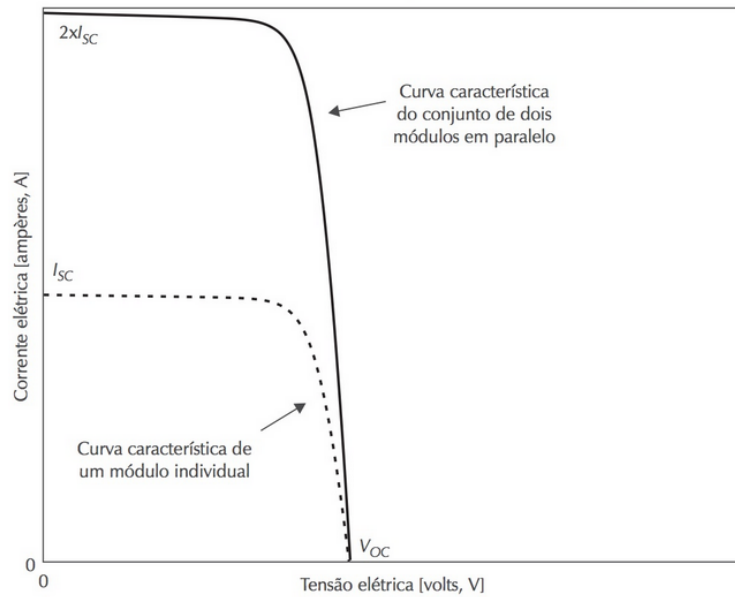


Figura 12 - Relação entre corrente e tensão para módulos em paralelo [9].

Já nos painéis com conexões em série conectam-se os terminais de polaridades opostas do painel anterior com o seu sucessor, dessa forma a mesma corrente flui por todos os painéis, mas a suas tensões vão se acumulando e o seu gráfico toma a forma apresentada na Figura 13.

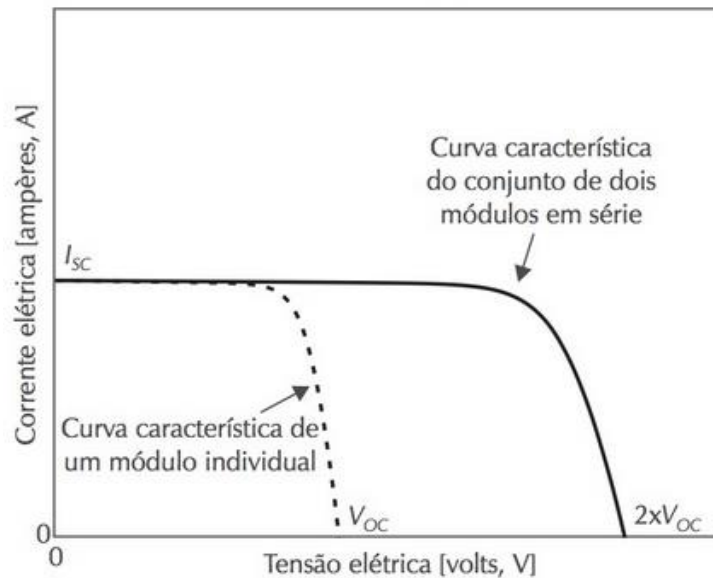


Figura 13 - Relação entre corrente e tensão para módulos em série [9].

Por fim, o terceiro modelo de conexão dos módulos fotovoltaicos, que é a união de grupos de painéis conectados em série e ligados a outro grupo em paralelo, dessa forma há um aumento tanto na tensão como na corrente e, conseqüentemente, a melhora do ponto de máxima potência do sistema, como mostra a Figura 14 [9].

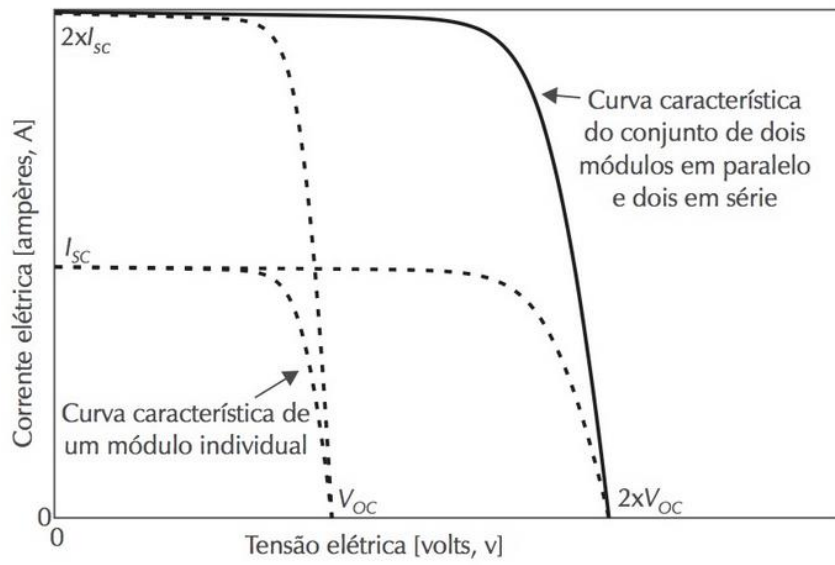


Figura 14 - Relação entre corrente e tensão para módulos em série e paralelo [9].

CAPÍTULO 3 -SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser autônomos ou conectados à rede de energia, o primeiro é utilizado em regiões que não possuem conexão com a rede elétrica, tais como, as zonas rurais; já o segundo, opera em paralelo com a rede de distribuição de energia local e atende residências, empresas e outros estabelecimentos.

3.1 SISTEMAS AUTÔNOMOS

A Figura 15 apresenta um sistema autônomo, formado por um painel fotovoltaico, um controlador de carga, inversor de tensão e um banco de baterias. Nas zonas rurais, este tipo de sistema é utilizado para fornecer energia ao maquinário agrícola, veículos, sistemas de iluminação e residências [10].

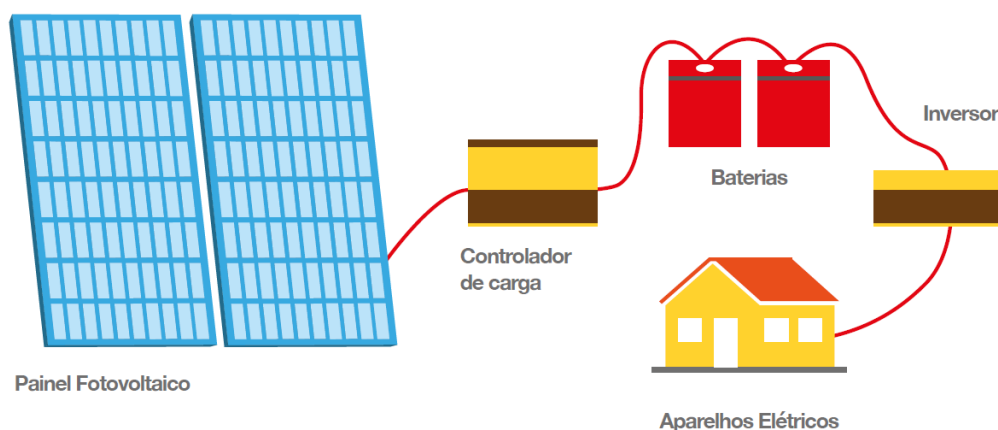


Figura 15 – Exemplo de sistema fotovoltaico autônomo [10].

Os componentes utilizados neste tipo de sistema são descritos abaixo:

- **Painéis fotovoltaicos:** encarregados de produzir energia elétrica, lembrando que as tensões e correntes geradas pelos painéis são grandezas contínuas e, em certas aplicações, há a necessidade de converter a energia para níveis alternados.
- **Baterias:** as baterias são fundamentais nos sistemas autônomos, pois a energia do sol é intermitente e muitas vezes aleatória devido ao clima, então as baterias têm a função de prover energia para consumo a qualquer momento e armazenar o excedente de energia nos momentos de baixa demanda.
- **Controlador de Carga:** como os sistemas autônomos, geralmente, utilizam baterias, torna-se obrigatório o uso de controladores de carga, pois são eles que fazem a con-

xão entre o painel fotovoltaico e as baterias evitando que estas sofram com sucessivos ciclos de carga e descarga e com isso aumentando a vida útil das baterias.

- **Inversor:** a conversão de energia contínua (CC) para alternada (CA) é de responsabilidade dos inversores, os quais são importantes no sistema fotovoltaico, pois a maioria dos equipamentos eletrônicos é fabricada para funcionar de acordo com os níveis de tensão da rede elétrica, que é CA com tensão de 110 V ou 220 V e frequência de 60 Hz [9].

3.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

Para sistemas conectados à rede elétrica utiliza-se, um painel solar, um inversor de corrente elétrica, fios, quadro elétrico e um medidor de energia, conforme a Figura 16, constituindo, assim, um sistema adequado para micro e mini usinas de distribuição, que são sistemas descentralizados, enquanto que os sistemas centralizados constituem usinas de energia elétrica [10].

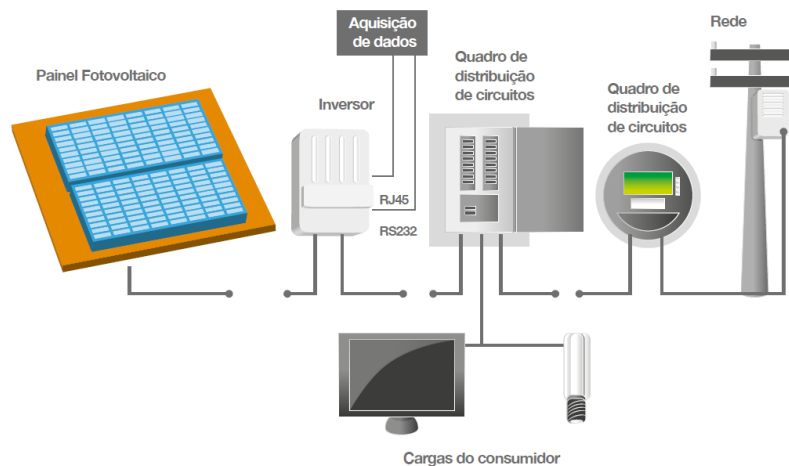


Figura 16 - Exemplo de sistema fotovoltaico conectado a rede [10].

3.2.1 Usinas de Geração Fotovoltaica

A Figura 17 mostra um diagrama básico para a construção de uma usina fotovoltaica, igualmente a outras usinas geradoras de energia, são utilizados transformadores e linhas de transmissão para conectar o sistema fotovoltaico à rede.

Porém, antes de se conectar a um sistema elétrico de alta tensão, são necessários inversores centrais, que podem atingir potências maiores que 1 MW, para fazer a conexão dos con-

juntos de módulos fotovoltaicos com as cabines de transformação, responsáveis pela elevação da tensão dos módulos a níveis compatíveis com os das linhas de transmissão [9].

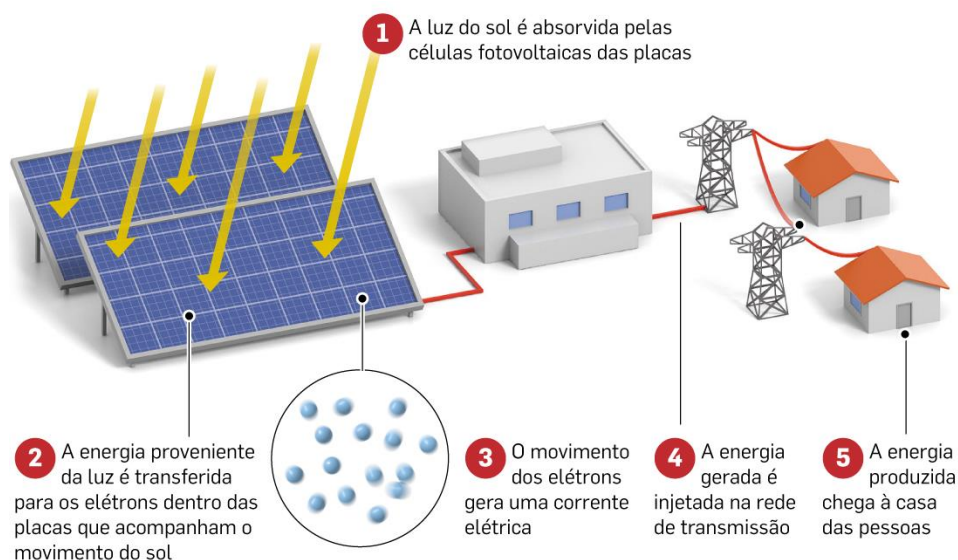


Figura 17 - Diagrama de uma usina fotovoltaica conectada à rede.

Fonte: <https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,sertao-baiano-ve-energia-solar-virar-realidade,70001981501>

3.2.2 Minigeração Fotovoltaica

Os sistemas de minigeração possuem, geralmente, um potência instalada entre 100 kW e 1 MW e são utilizados por consumidores que trabalham no ramo do comércio ou industrial, pois estão interessados em diminuir a sua dependência da rede pública, dessa forma esses sistemas tem o objetivo de suprir parcial ou totalmente a demanda de energia necessitada pelo consumidor.

As principais vantagens desse sistema são a economia financeira, pois com a instalação dos painéis fotovoltaicos o consumidor passa a gerar sua própria energia e isso acarreta na diminuição das tarifas pagas à concessionária, a proteção do consumidor contra eventuais aumentos no preço da energia elétrica, além disso, chama a atenção de um maior público alvo para essas instituições, pois mostra preocupação com a preservação do meio ambiente [9].

3.2.3 Microgeração Fotovoltaica

São sistemas utilizados para processar potências de até 100 kW, como mostra a Figura 18, e são instalados em prédios residenciais e empresas, devido a baixa demanda requisitada por este tipo de construção.

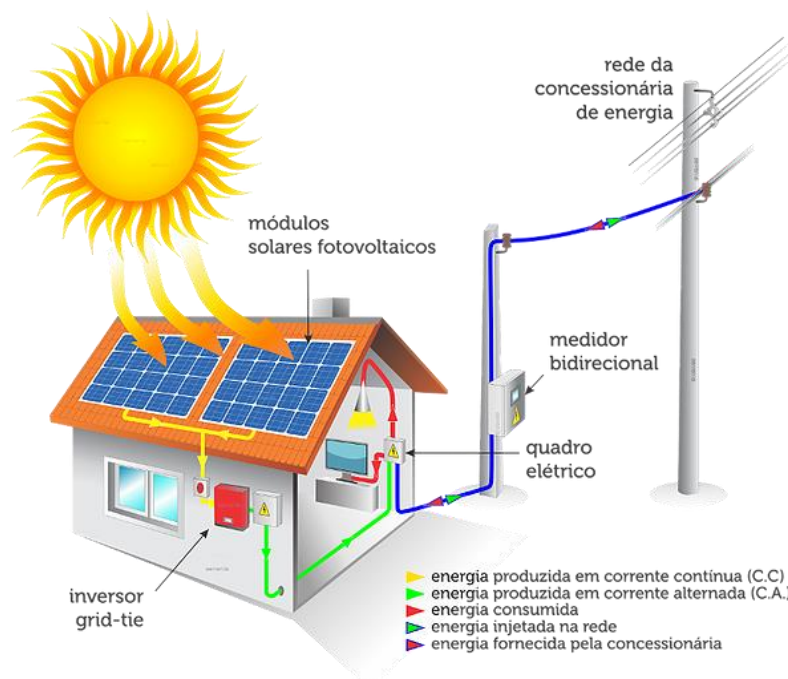


Figura 18 - Organização dos componentes de um sistema de microgeração fotovoltaica.

Fonte: <https://www.smartsunengenharia.com/energia-solar-fotovoltaica>

O sistema de microgeração é constituído de módulos fotovoltaicos, um inversor específico para este tipo de aplicação que fará a conexão com a rede, quadros elétricos e um medidor de energia.

Dessa forma, a energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos será totalmente aplicada na rede interna da residência, com exceção nos casos em que houver excedente de energia, a qual será exportada para a concessionária, gerando créditos para o consumidor, que pode convertê-los em descontos na conta da energia elétrica.

Esse sistema é bastante utilizado em diversos países e está tendo um grande crescimento no Brasil através da disseminação pelas residências do país, onde o sistema é instalado nos telhados das residências para ter um melhor aproveitamento das áreas vazias e assim contribuir com a geração de energia elétrica limpa, pois reduz as emissões de carbono e outros danos ambientais [9].

3.3 SISTEMAS DE TARIFAÇÃO OU COMPENSAÇÃO

Os sistemas fotovoltaicos empregados em usinas de geração de energia elétrica, conectadas a rede, quando em momentos de baixo consumo, geram excedente de energia, a qual pode ser vendida no mercado de comercialização aplicando-se as tarifas e os requisitos técnicos para esse tipo de conexão. Os principais sistemas de tarifação utilizados são conhecidos como *net metering*, ou medida da energia líquida, e *feed in* [9].

3.3.1 Tarifação *Net Metering*

Este tipo de tarifação é utilizado em países que já possuem sistemas fotovoltaicos instalados nas residências, onde existe um medidor eletrônico que registra a energia consumida da rede pública e energia produzida pelo consumidor e, eventualmente, exporta o excedente para a concessionária. Desta forma o consumidor pagará apenas a diferença do que foi consumido e o que foi gerado.

No Brasil deseja-se instalar este sistema de tarifação com o objetivo de tornar possível a implementação dos sistemas de microgeração residencial no país, uma vez que os módulos fotovoltaicos geram mais energia no período da manhã coincidindo com o período de menor consumo das residências [9].

A principal vantagem desse sistema é evitar que a energia seja perdida, pois se não houver um monitoramento da energia gerada pelo consumidor, quando houver excedente, este será exportado para a concessionária, mas não será contabilizado, então a energia será perdida assim como o consumidor perderá os créditos da sua geração.

As regras de tarifação da energia variam entre os países, então o Brasil adotou a resolução da Aneel nº 482/2012, atualizada pelo REN ANEEL nº 687 de 2015, que garante que a energia gerada pelo consumidor será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, dessa forma o consumidor ganhará crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida no prazo de 60 meses.

Para se tornar um gerador de energia elétrica é necessário solicitar à concessionária a instalação do medidor de quatro quadrantes, que é um medidor eletrônico capaz de medir o fluxo de energia tanto no sentido do consumo quanto no sentido da geração, além disso o consumidor deve atender as exigências da concessionária para adequar a instalação elétrica da residência segundo as normas e certificações nacionais e internacionais vigentes. No fim do mês o consumidor receberá sua conta constando as medidas da energia consumida e gerada para poder saber o quanto está economizando [9].

3.3.2 Tarifação *Feed In*

Este sistema foi criado na Europa e é parecido com o anterior, mas a principal diferença é que no sistema de tarifação *feed in* o consumidor é contemplado com a instalação do sistema fotovoltaico em sua residência e é pago pelo fornecimento de energia de seu sistema para a rede, além de ter a vantagem do valor da energia exportada ser maior que o da energia

consumida, tornando este sistema de tarifação mais rentável. Alguns países também premiam o consumidor que gera energia elétrica através de outras fontes alternativas, não apenas pela fotovoltaica [9].

3.4 INCENTIVOS PARA A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL

De acordo com [11], os principais incentivos estão listados abaixo:

- Com o ajuste SINIEF 2, o CONFAZ foi capaz de revogar o Convênio que orientava a tributação da energia injetada na rede, dessa forma os estados são quem decidem se vão tributar a energia injetada.
- Com o surgimento da Lei nº 13169, foi possível para o Governo Federal isentar o PIS e CONFIS da energia injetada na rede.
- O Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) foi criado, pelo Governo Federal, para fomentar a geração distribuída no Brasil.
- O município de Palmas, no Tocantins, conseguiu adotar medidas para a dedução de IPTU para a geração distribuída, com isso há a possibilidade de que outros estados façam o mesmo.
- A amortização dos equipamentos do sistema fotovoltaico pode gerar dedução no imposto de renda.
- Desde 2015, através do projeto de Lei 371, que foi aprovado na Comissão de Serviços de Infraestrutura do Senado, é possível resgatar o FGTS para aquisição de sistemas de microgeração.
- Linhas de financiamento disponíveis no mercado:
 - a. Mais Alimentos (Pronaf);
 - b. Economia Verde (Desenvolve SP);
 - c. Finem (BNDES);
 - d. PE Solar (Agefepe);
 - e. Crédito produtivo energia solar (Goiás Fomento);
 - f. FNE Sol (BNB);
 - g. Construcard (Caixa Econômica Federal);
 - h. CDC Eficiência Energética (Santander);
 - i. Proger (Banco do Brasil);
 - j. Consórcio Sustentável (Sicredi);
 - k. Além das empresas que estão oferecendo soluções financiadas através de contratos de performance (ESCO) e alugueis.

CAPÍTULO 4 - SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS

Conhecido internacionalmente como *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV), é um sistema que tem como objetivo a integração dos módulos fotovoltaicos na fase de construção ou restauração dos edifícios, como mostra a Figura 19, em que foi aproveitada a fachada do edifício para instalar os painéis fotovoltaicos. É necessário, porém, realizar o estudo das áreas capazes de comportar os painéis fotovoltaicos e então calcular qual a radiação solar que incide na construção tornando possível a escolha dos módulos adequados e sua integração à construção para a produção de eletricidade [7].



Figura 19 - Fachada de edifício coberta por painéis solares.

Fonte: <http://ittechnology24.com/new-investments-expected-to-boost-the-building-integrated-photovoltaics-bipv-market-between-2016-2024/>

Como mencionado anteriormente, os módulos fotovoltaicos são fabricados com materiais semicondutores compostos, em sua maioria, por silício e utilizando tecnologias de monocristalino, policristalino ou filme fino. A principal diferença destas tecnologias se encontra nas diferentes taxas de eficiência, produção e custo. Um exemplo disso seria um módulo fotovoltaico fabricado com silício amorfo e células de filme fino que geram uma economia financeira, pois demandam menos material, porém produzem menos energia tornando-se menos eficientes.

Dessa forma, escolhe-se o módulo fotovoltaico mais adequado para o tipo de construção, com o sistema instalado é gerada energia elétrica contínua que será armazenada em baterias ou transformada em energia alternada, através de inversores, que será consumida inteira ou parcialmente, o excedente é exportado para a rede elétrica.

Outro aspecto dos sistemas BIPV são os tipos de integrações possíveis de se realizar no edifício a ser construído, os principais sistemas utilizados são os de cobertura, fachada e átrio, cada um com suas vantagens e funções [7].

4.1 TIPOS DE SISTEMAS BIPV

Primeiramente deve-se levar em consideração no projeto do sistema BIPV os fatores listados a seguir, independentemente do tipo de sistema escolhido [7].

- **Fatores ambientais:** estão inclusos as árvores, prédios vizinhos, a temperatura do ambiente, além da orientação dos raios solares para um melhor posicionamento dos módulos fotovoltaicos.
- **Fatores estruturais:** considera-se a potência desejada, com isso é possível projetar as dimensões dos módulos e, em seguida, as formas de fixação e o planejamento de operação e manutenção.
- **Fatores estéticos e econômicos:** deve-se levar em consideração a integração dos painéis fotovoltaicos com o ambiente que se deseja para harmonizar os painéis com a madeira, o vidro ou o concreto, existentes na construção.

4.1.1 Sistemas de Fachada

É um sistema que tenta replicar certos aspectos das construções, tais como, cortinas de vidro, fachadas opacas, podendo também ter o formato de venezianas e toldos com o objetivo de produzir energia elétrica além de fazer sombra, tornando o ambiente mais agradável. Para este tipo de sistema existem painéis fotovoltaicos chamados de “cortina de vidro”, mostrados na Figura 20, que possuem transparência, permitindo iluminação natural e que se possa ver o ambiente exterior.



Figura 20 - Módulo fotovoltaico do tipo cortina de vidro.

Fonte: <http://www.archiexpo.com/pt/prod/2es/product-154105-1836244.html>

Já as fachadas opacas, mesmo exemplo da Figura 19, utilizam o processo de transferência de calor por convecção natural, pois o sol aquece as caixas-de-ar que se encontram entre o módulo fotovoltaico e a alvenaria, se tornando em um elemento de energia solar pas-

siva e garantindo conforto térmico ao ambiente interno e aumentando a eficiência dos módulos [7].

4.1.2 Sistemas de Cobertura

Sistema com as melhores vantagens, pois pode ser aplicado em coberturas planas ou inclinadas, Figura 21, onde ocorrem os maiores índices de radiação solar e, assim, produzindo mais energia e tornando mais rápido o reembolso da instalação do sistema.

Outra importante vantagem desse sistema é a diminuição da manutenção e o aumento do tempo de vida das coberturas, pois os painéis não requerem muita manutenção e protegem a cobertura da degradação pelo excesso de luz solar e das chuvas [7].



Figura 21 - Sistema BIPV de cobertura.

Fonte: <http://zeleneet.com/ekorajony-energoeffektivnye-doma-chast-1/3869/>

4.1.3 Sistemas de Átrio

São os sistemas instalados em forma de venezianas e toldos, como mostra a Figura 22, com o simples objetivo de criar diferentes níveis de sombreamento garantindo conforto térmico e até mesmo aproveitar a luz natural do ambiente [7].



Figura 22 - Sistema BIPV de átrio.

Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/863213453550119703/>

4.2 MATERIAIS UTILIZADOS EM SISTEMAS BIPV

De acordo com [12] existem três tecnologias de filme fino para painéis fotovoltaicos disponíveis no mercado, cada qual com suas características. Para sistemas BIPV essas características são bastante relevantes, pois afetam a produção de energia anual dos painéis fotovoltaicos.

A primeira tecnologia utiliza silício amorfo (a-Si) que apresenta um baixo coeficiente de potência para temperatura (T_{CP}) na faixa de $-0,1$ a $-0,2$ $\%/^{\circ}\text{C}$, que pode ser desconsiderado no momento em que o silício amorfo estabiliza a sua produção de eletricidade quando exposto a intensa luz solar, porém isso diminui a eficiência da conversão de energia, aumentando os custos e a área necessária do painel fotovoltaico.

O T_{CP} é importante, pois indica a porcentagem de potência que será perdida em ambientes com temperaturas maiores que as condições padrões (25°C), em lugares mais quentes os módulos operam em temperaturas próximas a 65°C na maior parte do tempo, gerando uma grande perda na produção de energia.

Devido a isso, passou a se utilizar o filme fino de telureto de cádmio (CdTe) que possui uma eficiência de conversão de energia um pouco melhor que o silício amorfo e, praticamente, os mesmos valores de T_{CP} . As vantagens do CdTe são o seu baixo custo de produção quando fabricado em larga escala, porém utiliza elementos raros e tóxicos, sendo a principal limitação desta tecnologia.

Por fim, a terceira tecnologia mais utilizada é o filme fino de seleneto de cobre gálio índio (CIGS), o qual possui a maior eficiência de conversão de energia, porém um alto valor de T_{CP} em comparação com as outras tecnologias.

4.3 EXEMPLOS DE SISTEMAS BIPV PELO MUNDO

4.3.1 Solar Powered Office Complex

Trata-se do maior edifício comercial no mundo que utiliza a energia solar como fonte de alimentação, Figura 23, foi construído na província de Shandong, na China, com uma área de 75000 m^2 , possuindo um hotel, centros de exposições, laboratórios de pesquisa, além de salas de reunião e treinamento. A conversão de energia solar em eletricidade é de responsabilidade dos painéis solares instalados em uma área de 5000 m^2 , atendendo a 95% de toda a demanda energética do edifício [13].



Figura 23 – Imagem do Solar Powered Office Complex [13].

4.3.2 Estádio de Kaohsiung

Localizado em Taiwan, possui o título de ser o primeiro estádio do mundo a utilizar 100% de energia elétrica proveniente de energia solar, a qual é gerada por 8844 painéis fotovoltaicos instalados em sua cobertura, Figura 24.



Figura 24 - Imagem do estádio de Kaohsiung [13].

A energia gerada é utilizada para ligar as 3,3 mil lâmpadas responsáveis pela iluminação do estádio, como também, dois telões que fazem as transmissões dos jogos. O estádio foi construído por uma empresa japonesa chamada Toyo Ito para os Jogos Mundiais de 2009 com uma capacidade para 55 mil pessoas e devido ao uso da energia solar consegue evitar a emissão de 660 toneladas de CO₂ por ano [13].

4.3.3 Sanyo Solar Arc

Abriga o museu da energia solar desde 2002, tem o formato de um arco, Figura 25, com 315 metros de largura e 37 metros de altura, foi construído em Gifu, no Japão, com um total de 5 mil painéis fotovoltaicos e é capaz de produzir mais de 500 MWh/ano [13].



Figura 25 - Sanyo Solar Ark [13].

4.3.4 Sonnenschiff

É um bairro situado em Freiburg, na Alemanha, constituído por 52 casas divididas em comerciais e residenciais, como mostra a Figura 26.



Figura 26 - Vilarejo de Sonnenschiff [13].

Foi construído em uma das regiões mais ensolaradas do país e possui um projeto fotovoltaico que produz quatro vezes mais energia do que consome, além de aproveitar a luz natural nos ambientes internos e possuir sistemas de captação de água da chuva para utilizá-la na irrigação e nos vasos sanitários, tornando-se uma referência em preservação do meio ambiente [13].

CAPÍTULO 5 -ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será demonstrado todo o roteiro do dimensionamento do sistema BIPV do Centro Educacional Infantil situado no Bairro dos Bancários, João Pessoa – PB. Projeto arquitetônico idealizado pela estudante de Arquitetura e Urbanismo Gilmar de Paiva Silva. Vale salientar que o sistema BIPV projetado neste estudo de caso foi idealizado para integrar de forma harmoniosa o projeto arquitetônico, sem nenhuma restrição quanto às escolhas da arquiteta a respeito do tipo de arborização e de coberta, demonstrando que é possível realizar bons projetos arquitetônicos integrados a sistemas de geração de energia elétrica.

5.1 LOCALIZAÇÃO

O Centro Educacional está localizado no Bairro dos Bancários, esquina com as ruas: Bancário Waldemar de Mesquita Accioly, ao Norte, e Maria Eliete de Coutinho Fabrício, a Oeste. A coordenada geográfica deste lugar corresponde à latitude: 7°08'47.2”S e longitude: 34°50'13.8”O, conforme a Figura 27.



Figura 27 - Vista superior do local onde o projeto será aplicado.

5.2 ASPECTOS ARQUITETÔNICOS

A área construída total foi dividida em três blocos, onde foram dispostos de forma simétrica e de acordo com a setorização para melhor atender o programa de necessidades: setor administrativo, setor de recreação e setor educacional.

Então foi desenvolvido o conceito do Centro Educacional Infantil, Figura 28, cujo coração é um grande pátio aberto integrando os ambientes, no qual os estudantes podem encontrar os seus caminhos facilmente para as salas de aula.

Como a fachada principal encontra-se a oeste e a incidência solar é frequente, foi utilizada a funcionalidade dos brises, que barram esta incidência da radiação solar antes que ela atinja a fachada e, conseqüentemente, o ambiente interno, reduzindo o calor recebido.

A circulação do projeto foi pensada na segurança dos alunos em um único nível sem rampas, sem degraus, juntamente com o emprego de materiais amigáveis, como pisos absorventes de impacto, e a ergonomia operacional foram fundamentais para a criação de um ambiente confortável e seguro, no qual as crianças pudessem desenvolver plenamente suas atividades.

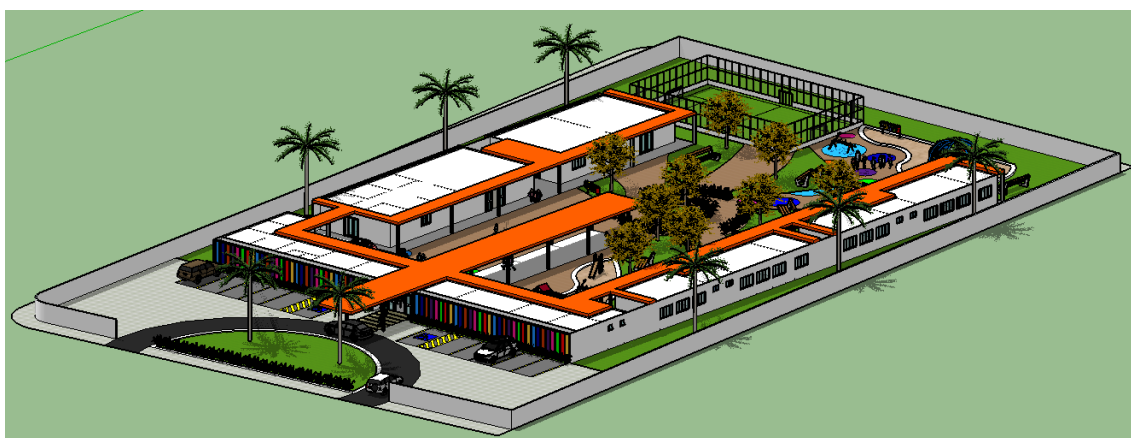


Figura 28 - Maquete digital do prédio a ser construído.

5.3 AVALIAÇÃO DO LOCAL

Para que um local seja adequado para a energia FV, a disponibilidade e a intensidade da energia solar são cruciais. Obstáculos locais, como árvores e prédios no entorno, provocam sombras e limitam o rendimento do módulo FV.

O elemento arquitetônico selecionado para ter a função de geração de energia elétrica foi a cobertura da edificação que corresponde a uma área de 1.300 m², ver Figura 29, na qual foram utilizados módulos fotovoltaicos.

Todos os painéis foram instalados sobre perfis do tamanho do módulo estrutural da cobertura. Os espaços configurados entre os perfis incorporam calhas de coleta da água da chuva e grelhas de piso para o acesso de manutenção.

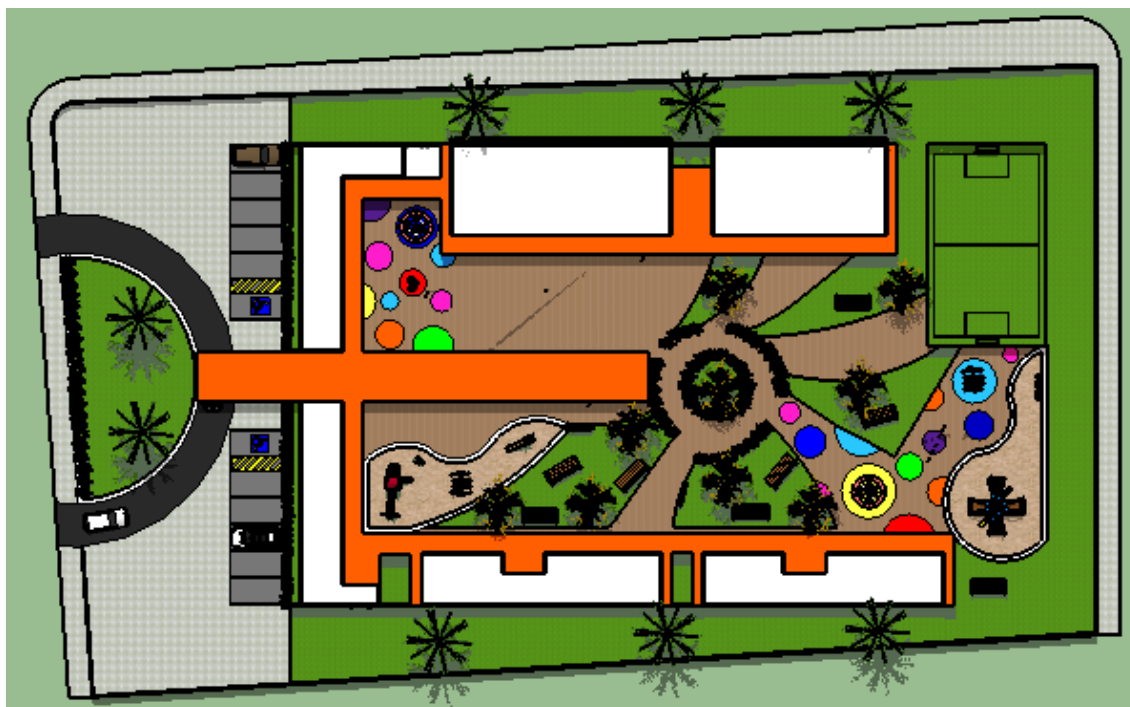


Figura 29 - Vista superior da maquete digital.

5.4 MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR

Tabela 1 - Irradiação solar diária média mensal.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal (kWh/m ² dia)													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Delt
Plano Horizontal	0° N	5,86	6,00	6,01	5,37	4,82	4,36	4,47	5,26	5,76	6,05	6,24	6,15	5,53	1,88
Ângulo igual à latitude	7° N	5,62	5,86	6,01	5,51	5,06	4,62	4,72	5,46	5,82	5,95	6,00	5,85	5,54	1,38

Para descobrir o provável rendimento do sistema FV ou verificar sua viabilidade é necessário obter o histórico de medição de radiação solar, difusa e direta, do local definido para a instalação, para obtenção dessas medições a base de dados “SunData” do CRESESB – CEPEL foi utilizada, a qual é destinada a calcular a irradiação solar diária mensal em qualquer ponto do território nacional. Para as coordenadas geográficas do Centro Educacional foi verificado uma irradiação solar diária média mensal no plano horizontal de 5,53 kWh/m².dia, representado na Tabela 1.

É possível observar, de acordo com a Figura 30, que o mês de junho apresenta a menor incidência de irradiação solar, mês que coincide com as chuvas da região.

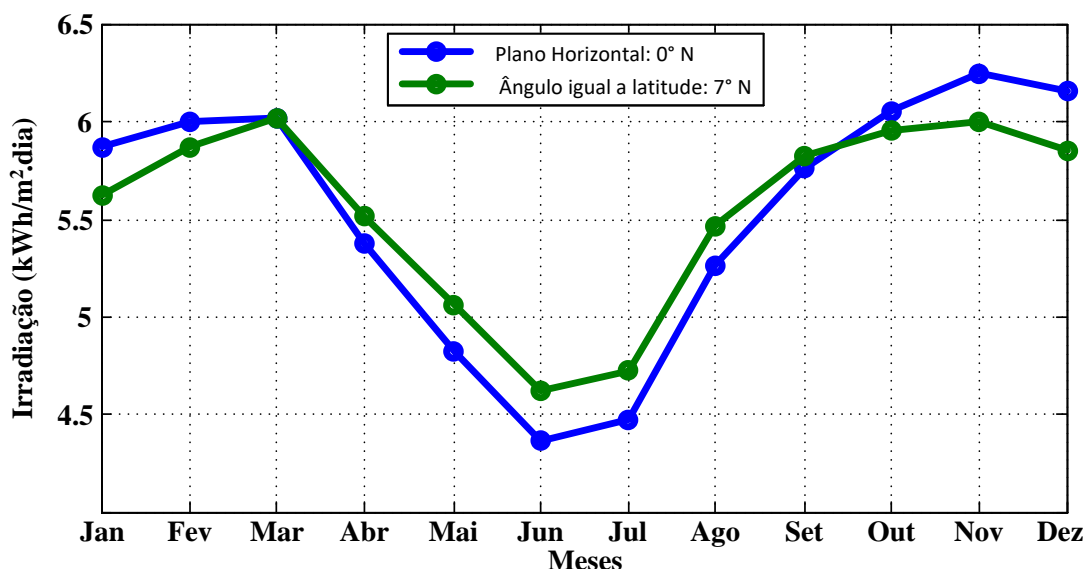


Figura 30 - Curvas de irradiação solar durante todo o ano.

5.5 ORIENTAÇÃO E ESCOLHA DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO

Conforme afirma [9], a melhor maneira de instalar um módulo solar fixo, situado no hemisfério sul, sem um sistema de rastreamento solar, é orientá-lo com sua face voltada para o norte geográfico. Essa orientação melhora o aproveitamento da luz solar ao longo do dia, pois, durante todo tempo, o módulo fica exatamente de frente para o Sol.

A Tabela 2 mostra o ângulo de instalação recomendado para painéis fotovoltaicos de acordo com a latitude da localização, na qual se pode ver que o ângulo de inclinação recomendado será de 10°.

Tabela 2 – Recomendações de ângulo para instalação de painéis fotovoltaicos [9].

Latitude Geográfica do Local	Ângulo de Inclinação Recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

5.6 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DO SISTEMA

Nesta seção serão utilizados os métodos apresentados em [9] para dimensionar os componentes do sistema fotovoltaico.

5.6.1 Painel Fotovoltaico

A Figura 31 mostra um painel fotovoltaico, para este painel foram obtidos os dados do catálogo do fabricante VirdurGlass S.L., modelo VS29 C54 P219 (Anexo E), e este painel foi escolhido devido ao fato de já existir um orçamento de um projeto anterior e assim facilitar o andamento deste trabalho, mas como o projeto do Centro Educacional ainda não foi realizado é possível fazer uma escolha melhor, futuramente. Este módulo apresenta as especificações técnicas dispostas na Tabela 3.



Figura 31 - Conjunto de painéis fotovoltaicos.

Tabela 3 - Parâmetros do painel fotovoltaico.

Parâmetros Estruturais:	
Tamanho	1.856 mm x 1.070 mm
Peso	56 Kg
Células	54 cél. mono – cristalinas, 156 x 156 mm
Transparência (aprox.)	29 %
Características Elétricas (tolerância: +/- 5%): (STC: 1000 W/m², AM 1,5 e temp. da cél. de 25°C)	
Potência Nominal (P _{máx})	219 Wp
Corrente MPP (I _{mpp})	8,07 A
Tensão MPP (V _{mpp})	27,21 V
Corrente de curto circuito (I _{sc})	8,56 A
Tensão de circuito aberto (V _{oc})	34,34 V
Eficiência (10 anos)	90 %
Coefficientes de temperatura das células:	
Coefficiente de potência nominal	-0,42 % / K
Coefficiente de corrente de curto circuito	+0,05 % / K
Coefficiente de tensão de circuito aberto	-0,33 % / K

Primeiramente, foi calculada a área de um módulo. De acordo com as especificações, as dimensões do módulo são 1,856 m x 1,070 m. Portanto, a área ocupada por módulo será dada por (1).

$$A = 1,856m \cdot 1,07m = 1,986m^2 \quad (1)$$

A área do local de instalação é de aproximadamente 1.300 m². Dividindo a área do local de instalação pela área de um módulo, obtém-se a quantidade necessária de módulos FV para o projeto, que é calculada em (2).

$$n^{\circ} \text{módulos} = \frac{1.300m^2}{1,986m^2} = 654,582 \quad (2)$$

Portanto, serão necessários 654 módulos para suprir a área em questão, correspondendo a uma potência nominal de 143,23 kWp em condições ideais de radiação solar.

5.6.2 Inversor Solar

Para o dimensionamento de um inversor, como o da Figura 32, foi utilizado o critério da potência, que, segundo a norma NBR 15149, os inversores devem estar na faixa de potência de 80% - 120% da potência nominal dos módulos fotovoltaicos, ou seja, para o nosso sistema a potência nominal é de 143,23 kW, o sistema foi dividido em 5 subsistemas e observando as linhas de inversores comerciais do fabricante Fronius, foi selecionado, para cada um, o modelo Symo 20.0-3 480, que apresenta uma potência máxima de 30 kW, além de ser recomendado para módulos de filmes finos, suas características elétricas são expostas na Tabela 4.



Figura 32 - Exemplo de inversor solar.

Tomando como base a potência elétrica nominal do conjunto dos módulos FV e a do inversor, foi verificado, a princípio, que o arranjo de cinco inversores atende o sistema FV, distribuindo de forma balanceada 28,646 kW por inversor, porém, para definir a quantidade de inversores de forma correta, é necessário avaliar outros parâmetros como a tensão de circuito aberto e a corrente máxima permitida, que será avaliado posteriormente.

Tabela 4 - Especificações do inversor (Apêndice E).

Parâmetros Estruturais:	
Peso	95,7 lbs./43,4 Kg
Input Data	
Max. potência permitida	30,0 kW
Max. corrente de entrada utilizável (MPPT 1/MPPT 2)	33,0 A / 25,0 A
Max. cor. de ent. utilizável total (MPPT 1+MPPT 2)	51,0 A
Max. corrente de entrada admissível (MPPT 1/MPPT 2)	49,5 A / 37,5 A
Max. cor. de ent. admissível total (MPPT 1+MPPT 2)	76,5 A
Suportes de fusíveis dos <i>strings</i> CC integrados (devem ser especificados ao encomendar)	Opicional: 6- e 6+
Faixa de tensão de MPP	450 - 800 V
Faixa de tensão de operação	200 – 1.000 V
Max. tensão de entrada	1.000 V
Tensão de entrada nominal	710 V
Tamanho de condutor CC admissível	AWG 14 - AWG 6 cobre, AWG 6 alumínio, AWG 4 cobre ou alumínio com combinador de entrada
Número de MPPT	2
Dados de Saída	
Max. potência de saída	19,995 VA
Max. corrente de falta na saída / Duração	30,9 A RMS / 150,4 ms
Max. corrente contínua de saída	24,0 A
Tamanho recomendado de disjuntor OCPD/AC	30,0 A
Max. Eficiência	98,0 %
Eficiência CEC	97,5 %
Tamanho de condutor CA admissível	AWG 14 - AWG 6
Conexão com a rede	480 V Delta +N**
Frequência	60 Hz
Distorção Harmônica Total	< 1,75 %
Fator de potência	0 - 1 ind./cap.

5.6.3 Configuração do Arranjo Fotovoltaico

A distribuição da potência elétrica total de geração do sistema fotovoltaico, como foi dito anteriormente, ficou organizada em cinco subsistemas, com cada um sendo representado por um inversor e uma potência elétrica de 28,646 kW (aproximadamente 130 módulos, que corresponde a uma área de 258,18 m²), porém ainda devemos definir o arranjo fotovoltaico com a finalidade de harmonizar a tensão e a corrente conforme os parâmetros do inversor adotado.

De acordo com as especificações do fabricante o inversor dispõe de dois MPPT's, com tensões máximas idênticas de 1000 V e correntes máximas de operação distintas: sendo 49,5 A para o MPPT 1 e 37,5 A para o MPPT 2. O fabricante do inversor possibilita dois tipos de configurações com relação ao MPPT's:

- MPPT 1+MPPT 2 – operação conjunta.
- MPPT 1/MPPT 2 – operação independente.

Foi escolhida a configuração MPPT 1/MPPT 2, por apresentar um maior grau de eficiência e independência entre as *strings* que compõem o mesmo subsistema. Para o dimensionamento seguro do tamanho da *string* e o número de *strings* em paralelo, será considerado um fator de segurança empírico de 10%.

- Definição do MPPT 1:
 - **Tamanho da String:** considerando 90% da tensão máxima admissível na entrada do inversor e a tensão em circuito aberto do módulo fotovoltaico, define-se o tamanho máximo da *string*, que são os módulos em série, através de (3).

$$N_{T-MAX} = \frac{0,9 \cdot V_{MAXinv}}{V_{OC}} = \frac{0,9 \cdot 1.000 \text{ V}}{34,34 \text{ V}} \rightarrow N_{T-MAX} = 26 \quad (3)$$

- **Linhas de String:** considerando 90% da corrente máxima admissível na entrada do inversor e a corrente de curto circuito módulo fotovoltaico, define-se o número máximo de *strings* em paralelo pela equação (4).

$$N_{L-MAX} = \frac{0,9 \cdot I_{MAXinv}}{I_{SC}} = \frac{0,9 \cdot 49,5 \text{ A}}{8,56 \text{ A}} \rightarrow N_{L-MAX} = 5 \quad (4)$$

- Definição do MPPT 2:
 - **Tamanho da String:** como a tensão máxima do inversor é a mesma para ambos os MPPT's, então o tamanho da *string* também será mesmo, ou seja, 26 módulos conectados em série.

- **Linhas de *String*:** como o MPPT 2 possui um valor de corrente máximo menor que o MPPT1, então, usando (4), é possível obter o número de *strings* em paralelo de acordo com (5).

$$N_{L-MAX} = \frac{0,9 \cdot 37,5 \text{ A}}{8,56 \text{ A}} = 3 \quad (5)$$

Com as informações da quantidade de módulos por subsistema, o tamanho máximo da *string* e o número máximo de linhas de *string* por MPPT's, definiu-se a seguinte configuração:

- MPPT 1: 4 *strings* conectados em paralelo e cada *string* com 19 módulos conectados em série, gerando uma tensão resultante em circuito aberto de 652,46 V, num total de 76 módulos.
- MPPT 2: 3 *strings* conectados em paralelo e cada *string* com 18 módulos conectados em série, gerando uma tensão resultante em circuito aberto de 618,12 V, num total de 54 módulos.

5.6.4 Dimensionamento dos Fusíveis no lado de Corrente Contínua (CC)

Segundo a norma IEC 60364, em conjuntos com mais de dois *strings* paralelos é necessário empregar fusíveis para a proteção contra a corrente reversa dos módulos nos *string* box. Se um dos *strings* apresentar falha devido ao sombreamento ou curto-circuito em algum módulo, ele pode estar sujeito a uma corrente reversa imposta pelos demais *strings* do conjunto. A corrente máxima suportada pelos fusíveis é calculada de acordo com (6).

$$1,1 \cdot I_{SC} \leq I_F \leq I_R \quad (6)$$

Considerando uma corrente reversa de 15 A, tem-se:

$$9,42 \text{ A} \leq I_F \leq 15 \text{ A} \quad (7)$$

Em que:

- I_{SC} = corrente de curto-circuito do *string* em condição padrão de teste (A).
- I_F = corrente nominal do fusível (A).
- I_R = corrente reversa suportada pelo módulo fotovoltaico especificada na folha de dados do fabricante (A).

De acordo com [9] o fusível deve atuar em situações de falha, quando a ocorrência da corrente reversa pode exceder a corrente máxima suportada pelo módulo. O fusível deve ser

dimensionado para atuar com uma corrente inferior ou igual à máxima corrente reversa que o módulo suporta, de acordo com as especificações do fabricante.

A norma IEC 60364 ainda diz que a relação em (8) deve ser atendida para conjuntos fotovoltaicos com mais de dois *strings* paralelos.

$$1,35 \cdot I_{RM} \leq (N_{PAR} - 1) \cdot I_{SC} \quad (8)$$

Considerando o caso mais crítico, no qual são 4 *strings* em paralelo, tem-se:

$$1,35 \cdot I_{RM} \leq (4 - 1) \cdot 8,56 \rightarrow I_{RM} \leq 19,02 \text{ A} \quad (9)$$

Em que:

- I_{RM} = corrente reversa máxima presente no circuito (A).
- N_{PAR} = número de *strings* ligados em paralelo (A).

Como $I_R < I_{RM}$, o fusível de proteção será dimensionado pelo valor de I_R , para garantir que os módulos de um *string* jamais serão submetidos a uma corrente reversa superior à corrente especificada na folha de dados, os fusíveis empregados na proteção dos *strings* e conjuntos fotovoltaicos serão do tipo gPV de 15 A, cartucho ultra rápido, modelo FS1-1015 e porta fusível, modelo FS1-3000, ambos do fabricante brasileiro Brasiltec. Como cada subsistema possui sete *strings* e o sistema completo é composto por cinco subsistemas, serão necessários 70 fusíveis com seus respectivos porta-fusíveis.

5.6.5 Dimensionamento dos Cabos no Lado de Corrente Contínua (CC)

Para a correta seleção dos cabos elétricos do lado CC, deve ser levado em consideração o método de instalação, a capacidade de condução de corrente e por fim o critério da queda de tensão, os dois últimos serão apresentados a seguir.

- **Capacidade de condução de corrente:** para conjuntos fotovoltaicos com mais de dois *strings* em paralelo, o dimensionamento dos cabos deve levar em conta a corrente reversa máxima que pode circular pelo sistema ou a corrente para qual foi definido o fusível de proteção da *string*. Foi selecionada a corrente reversa máxima (calculada anteriormente), por apresentar um valor mais crítico para a instalação, então:

$$I_{Cabos} \geq I_{RM} \rightarrow I_{Cabos} \geq 19,02 \text{ A} \quad (10)$$

Considerando o método de instalação a ser utilizado, que será o B1, ou seja, para condutores isolados em eletroduto de seção circular; quatro condutores elétricos carregados por eletroduto e a corrente suportada pelos cabos elétricos nas instalações

em corrente contínua, então foi selecionado um cabo com seção de 2,5 mm², 0,6/1,0 kV, isolamento em XLPE, 90°C, conforme a NBR 5410:2004.

- **Critério da queda de tensão:** o cálculo de “seção mínima por queda de tensão” é, excepcionalmente, o critério que deve ser distinto em relação à NBR-5410:2004, visto que a norma internacional IEC 60364-7-712 indica valores específicos para as passagens dos cabos que interligam os componentes principais do sistema fotovoltaico, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Valor das quedas de tensões para sistemas conectados à rede. Fonte: IEC 60364-7-712

Quedas de Tensão para Sistemas Conectados à Rede	
Painel Fotovoltaico – Inversor Interativo	1 %
Inversor Interativo - Rede	3 %

Para definição da seção mínima do cabo, é possível utilizar a relação apresentada em (11).

$$S_{mm^2} = \frac{2 \cdot L \cdot I_{Cabo}}{\theta \cdot QV \cdot V_{string}} = \frac{2 \cdot 30 \cdot 19,02}{56 \cdot 0,01 \cdot 652,46} \rightarrow S_{mm^2} = 3,12 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

Em que:

- S_{mm^2} = seção do condutor em milímetros quadrados.
- L = distância entre o conector e o quadro/caixa de junção/conexão, em metros.
- I_{Cabo} = valor da corrente considerada para o cabo, em amperes.
- θ = condutibilidade do material condutor (Cobre=56 (Ωm)⁻¹; Alumínio=32 (Ωm)⁻¹).
- QV = queda de tensão permitida, no trecho calculado, em decimal (1% = 0,01).
- V_{string} = tensão em máxima potência da *string*, em volts.

Considerando o pior caso, que é uma distância máxima de 30 metros do painel fotovoltaico ao inversor, a corrente suportada pelos cabos elétricos nas instalações em corrente contínua é idêntica ao valor obtido no método de capacidade, a queda de tensão admissível e o maior valor de tensão de *string* prevista no sistema, foi selecionado um cabo com seção de 4,0 mm², 0,6/1,0 kV, isolamento em XLPE, 90°C.

Comparando-se os métodos de capacidade de condução de corrente e queda de tensão, optamos pela maior seção transversal do cabo CC, obtida pelo método queda de tensão, o qual recomenda um cabo de 4,0 mm², 0,6/1,0 kV, isolamento em XLPE, 90°C.

5.6.6 Chave Seccionadora do Lado CC

A chave seccionadora CC, ou interruptor de corte CC, é instalada antes do inversor, isolando o circuito DC para permitir que o trabalho seja feito no inversor com a parte de geração de energia do sistema desligada. Deve ser dimensionada para lidar com 156% da corrente em curto circuito do conjunto e 600 volts de corrente direta (Vdc). Considerando a corrente de curto circuito máxima prevista na instalação igual a I_{RM} é possível calcular a corrente admissível da chave seccionadora por (12).

$$I_{CH} = I_{RM} \cdot 1,56 = 19,02 \cdot 1,56 \rightarrow I_{CH} = 29,67 \text{ A} \quad (12)$$

Em que:

- I_{CH} = corrente admissível da chave seccionadora (A).
- I_{RM} = corrente reversa máxima presente no circuito (A).

Portanto foi selecionada uma chave do modelo “OT40F” do fabricante “ABB” para cada MPPT, totalizando 10 interruptores de corte para o conjunto fotovoltaico.

5.6.7 Dispositivo de Proteção Contra Surto (DPS) do Lado CC

Uma rede elétrica ao ser atingida por raios de maneira direta ou indiretamente causa aumento súbito da tensão elétrica. Esse fenômeno é chamado surto elétrico ou sobretensão, que se propaga até encontrar um ponto de escoamento para a terra. Os equipamentos atingidos pelo surto elétrico podem ser danificados de modo irreparável ou até mesmo incendiar, por essa razão é indispensável a instalação dos dispositivos de proteção de surto (DPS) nos sistemas fotovoltaicos.

A tensão máxima contínua verificada nas *strings* é de 652,46 V, desse modo selecionamos o DPS modelo da CLAMPER Solar 1000V 40 kA classe II, com tensão máxima de operação contínua de 1000 V, corrente de descarga máxima de 20 kA, considerando que a distância entre a caixa de junção e o inversor estará a uma distância maior que 10 metros, será previsto um DPS próximo da caixa de junção e outro no quadro de proteção do circuito CC.

5.6.8 Condutores do Lado CA

Para realizar o dimensionamento da bitola dos cabos elétricos do lado CA, utiliza-se dois critérios, os quais são a capacidade de condução de corrente e da queda de tensão, conforme a NBR 5410:2004.

- **Capacidade de condução de corrente:**

De acordo com as especificações do inversor, a corrente máxima admissível na saída do inversor é igual a 30,9 A, portanto o condutor que será empregado deve suportar esta corrente máxima com uma tolerância a mais de 10%, desprezando o fator de temperatura e agrupamento, e é calculada por (13).

$$I_{cabo} = 1,1 \cdot I_{max} = 1,1 \cdot 30,9 \rightarrow I_{cabo} = 33,99 \text{ A} \quad (13)$$

Em que:

- I_{cabo} = corrente de projeto a ser considerada (A).
- I_{max} = corrente máxima admissível pelo inversor (A).

Considerando o método de instalação B1 e três condutores carregados, o método sugere um cabo com seção de 6,0 mm², 0,6/1,0 kV, isolamento em PVC, 70°C, conforme a NBR 5410:2004.

- **Queda de tensão (seção mínima):**

Para este critério, foram utilizadas, novamente, a Equação (11) e a Tabela 5 e com isso é obtido o valor de seção dado por (14).

$$S_{mm^2} = \frac{2 \cdot 45 \cdot 38,62}{56 \cdot 0,03 \cdot 380} \rightarrow S_{mm^2} = 5,47 \text{ mm}^2 \quad (14)$$

Comparando-se os métodos de capacidade de condução de corrente e queda de tensão, optamos pela maior seção transversal do cabo CA obtida pelo método capacidade de condução de corrente, o qual recomenda um cabo de 6,0 mm², 0,6/1,0 kV, isolamento em PVC, 70°C.

5.6.9 Disjuntor Lado CA

No lado CA de cada inversor serão utilizados disjuntores para a proteção dos próprios inversores e dos cabos elétricos, além disso, funciona como um dispositivo de manobra para manutenções preventivas e corretivas que venham a ocorrer. Desta forma, para dimensionar o disjuntor, é necessário analisar a corrente máxima de saída do inversor que será protegido, bem como a corrente máxima suportada pelo cabo CA de 6 mm² definido anteriormente.

O condutor elétrico de 6 mm² com isolamento em PVC suporta uma condução máxima de 36 A em CA. Conforme o catálogo do fabricante, o inversor possui na saída uma condução máxima 30,9 A, portanto o disjuntor selecionado deve atuar numa intensidade de corrente inferior a 30,9 A para proteger tanto o inversor quanto o condutor elétrico.

Sendo assim, foi selecionado um disjuntor tripolar termomagnético, tipo B, corrente nominal de 25 A, modelo da Siemens 5SL3 325-6MB, o qual será instalado na saída de cada inversor.

5.6.10 Dispositivo de Proteção contra Surto (DPS) do Lado CA

Da mesma forma que no lado CC, é indispensável o uso de DPS no lado CA, visto que ambos estão sujeitos a descargas atmosféricas, e o custo de dispositivo de proteção em detrimento do custo de outros equipamentos como inversores e módulos fotovoltaicos, não há motivo para renunciar esse dispositivo de segurança.

Desse modo, o dimensionamento do DPS será da mesma maneira que foi realizada no lado CC de acordo com a (ABNT NBR-1510:2004), porém os dispositivos devem ser selecionados de acordo com a tensão da rede.

Portanto, com o intuito de propor mais proteção para o sistema, selecionamos o DPS da CLAMPER, modelo VCL SP, 275 V, 20 kA, classe II, com tensão máxima de operação contínua de 275 V, corrente de descarga máxima de 20 kA.

5.6.11 Condutor de Equalização e Aterramento

O aterramento é a ligação intencional de estruturas ou instalações com a terra, visando garantir o funcionamento correto da instalação e, principalmente, proporcionar um caminho preferencial às correntes elétricas indesejáveis de surto, falta ou fuga, de forma a evitar riscos para as pessoas e os equipamentos. É necessário fazer-se o aterramento de proteção dos equipamentos (conexão da carcaça condutora ao terra) e o aterramento funcional do sistema (conexão do circuito elétrico ao terra, através do condutor neutro, no lado CA).

Em conformidade com a ABNT NBR 5410:2004, é necessário que o condutor de equipotencialização possua bitola com seção igual aos condutores de fase, sempre que esses tenham bitola menor que 16 mm^2 , como é o caso deste trabalho. Desse modo o condutor de equipotencialização terá uma bitola de 6 mm^2 , isolamento em PVC, 0,6/1,0 KV 70°C , e o aterramento, de acordo com a NBR 5419:2015, será composto por hastes cobreadas de 2400 mm distribuídas no perímetro do prédio e interligadas por cabos de cobre nu de 50 mm^2 .

5.6.12 Diagrama Unifilar e Trifilar

Apêndices A e B, respectivamente.

5.7 ESBOÇO FINAL DO PROJETO

Nas seções anteriores deste capítulo foram apresentadas plantas arquitetônicas do Centro Educacional, ainda com a laje impermeabilizada, que seria a ideia inicial. Porém com o projeto BIPV é possível substituir toda a laje pelos painéis fotovoltaicos, o qual terá a função de cobertura da edificação, como também, fonte de energia renovável. Dessa forma, são apresentadas a maquete digital e a planta final do sistema BIPV na Figura 33 e Figura 34, respectivamente. Outras imagens, mais detalhadas, serão apresentadas no apêndice C.

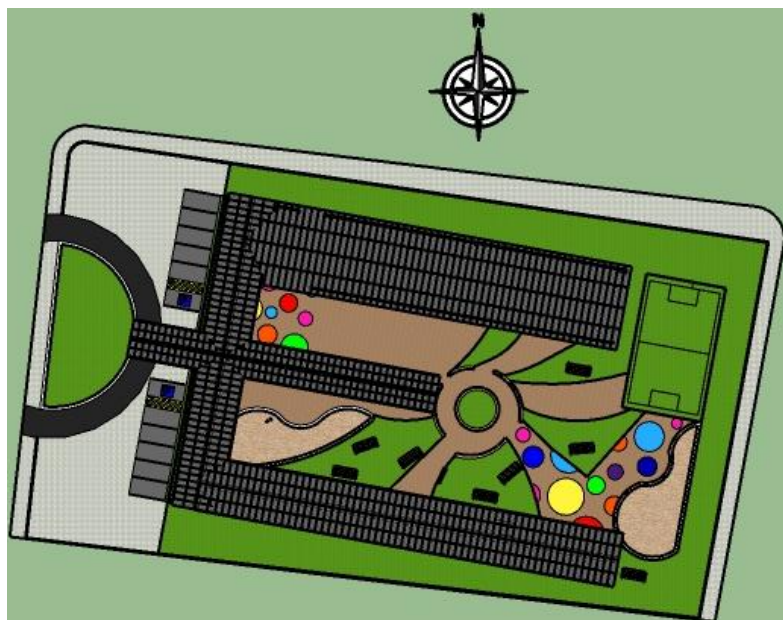


Figura 33 - Maquete do Centro Educacional com os painéis fotovoltaicos. Fonte: Autor.

A Tabela 6 apresenta a distribuição dos módulos mostrados na Figura 34.

Tabela 6 - Distribuição dos módulos fotovoltaicos.

N° de Módulos por Ponto Cardeal					
	Norte	Leste	Sul	Oeste	Total
Subsistema 1	130				130
Subsistema 2			130		130
Subsistema 3	130				130
Subsistema 4			130		130
Subsistema 5	20	45	20	45	130
Total	280	45	280	45	650

LEGENDA

- ① Subsistema 1
- ▷ Inclinação do Módulo

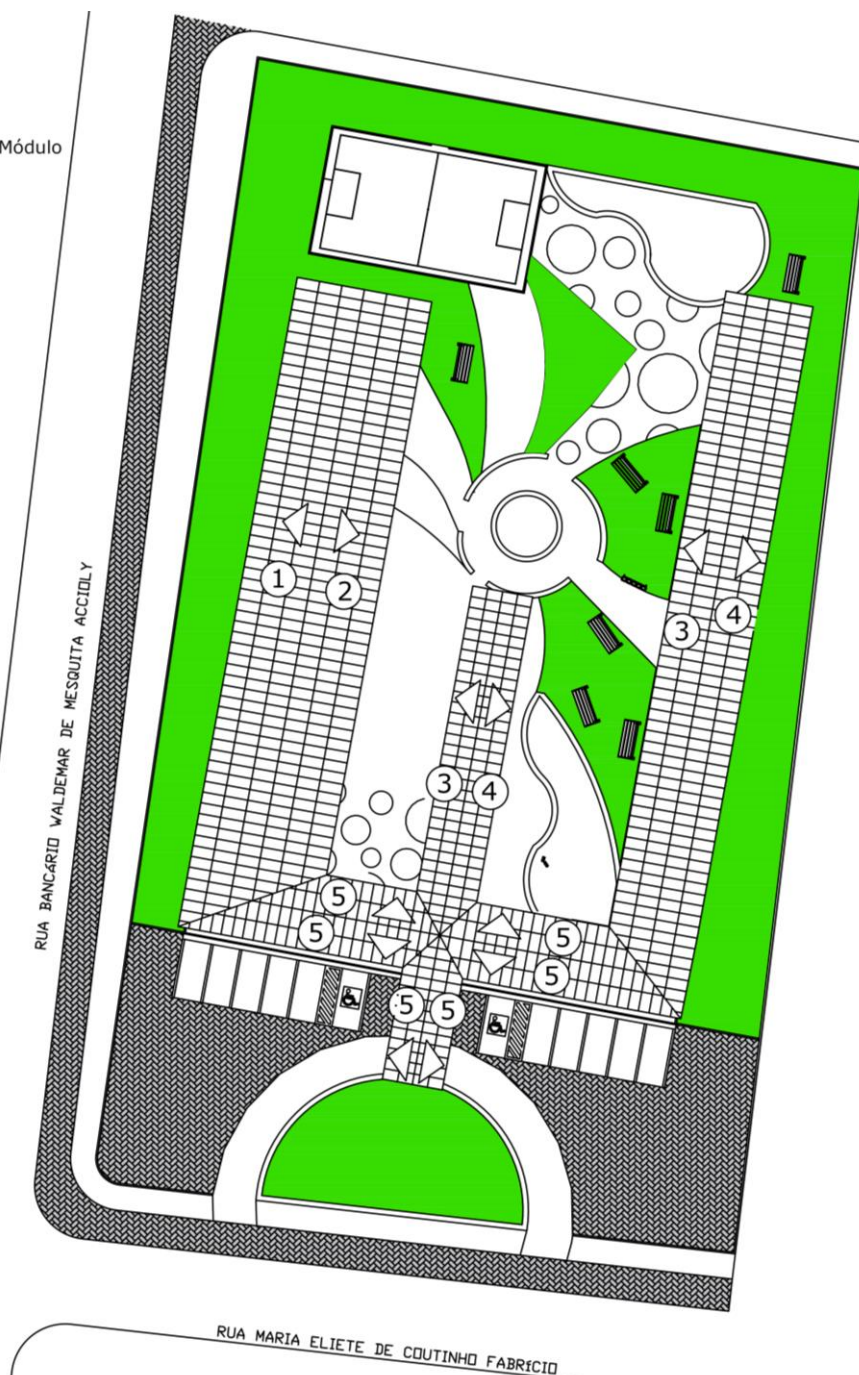


Figura 34 - Planta final do sistema BIPV projetado.

5.8 GERAÇÃO DE ENERGIA ESPERADA

Para auxiliar no cálculo da energia gerada, foi utilizado um software de simulação de sistemas fotovoltaicos chamado *PVSize*, o qual é gratuito e de fácil uso, capaz de dimensionar e prever a performance do sistema, permitindo ao consumidor escolher a melhor combinação entre as *strings* dos painéis fotovoltaicos e inversores.

No sistema proposto existem conjunto de painéis, divididos em subsistemas, apontado nas quatro direções, o ângulo azimutal dos painéis voltados para norte, leste, sul e oeste são 16°, 106°, 196° e 286°, respectivamente. Além disso, todos os painéis possuem uma inclinação de 10° com relação ao plano horizontal.

Dessa forma, utilizando estes valores no simulador *PVSize*, foi obtida a Figura 35 com os valores esperados de energia gerada no ano para cada direção e seu respectivo ângulo azimutal, uma melhor análise do simulador é mostrada no apêndice D.

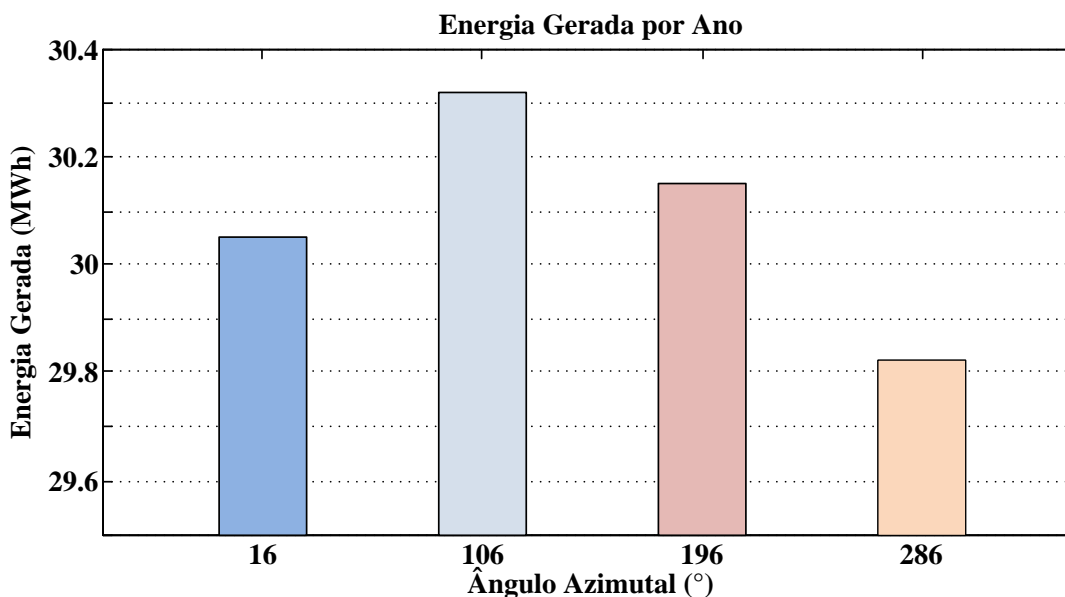


Figura 35 - Geração de energia esperada anual para cada ângulo azimutal.

No sistema fotovoltaico completo, o percentual do número de painéis, de acordo com a Tabela 6, nas direções norte, leste, sul e oeste são de 43%, 43%, 7% e 7%, respectivamente. Dessa forma foi adotada a média ponderada para indicar o valor da energia anual esperada por subsistema, que é de 30,157 MWh e, sabendo que existem cinco subsistemas, a energia total esperada é de 150,78 MWh por ano.

5.9 ORÇAMENTO DO SISTEMA BIPV PROJETADO

Como os sistemas BIPV foram planejados para integrar a estrutura da edificação em que serão instalados, então, na Tabela 7, é apresentado o orçamento da laje, que seria feita para o Centro Educacional, conforme o projeto arquitetônico inicial da Figura 29. Dessa forma, é possível deduzir este valor do orçamento da Tabela 8, que foi calculado para o sistema BIPV. Essa dedução é uma das vantagens em se utilizar esse tipo de sistema

Tabela 7 - Orçamento para a laje do centro educacional.

Orçamento da Laje					
Item	Descrição	Und	Quantidade	Valor Unitário	Valor Global
1	Laje pré-fabricada treliçada para cobertura, intereixo 38 cm, h=21cm, elemento de enchimento em EPS h=16cm, inclusive escoramento em madeira e capeamento 4cm.	m ²	1.300,00	161,57	210.041,00
2	Impermeabilização com manta asfáltica 4 mm, estruturada com não-tecido de poliéster, inclusive aplicação de 1 demão de primer, exceto proteção mecânica	m ²	1.300,00	73,65	95.745,00
3	Proteção mecânica de superfície com argamassa 1:3 (cimento e areia), espessura=2cm, com impermeabilizante vedacit	m ²	1.300,00	30,68	39.884,00
4	Pintura acrílica em piso cimentado, três demãos	m ²	1.300,00	15,48	20.124,00
5	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea utilizando aço CA-50 de 10,0 mm	Kg	3.104,30	7,06	21.916,36
6	Concretagem de Pilares e Vigas, FCK=25 MPA, lançamento, adensamento e acabamento.	m ³	37,60	343,19	12.903,94
7	Fabricação de fôrma para pilares e estruturas similares, em chapa de madeira compensada resinada, E=17 mm	m ²	510,14	89,2	45.504,49
Total					446.118,79

Tabela 8 - Orçamento para o sistema BIPV.

Orçamento da Coberta Fotovoltaica					
Item	Descrição	Und	Quantidade	Valor Unitário	Valor Global
1	PV glass - safety laminate integrating PV cells encapsulated with PVB. Model VS29 C54 P219	pç	650,00	2.046,14	1.329.991,00
2	Fronius Symo 20.0-3 480V 3-Phase Inverter	pç	5,00	17.616,00	88.080,00
3	Safety laminates with screen-print simulating PV-cells. Two colours (exterior - interior).	pç	60,00	533,06	31.983,60
4	Screen-printing tools (one for each colour)	pç	2,00	2.383,04	4.766,08
5	Set of aluminium profiles Albédium and Albétra for fixing of the glass	pç	1,00	161.942,42	161.942,42
6	Wooden safety boxes for oversea transport of glass	pç	36,00	515,60	18.561,60
7	Serviço de instalação e demais componentes		1,00	81.664,15	81.664,15
Total					1.716.988,85

CAPÍTULO 6 -ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para saber se um investimento é vantajoso, é necessário saber o valor que será investido, os fluxos de caixa futuros, o tempo em que esses fluxos ocorrerão e o custo que o dinheiro possuirá com o passar do tempo, que é calculado pela taxa de juros. Dessa forma utilizam-se modelos financeiros para se tomar decisões de investimentos, neste trabalho será abordado o modelo de Valor Presente Líquido (VPL) [14].

6.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

Para um investimento ser justificado, deseja-se que seu retorno financeiro supere o valor de seu investimento no menor prazo possível, pois, assim, o investidor tem maior segurança para investir seu patrimônio em um projeto com valor futuro maior de retorno.

O resultado excedente é o lucro que o investidor terá depois de recuperar o valor investido inicialmente e isso se justifica pela existência das taxas de juros aplicadas no serviço prestado, que, no caso, será a geração de energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos.

O modelo VPL utiliza as seguintes variáveis:

- O valor do investimento do sistema BIPV (I_0).
- O valor do fluxo futuro de benefícios (FF), que será o crédito recebido pela energia gerada.
- A quantidade de anos que durarão os fluxos futuros (N_a).
- A taxa de juros desejada pelo investidor (i).

Com exceção da primeira variável I_0 , que é um valor fixo disponibilizado pelo investidor, as demais variáveis sofrem com as variações das taxas de mercado, tais como, o valor da tarifa de energia ao longo dos anos, a queda de rendimento dos painéis fotovoltaicos, variações nas taxas de juros e de inflação. Dessa forma, utiliza-se a Equação (15) para o cálculo do VPL.

$$VPL = -I_0 + \sum_{k=1}^{N_a} \frac{FF_k}{(1+i)^k} \quad (15)$$

Note que o termo $(1+i)$ está dividindo os valores de fluxo futuro para adequar o valor do dinheiro nos anos seguintes ao valor presente, para justificar o investimento através de valores atuais.

6.1.1 Fluxo Futuro de Benefícios

No caso de sistemas fotovoltaicos, o fluxo futuro de benefícios é dado pela quantidade gerada de energia em kWh multiplicada pelo valor da tarifa da energia elétrica, medida em R\$/kWh.

De acordo com a Energisa PB [15] a modalidade de tarifa convencional para baixa tensão que atende a classe dos serviços públicos é a B3 e tem valor de 0,42 R\$/kWh, porém deve-se levar em consideração que com o passar dos anos os valores destas tarifas tendem a aumentar e, segundo [16], a Tabela 9 mostra os valores das tarifas médias anuais de 2014 a 2018 e suas respectivas taxas de reajuste, que são dados do setor público.

Tabela 9 - Tarifas médias anuais de energia elétrica [16].

Ano	Tarifa (R\$/kWh)	Reajuste (%)
2014	0,3129	-
2015	0,38715	23,72963
2016	0,41461	7,092858
2017	0,44388	7,059646
2018	0,483	8,813193
Média		11,67

Então, considerado a situação acima, será utilizado um aumento constante de 11,67% durante os próximos 25 anos que possibilitará fazer uma previsão das tarifas dos anos seguintes, que é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 - Previsão da tarifa de energia elétrica ao longo dos anos.

Ano	Tarifa (R\$/kWh)	Ano	Tarifa (R\$/kWh)
0	0,42	13	1,76
1	0,47	14	1,97
2	0,52	15	2,20
3	0,58	16	2,46
4	0,65	17	2,74
5	0,73	18	3,06
6	0,81	19	3,42
7	0,91	20	3,82
8	1,02	21	4,26
9	1,13	22	4,76
10	1,27	23	5,32
11	1,41	24	5,94
12	1,58	25	6,63

Outro aspecto importante para o cálculo dos fluxos futuros é a taxa de perda de eficiência dos módulos fotovoltaicos, ou seja, cada ano que passa a tendência é que os módulos gerem uma quantidade menor de energia. Na Tabela 3, o fornecedor do módulo garante uma eficiência de 90% depois de 10 anos, o que representa uma taxa de depreciação de 1% ao ano, logo, em 25 anos, são calculados os valores da energia gerada pelos painéis na Tabela 11.

Tabela 11 - Geração de energia dos painéis fotovoltaicos ao longo dos anos.

Ano	Energia Gerada (kWh)	Ano	Energia Gerada (kWh)
0	150.780	13	132.313
1	149.272	14	130.989
2	147.779	15	129.680
3	146.302	16	128.383
4	144.839	17	127.099
5	143.390	18	125.828
6	141.956	19	124.570
7	140.537	20	123.324
8	139.131	21	122.091
9	137.740	22	120.870
10	136.363	23	119.661
11	134.999	24	118.465
12	133.649	25	117.280

Por fim, o último aspecto a ser considerado no cálculo dos fluxos futuros é o custo da manutenção do sistema fotovoltaico, que será considerada como sendo 1% do valor do orçamento total do projeto.

Como mencionado anteriormente, o valor do dinheiro muda com o passar do tempo e o mesmo ocorre com o valor dos serviços prestados, para este caso, a manutenção do sistema e seu valor muda de acordo com os níveis da inflação, que segundo [17], a estimativa da inflação para 2018 é de 4,15% e será considerada constante para os próximos 25 anos. Dessa forma o cálculo dos fluxos futuros de benefícios é dado pela Equação (16).

$$FF_k = Eg_k \cdot Te_k - Cm \cdot (1 + In)^k \quad (16)$$

Sabendo que:

- k é o número de anos que se passaram.
- FF_k é o fluxo futuro de benefício do ano.
- Eg_k é a energia gerada no ano.

- T_{e_k} é a tarifa de energia elétrica cobrada no ano.
- C_m é o custo de manutenção gasto no primeiro ano de uso do sistema.
- I_n é a taxa de inflação.

6.1.2 Taxa de Juros (Selic)

Na equação (15) leva-se em consideração a taxa de juros que é deduzida dos valores de fluxo futuros e para este trabalho será considerada como sendo igual a taxa Selic, que é definida como a taxa média dos financiamentos apurados para títulos federais, em que são considerados os financiamentos diários operados por câmaras ou prestadoras de serviços de compensação e liquidação, e para o ano de 2018 teve algumas variações, que são apresentadas na Tabela 12, e será considerada a média dessas variações para o cálculo da VPL.

Tabela 12 - Variação da taxa SELIC durante 2018 [18].

Período de vigência	Taxa SELIC (% a.a.)
21/06/2018 – 01/08/2018	6,40
17/05/2018 – 20/06/2018	6,40
22/03/2018 – 16/05/2018	6,40
08/02/2018 – 21/03/2018	6,65
07/12/2017 – 07/02/2018	6,90
Média	6,55

6.2 CÁLCULO DA VPL DO PROJETO FOTOVOLTAICO

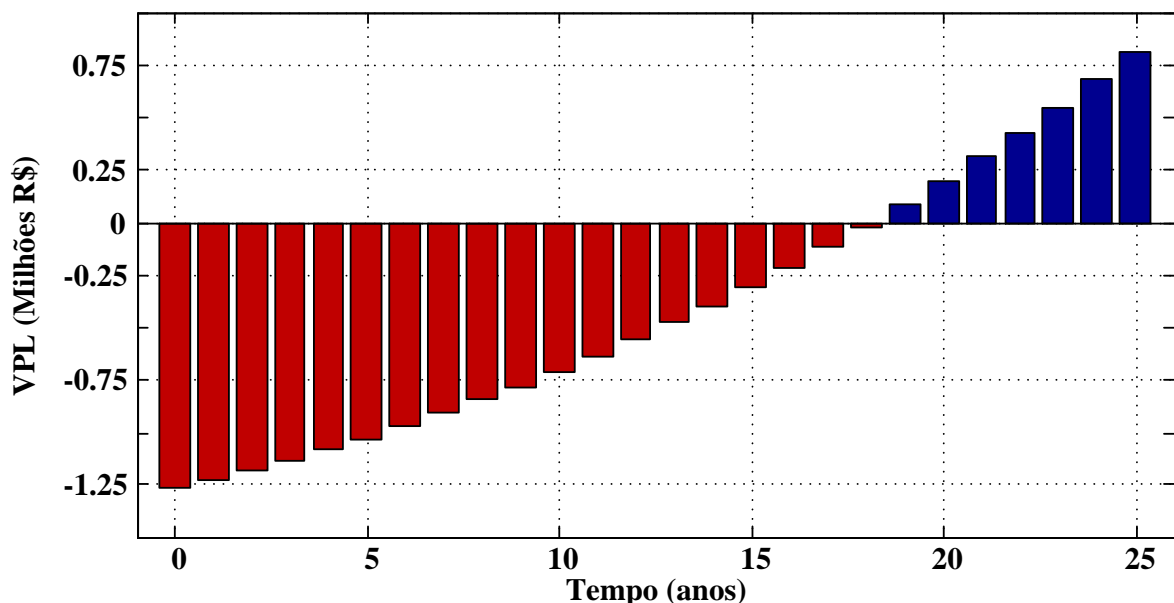


Figura 36 - Gráfico da VPL do sistema fotovoltaico apresentado.

Para finalizar o estudo de viabilidade econômica do projeto fotovoltaico, é apresentada a Tabela 13 com o cálculo completo da VPL do sistema ao longo de 25 anos e a Figura 36 mostra a representação da tabela por um gráfico de barras, onde é possível ver que o investimento inicial é recuperado entre 18 e 19 anos.

Tabela 13 - Cálculo da VPL durante 25 anos.

Ano	Economia Gerada (R\$)	Manutenção (R\$)	Fluxo Futuro Descontado (R\$)	VPL (R\$)
0	446.119	0	0	-1.270.870
1	63.328	17.170	43.320	-1.227.550
2	70.011	17.882	45.916	-1.181.634
3	77.399	18.625	48.588	-1.133.045
4	85.567	19.397	51.339	-1.081.707
5	94.598	20.202	54.172	-1.027.534
6	104.581	21.041	57.092	-970.443
7	115.617	21.914	60.101	-910.342
8	127.819	22.824	63.204	-847.138
9	141.308	23.771	66.404	-780.734
10	156.221	24.757	69.706	-711.028
11	172.707	25.785	73.114	-637.914
12	190.933	26.855	76.632	-561.282
13	211.083	27.969	80.265	-481.017
14	233.359	29.130	84.018	-396.999
15	257.986	30.339	87.894	-309.105
16	285.213	31.598	91.901	-217.204
17	315.312	32.909	96.042	-121.162
18	348.588	34.275	100.323	-20.839
19	385.375	35.697	104.750	83.911
20	426.045	37.179	109.328	193.239
21	471.007	38.722	114.064	307.302
22	520.714	40.329	118.963	426.266
23	575.666	42.002	124.033	550.299
24	636.418	43.745	129.280	679.579
25	703.581	45.561	134.711	814.290

6.3 PERÍODO DE RETORNO DO INVESTIMENTO (PAYBACK)

O tempo de *payback* é um índice que auxilia o investidor a decidir se deve aceitar o projeto, pois indica quanto tempo será necessário para que o sistema retorne o valor investido inicialmente, ou seja, quando a VPL atinge o valor zero.

No projeto abordado neste trabalho, analisando a Figura 36 e a Tabela 13, percebe-se que o último valor de VPL negativo é no décimo quinto ano, logo o valor de *payback* acontece entre o décimo oitavo e décimo nono ano e pode ser obtido da seguinte forma:

$$Payback = A_{UV_n} + \frac{|UV_n|}{FF_{AS}} \cdot (12 \text{ meses}) \quad (17)$$

Em que:




- A_{UV_n} = ao ano da última VPL negativa.
- UV_n = ao valor da última VPL negativa.
- FF_{AS} = ao fluxo futuro descontado do ano seguinte da última VPL negativa.

Sendo assim, foi obtido o tempo de *payback* mostrado em (18), que indica que o investimento foi recuperado em, aproximadamente, 18 anos e 3 meses.

$$Payback = 18 \text{ anos} + \frac{20.839}{104.750} \cdot (12 \text{ meses}) \rightarrow 18 \text{ anos} + 2,38 \text{ meses} \quad (18)$$

6.4 ASPECTO AMBIENTAL

Tabela 14 - Equivalentes de sustentabilidade [18].

		ANO
	NÃO EMISSÃO DE CO ² TO- NELADAS	17,82
	ÁRVORES PLANTADAS	76,00
	KM NÃO RODADOS	107.008,57

Atualmente, além do aspecto financeiro, leva-se em consideração a preservação do meio ambiente quando se pensa em investir em sistemas fotovoltaicos. Apesar de ser considerada uma energia limpa é difícil ressaltar esta qualidade por parecer algo abstrato, então o objetivo desta seção é mostrar em valores numéricos o quanto o uso de energia solar pode ser benéfico ao meio ambiente, mostrados na Tabela 14.

Estes valores são os equivalentes de sustentabilidade, que são usados para comparar com a capacidade que os sistemas fotovoltaicos possuem de não emitirem gás carbônico (CO₂) [19].

6.5 CUSTO NIVELADO DE ENERGIA (CNE)

Outro aspecto a ser analisado é CNE [20], que caracteriza o custo da produção de energia ao longo da vida útil do sistema e é calculado por (19). Podendo ser utilizado para comparar diferentes fontes de energia.

$$CNE = \frac{\text{Investimento}(R\$)}{\text{Energia total gerada}(kWh)} \quad (19)$$

Esse coeficiente considera o sistema fotovoltaico como sendo um grande pacote de energia ao qual será atribuído um valor monetário em troca de uma quantidade de energia proporcional, dessa forma, sua unidade é R\$/kWh e por isso pode ser diretamente comparada com o valor da tarifa de energia paga pelo consumidor. No caso deste trabalho o valor do CNE é calculado em (20) e com isso percebe-se, de acordo com a Tabela 10, que a partir do segundo ano a tarifa da concessionária torna-se superior ao CNE do sistema BIPV.

$$CNE = \frac{1.716.988,85 R\$}{3.467.289,4 kWh} = 0,495 \text{ R\$/kWh} \quad (20)$$

CONCLUSÕES

O trabalho, aqui apresentado, projetou um sistema BIPV para o Centro Educacional que está localizado no Bairro dos Bancários, esquina com as ruas: Bancário Waldemar de Mesquita Accioly, ao Norte, e Maria Eliete de Coutinho Fabrício, a Oeste. Foram apresentados todos os cálculos para o dimensionamento dos componentes do sistema, o qual será capaz de fornecer 150.780 kWh ao ano e será composto por 650 painéis fotovoltaicos.

Atualmente, os consumidores da energia solar levam em consideração os aspectos ambientais que comprovam que este tipo de energia é verde, alguns desses aspectos foram mostrados no último capítulo, tais como, a não emissão de CO₂, a quantidade de árvores plantadas equivalentes à instalação do sistema, entre outros.

Além disso, o projeto foi validado economicamente utilizando o critério financeiro conhecido como valor presente líquido (VPL) que estima o retorno do investimento em 18 anos e 3 meses e garante uma economia equivalente a R\$ 814.290 após um intervalo de 25 anos, contados a partir da instalação do sistema.

Também, levou-se em consideração o custo nivelado de energia que é um coeficiente usado para comparar com a taxa de energia elétrica que é de 0,42 R\$/kWh e o CNE calculado foi de 0,495 R\$/kWh, que é maior que taxa de energia, comprovando mais uma vez a eficiência do sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] L. T. Camargo, “Projeto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica”, Trabalho de Conclusão de Curso, Depart. Eng. Elétrica, Univ. Est. De Londrina, PR, 2017.
- [2] ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) - Matriz de Energia Elétrica – <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm> Acessado em: 04/11/2018.
- [3] G. H. Alves, “Projeto e Análise da Viabilidade Econômica da Instalação de Painéis Fotovoltaicos no Setor Industrial”, Trabalho de Conclusão de Curso, Depart. de Eng. Elétrica e Computação, Escola de Eng. De São Carlos, SP, 2016.
- [4] D. V. Stilpen; V. Cheng, “Solar Photovoltaics in Brazil: A Promising Renewable Energy Market”, *3rd IRSEC*, 2015.
- [5] A. B. Amaral; A. L. Mendonça; A. A. Resende; E. E. Rego, “Solar Energy and Distributed Generation: 2015, a Year of Inflection in Brazil?”, *IEE Latin America Trans.*, vol. 14, no. 8, pp. 3731-3737, Ago. 2016.
- [6] Empresa WGSOL - Efeito fotovoltaico - <https://wgsol.com.br/o-efeito-fotovoltaico-o-sol-fabricando-eletricidade/efeito-fotovoltaico/> Acessado em: 09/08/2018.
- [7] M. C. F. Mendes, “O Uso de Energias Renováveis em Edifícios de Museus”, Tese de Doutorado, Unidade Funcional de Museologia, Univ. Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2011.
- [8] Portal Solar - Tipos de Células Fotovoltaicas - <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html> Acessado em: 09/08/2018.
- [9] M. G. Villalva, *Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações*, 2^a ed. rev. e atual, São Paulo, Brasil: Érica, 2015.
- [10] J. V. S. Júnior, R. Comini, J. Ferrari, “Guia de Energia Solar Fotovoltaica: Aplicação nas Micro e Pequenas Empresas”, Mato Grosso, Brasil: SEBRAE, 2016.
- [11] Portal Solar - <https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida.html> - Incentivos para a Geração Distribuída no Brasil. Acessado em: 09/08/2018.
- [12] A. R. Ruther; J. G. da Silva; A. A. Montenegro; I. T. Salamoni; M. Kratzenberger, “Assessment of Thin-Film Technologies most Suited for BIPV Applications in Brazil: The Petrobras 44 kWp Project”, *3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, pp. 2294-2297, Mai. 2003.
- [13] Editora Abril, Exemplos de Sistemas BIPV pelo Mundo -

<https://exame.abril.com.br/tecnologia/7-incriveis-projetos-de-energia-solar-no-mundo/> -.

Acessado em: 13/08/2018.

[14] C. L. Padoveze, “O Processo de Gestão e o Valor do Dinheiro no Tempo”, em *Introdução à Administração Financeira*, 2ª ed., São Paulo, Brasil: Cengage Learning, 2010, pp. 99-120.

[15] Energisa - Tarifa da Energia Elétrica
<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>

Acessado em: 17/08/2018.

[16] ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) - Reajuste Anual da Tarifa Elétrica.

Acessado em: 17/08/2018 -

http://relatorios.aneel.gov.br/_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSampRegCC.xlsx&Source=http://relatorios.aneel.gov.br/RelatoriosSAS/Forms/AllItems.aspx&DefaultItemOpen=1.

[17] Portal G1- Taxa de Inflação

<https://g1.globo.com/economia/noticia/2018/08/13/economistas-do-mercado-sobem-para-415-estimativa-de-inflacao-para-2018.ghtml> Acessado em: 17/08/2018.

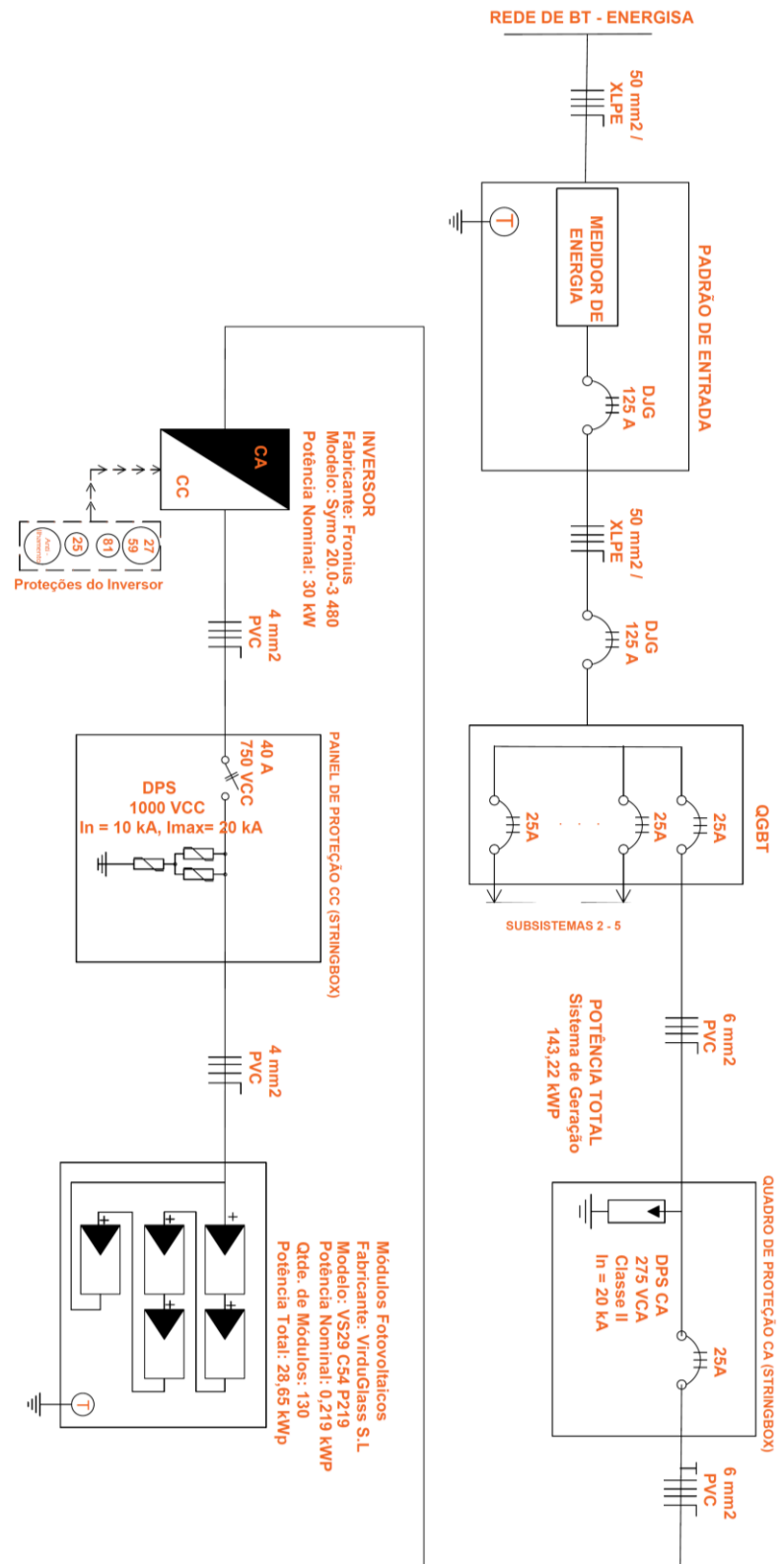
[18] Banco Central do Brasil - Histórico das Taxas de Juros: SELIC.-

<https://www.bcb.gov.br/pt-br/#!/c/COPOMJUROS/> - Acessado em: 03/09/2018.

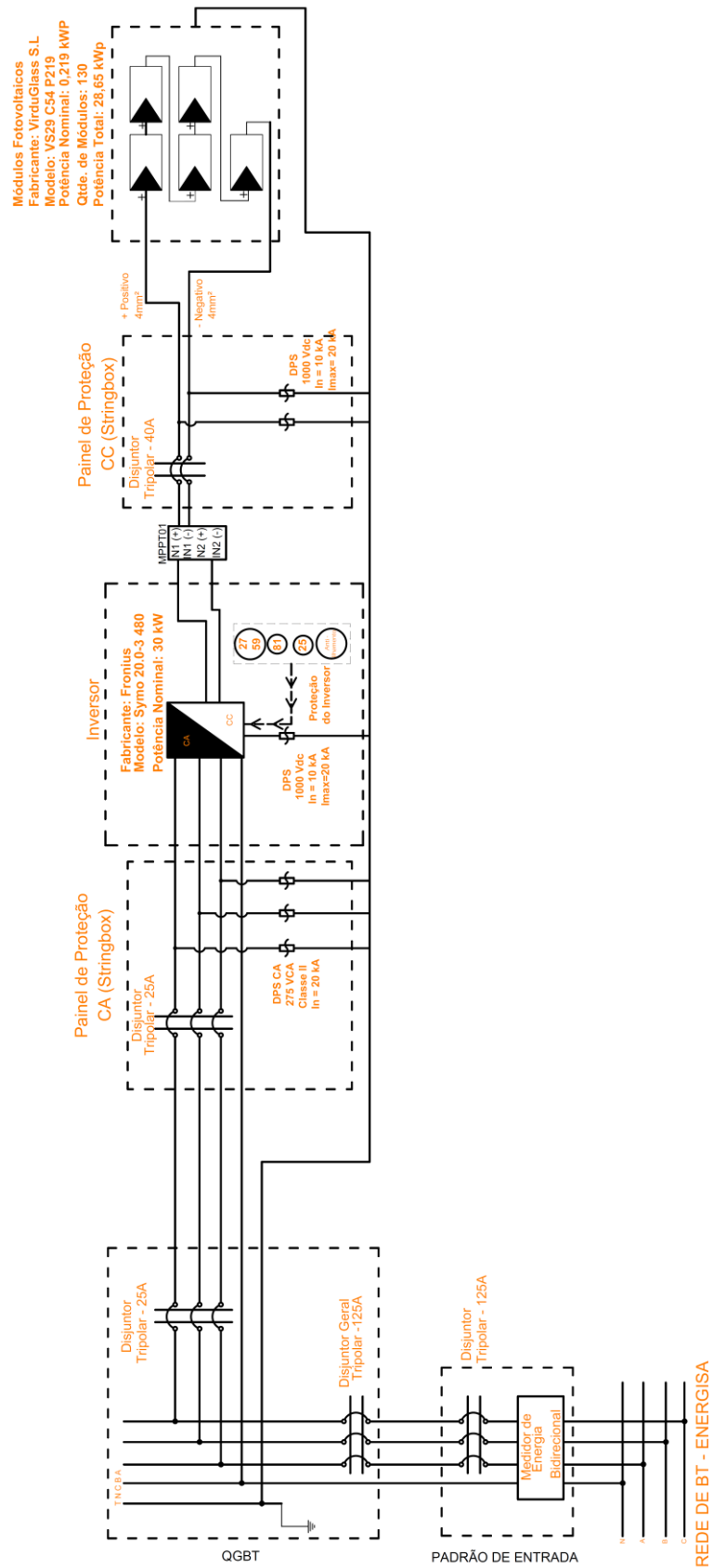
[19] AWC Engenharia: SolarView- <https://www.awcbox.com/artigos> - Entendendo e Demonstrando a Sustentabilidade Ambiental na Geração de Energia Fotovoltaica. Acessado em: 20/10/2018.

[20] Empresa WA SOLAR – <http://www.wasolar.com.br/tempo-de-retorno-do-investimento-em-energia-solar> - Custo Nivelado de Energia. Acessado em: 20/10/2018.

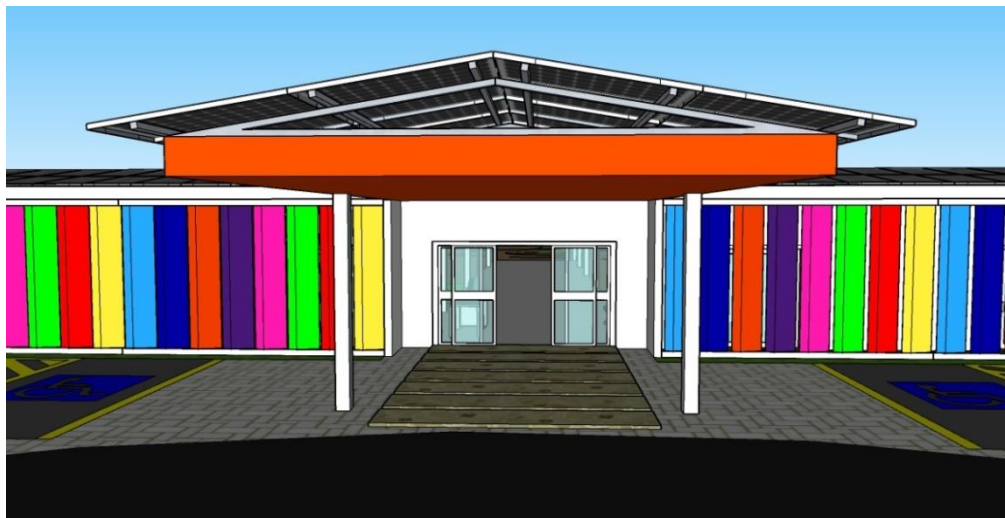
APÊNDICE A – DIAGRAMA UNIFILAR

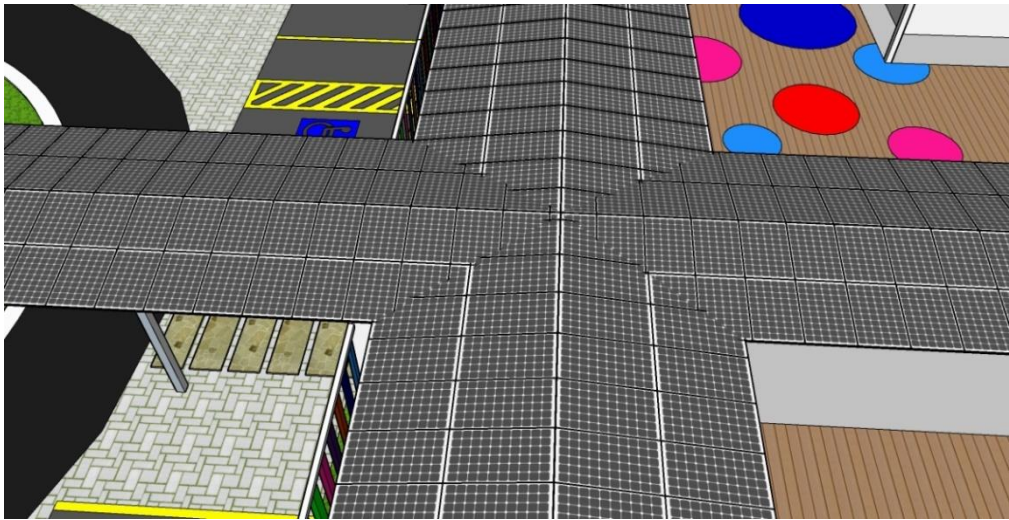


APÊNDICE B – DIAGRAMA TRIFILAR



APÊNDICE C – MAQUETE DIGITAL





APÊNDICE D – PLANILHA DO SIMULADOR PVSIZe

PVSize Ver 2.2
17/10/2018

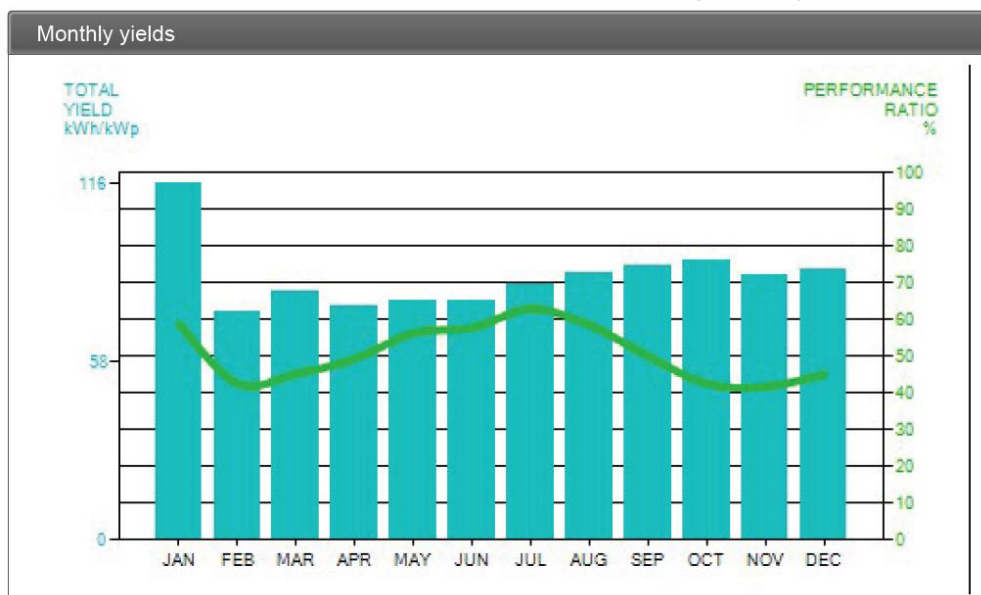


Input data

Location:	Paraíba (João Pessoa), Brazil	Total number of modules:	133
Coordinates of the site:	Lat. -7,24°, Long. -36,78°	Number of modules in series:	19
Mounting method:	Fixed	Number of parallel strings:	7
Azimuth (orientation):	16°	Number of inverters:	1
Tilt angle:	10°	Total nominal power:	29,26 kWp
Solar module type:	AIDE Solar, AD220M6-Ab		
Solar inverter type:	PRO-33.0-TL-OUTD		
Transformer type:	No transformer		
Disconnected at night:	no		
Cabling losses:	1 %		

System performance						
Month	Solar energy availability kWh/m ²	System losses (cabling etc.) kWh	Transformer losses kWh	Produced energy kWh	Total yield kWh/kWp	Performance ratio %
JAN	198	1786	0	3400	116	58,5
FEB	175	2266	0	2173	74	42,3
MAR	180	2244	0	2359	81	45,0
APR	155	1768	0	2229	76	49,1
MAY	139	1351	0	2291	78	56,1
JUN	136	1270	0	2268	78	57,5
JUL	132	1091	0	2417	83	62,7
AUG	149	1386	0	2543	87	58,2
SEP	179	1990	0	2605	89	49,8
OCT	215	2743	0	2664	91	42,3
NOV	207	2703	0	2518	86	41,5
DEC	196	2430	0	2581	88	44,8
Total:	2062	23029	0	30050	1027	49,8

Annual system output: 1027 kWh / kWp



APÊNDICE E – CATÁLOGOS DOS EQUIPAMENTOS

- Módulo Fotovoltaico:



VidurGlass

VIDURGLASS, S.L.

C/ Edison 8-14 (Pol. Industrial Bufalvent)
08243 Manresa (BARCELONA) - SPAIN
Telf: +34 93 874 86 50 Fax: +34 93 875 105

Date: 28/10/13
Page. 3 of 19
Quotation nº: FV 14_2/13

Ref: -

Model: VS29 C54 P219

Quantity: 284

Constructive parameters:	
Front pane	5 mm extra-clear tempered glass
Interlayer	PVB – 2 x 0,76 mm
Rear pane	5 mm clear tempered glass
Size	1.856 mm x 1.070 mm
Double glazing unit	-
U - value approx.	5,7 W / m ² K
G - value approx.	0,36
Total thickness	11,5 mm +/- 0,2 mm
Weight	56 Kg
Cells	54 mono-crystalline cells, 156x156 mm
Distance between cells	40 mm (vertical), 15 mm (horizontal)
Transparency (approx.)	29 %
Two Backside junction boxes Tyco Small	
Electrical characteristics (tolerance: +/- 5%): (STC: 1000 W/m², AM 1,5 and Cell temperature 25°C)	
Nominal power	219 Wp
MPP current	8,07 A
MPP voltage	27,21 V
Short circuit current	8,56 A
Open circuit voltage	34,34 V
Coefficientes de temperatura de las células :	
Nominal power coefficient	- 0,42 % / K
Short circuit current coefficient	+ 0,05 % / K
Open circuit voltage coefficient	- 0,33 % / K

- Inversor:

TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (15.0-3 480, 17.5-3 480, 20.0-3 480, 22.7-3 480, 24.0-3 480)						
GENERAL DATA	15.0-3 480	17.5-3 480	20.0-3 480	22.7-3 480	24.0-3 480	
Weight						95.7 lbs. / 43.4 kg
INPUT DATA						
Max. permitted PV power	22.50 kW	26.25 kW	30.00 kW	34.09 kW	36.00 kW	
Max. usable input current (MPPT 1/MPPT 2)						33.0 A / 25.0 A
Max. usable input current total (MPPT 1 + MPPT 2)						51 A
Max. admissible input current (MPPT 1/MPPT 2)						49.5 A / 37.5 A
Max. admissible input current total (MPPT 1 + MPPT 2)	76.5 A	76.5 A	76.5 A	76.5 A	76.5 A	
Integrated DC string fuse holders <i>Must be specified when ordering</i>	Optional: 6- and 6+	Optional: 6- and 6+	Optional: 6- and 6+	Optional: 6- and 6+	Optional: 6- and 6+	
MPP voltage range	350 - 800 V	400 - 800 V	450 - 800 V	500 - 800 V	500 - 800 V	
Operating voltage range						200 - 1,000 V
Max. input voltage						1,000 V
Nominal input voltage	208 V	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	240 V	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	480 V	685 V	695 V	710 V	720 V	720 V
Admissible conductor size DC						AWG 14 - AWG 6 copper direct, AWG 6 aluminium direct, AWG 4 copper or aluminium with input combiner
Number of MPPT						2
OUTPUT DATA						
Max. output power	208 V	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	240 V	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	480 V	14,995 VA	17,495 VA	19,995 VA	22,727 VA	23,995 VA
Max. output fault current / Duration	30.9 A RMS / 150.4 ms	30.9 A RMS / 150.4 ms	30.9 A RMS / 150.4 ms	30.9 A RMS / 150.4 ms	30.9 A RMS / 150.4 ms	30.9 A RMS / 150.4 ms
Max. continuous output current	208 V	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	240 V	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	480 V	18.0 A	21.0 A	24.0 A	27.3 A	28.9 A
Recommended OCPD/AC breaker size	208 V	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	240 V	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	480 V	25 A	30 A	30 A	35 A	40 A
Max. efficiency						98.0 %
CEC efficiency	208 V	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	240 V	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	480 V	97.0 %	97.5 %	97.5 %	97.5 %	97.5 %
Admissible conductor size AC						AWG 14 - AWG 6
Grid connection						480 V Delta +N**
Frequency						60 Hz
Total harmonic distortion						< 1.75 %
Power factor						0 - 1 ind./cap.

**+N for sensing purposes - no current carrying conductor.