

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

HERNANI KANDA

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA
EDIFICAÇÃO COMERCIAL/EDUCACIONAL DE CURITIBA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

**CURITIBA - PR
2021**

HERNANI KANDA

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA
EDIFICAÇÃO COMERCIAL/EDUCACIONAL DE CURITIBA**

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo

CURITIBA - PR

2021

TERMO DE APROVAÇÃO

HERNANI KANDA

ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL/EDUCACIONAL DE CURITIBA

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 30 de Agosto de 2021, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Marcelo Rodrigues
Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

Prof. Me. Romildo Alves dos Prazeres
Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr Gerson Máximo Tiepolo
Orientador - UTFPR

Prof. Dr. Marcelo Rodrigues
UTFPR

Prof. Dr Jair Urbanetz Junior
UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço à família que proporcionou o investimento em educação. À minha esposa, pelo apoio e paciência para a elaboração deste trabalho.

Agradeço aos amigos e colegas de trabalho que contribuíram de alguma maneira com esta pesquisa.

Agradeço ao Sistema FIEP que proporcionou acesso e suporte na elaboração deste trabalho.

Em especial agradeço ao professor orientador, Dr Gerson Máximo Tiepolo por compartilhar o seu conhecimento e contribuir solidamente para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Kanda, Hernani. **Estudo de Viabilidade para a Implantação de Um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede em uma Edificação Comercial/Educacional de Curitiba**. 2021. 75f. Monografia de Especialização em Energias Renováveis – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Curitiba, 2021.

A energia solar fotovoltaica é uma das fontes renováveis em maior ascensão, devido ao avanço da tecnologia, redução dos custos de implantação e consolidação da legislação. Diante deste cenário é importante realizar um correto estudo de viabilidade para a implantação de um sistema fotovoltaico, visando garantir um correto investimento e atingir a expectativa de retorno financeiro desejada. Este trabalho apresenta os principais conceitos sobre energias renováveis e componentes dos sistemas fotovoltaicos. Foi desenvolvido um estudo de caso para uma edificação existente de uso comercial e educacional, onde foi levantado o histórico de consumo ao longo dos últimos anos. Foi realizado simulações de sombreamento da edificação e do seu entorno para o melhor aproveitamento da irradiação solar. Foi dimensionado os principais componentes e infraestruturas para o sistema de geração fotovoltaica. Estimou-se a energia gerada, o investimento necessário, e a previsão de economia e retorno financeiro para o projeto proposto.

Palavras-chave: Geração de Energia, Sistema Fotovoltaico, Energia Solar.

ABSTRACT

Kanda, Hernani. **Feasibility Study for the Implementation of a Grid Connected Photovoltaic System in a Commercial/Educational Building in Curitiba.** 2021. 75f. Monography – Specialization Course in Renewable Energies – Federal Technologic University of Paraná (UTFPR). Curitiba, 2021.

Photovoltaic solar energy is one of the renewable sources on the rise, due to advances in technology, reduced implementation costs and consolidation of legislation. In view of this scenario, it is important to carry out a correct feasibility study for the implementation of a photovoltaic system, in order to guarantee a correct investment and reach the expected financial return. This work presents the main concepts of renewable energies and components of photovoltaic systems. A case study was developed for an existing building for commercial and educational use, where the consumption history over the last few years was surveyed. Shading simulations of the building and its surroundings were carried out to make the best use of solar radiation. The main components and infrastructure for the photovoltaic generation system were dimensioned. The energy generated, the necessary investment, and the forecast of savings and financial return for the proposed project were estimated.

Keyword: Power Generation, Photovoltaic System, Solar Energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do Trabalho	14
Figura 2 – Matriz Elétrica Brasileira.....	17
Figura 3 – Comparativo Matriz Elétrica 2019 e 2020.	18
Figura 4 – Participação Energias Renováveis na Matriz Elétrica.	18
Figura 5 - Gráfico de aumento da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil.....	19
Figura 6 – Componentes da Radiação solar.	21
Figura 7 – Potencial Anual Médio do Estado do Paraná nas mesorregiões.....	22
Figura 8 – Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício.	23
Figura 9 – Comparação entre células de p-Si e m-Si.....	24
Figura 10 – Estrutura de um módulo fotovoltaico.	25
Figura 11 – Topologia de um sistema fotovoltaico conectado à rede.....	28
Figura 12 – Imagem por satélite do Campus da Indústria.....	30
Figura 13 – Fatura de energia da Unidade Campus da Indústria.....	31
Figura 14 – Layout Geral Posição Módulos - Unidade Campus da Indústria	38
Figura 15 – Layout Geral Posição dos módulos - Unidade Campus da Indústria	38
Figura 16 – Simulação sombreamento telhado principal – Solstício as 09:00	39
Figura 17 – Simulação sombreamento telhado principal – Solstício as 16:00	39
Figura 18 – Simulação sombreamento estacionamento lateral – Solstício as 09:00.	40
Figura 19 – Simulação sombreamento estacionamento lateral – Solstício as 16:00.	40
Figura 20 – Fator de Espaçamento.	41
Figura 21 – Espaçamento e dimensões do Carport.	42
Figura 22 – Simulação Estacionamento Frontal – Solstício de inverno às 09:00	43
Figura 23 – Simulação Estacionamento Frontal – Solstício de inverno às 16:00	43
Figura 24 – Posicionamento final dos Módulos - Unidade Campus da Indústria.....	44
Figura 25 – Irradiação Global Horizontal no ponto do projeto.	45
Figura 26 – Irradiação Global Horizontal ao longo de um ano típico.....	46
Figura 27 – Estação Software Radasol.	46
Figura 28 – Resultados das simulações do Software Radasol.....	47
Figura 29 – Especificações mecânicas do módulo fotovoltaico.....	51
Figura 30 – Especificações elétricas Módulo fotovoltaico.	53

Figura 31 – Especificações técnicas inversor 75kW.	54
Figura 32 – Especificações técnicas inversor 60kW.	55
Figura 33 – Especificações técnicas inversor 30kW.	56
Figura 34 – Layout Final Módulos Fotovoltaicos	57
Figura 35 – Diagrama unifilar geral simplificado.....	58
Figura 36 – Diagrama unifilar inversores 1 e 8.....	59
Figura 37 – Diagrama unifilar inversores 2, 3, 4 e 7.....	60
Figura 38 – Diagrama unifilar inversores 5 e 6.....	60
Figura 39 – Diagrama unifilar inversor 9.	61
Figura 40 – Fatura de energia da Unidade Campus da Indústria.....	65
Fotografia 1 – Fachada da unidade Campus da Indústria.....	29
Fotografia 2 – Imagem Aérea Bloco Principal – Campus da Indústria	30
Fotografia 3 – Imagem por satélite com vista superior Indústria	37
Gráfico 1 – Padrão de Consumo (kWh).	34
Gráfico 2 – Padrão de faturamento em energia (R\$)	35
Gráfico 3 – Padrão de demanda (kW).....	36
Gráfico 4 – Estimativa de geração de energia ao longo do ano por conjunto	49
Gráfico 5 – Estimativa de geração de energia total ao longo do ano.	49
Gráfico 6 – Comparativo entre a geração de energia e o consumo anual.	50
Gráfico 7 – Estimativa de Retorno do Investimento Consumidor Cativo.	68
Gráfico 8 – Estimativa de Retorno do Investimento Mercado Livre.....	70
Gráfico 9 – Comparação do Retorno Mercado Cativo, Livre e Poupança	71

LISTA DE SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si	Silício Amorfo
BEN	Balanço Energético Nacional
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
CdTe	Telureto de Cádmio
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
GW	Giga Watt
kW	Kilo Watt
MW	Mega Watt
m-Si	Silício Mono Cristalino
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
p-Si	Silício Policristalino
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
SFV	Sistema Fotovoltaico
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
UC	Unidade Consumidora
Wh	Watt hora
Wp	Watt Pico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	TEMA	11
1.1.1	Delimitação do Tema.....	12
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	12
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	Objetivo Geral.....	13
1.3.2	Objetivos Específicos	13
1.4	JUSTIFICATIVA	13
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	14
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	ENERGIA RENOVÁVEL	16
2.1.1	Matriz Elétrica.....	17
2.1.2	Energia Solar Fotovoltaica	19
2.2	COMPONENTES SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	20
2.2.1	Radiação Solar	20
2.2.2	Células Fotovoltaicas	22
2.2.3	Módulos	24
2.2.4	Inversores	25
2.3	SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFVCR)	26
2.3.1	Geração Distribuída;.....	26
2.3.2	Topologia de um SFVCR;.....	27
3	ESTUDO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE	29
3.1	INTRODUÇÃO	29
3.2	IDENTIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA.....	29
3.3	CONSUMO DE ENERGIA NA UNIDADE.....	31
3.4	LOCALIZAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOTLAICOS	36
3.5	LEVANTAMENTO DO RECURSO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA....	45
3.6	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO	51
3.7	ESTIMATIVA DE CUSTOS E VIABILIDADE FINANCEIRA	63
3.7.1	Estimativa de Custo.....	63

3.7.2	Estimativa de Faturamento.....	65
3.7.3	Estimativa de Retorno (<i>Payback</i>) – Consumidor Cativo.....	67
3.7.4	Estimativa de Retorno (<i>Payback</i>) – Consumidor Livre	69
3.7.5	Estimativa de Retorno (<i>Payback</i>) – Comparativo poupança	70
3.8	RESUMO DO ESTUDO	72
4	CONCLUSÃO	73

1 INTRODUÇÃO

A energia solar se trata de umas das fontes renováveis mais utilizadas atualmente, tanto para geração de energia elétrica através de usinas fotovoltaicas quanto na forma de aquecimento.

As tecnologias de sistemas de geração de energia fotovoltaica vêm sendo atualizadas constantemente, com inversores mais eficientes, módulos com potências cada vez maiores e com menores custos, materiais semicondutores com melhor desempenho, sistemas de automação, monitoramento e aproveitamento da irradiação solar, entre outras soluções apresentadas por diversos fabricantes constantemente.

Neste sentido, a utilização da energia solar, principalmente fotovoltaica, vem se tornando amplamente utilizada em diversas proporções, para diversas finalidades. Desde para uso isolado da rede, como em comunidades retiradas de centros urbanos, para funcionamento de bombas, para carregamento de baterias de motorhomes, passando pela geração distribuída em residências, comércios e indústrias, até grandes usinas fotovoltaicas.

Com base no aumento significativo na utilização da energia fotovoltaica, na faixa de 8.350% de 2016 a 2021 (ABSOLAR 07/2021) e nas novas tecnologias desenvolvidas lançadas no mercado continuamente, se faz necessária a elaboração de estudos e projetos de viabilidade de maneira detalhada e assertiva, antes de suas implementações, visando atender de maneira plena cada unidade consumidora, com o melhor aproveitamento da irradiação solar, eficiência do sistema, e consequentemente o melhor retorno financeiro para o usuário em questão.

1.1 TEMA

Estudo de viabilidade de um sistema de geração fotovoltaica conectada à rede em uma edificação comercial/educacional em Curitiba.

1.1.1 Delimitação do Tema

Foi realizado o estudo de viabilidade de um sistema fotovoltaico conectado à rede, onde foi elaborado um projeto básico com os principais componentes, quantidade e potência de módulos e inversores, e uma estimativa de infraestrutura básica para conexão com a rede.

É apresentado também o aporte de investimento financeiro para o projeto, levando em consideração valores de mercado.

A unidade consumidora em questão é o Campus da Indústria do Sistema FIEP, localizado no bairro Jardim Botânico na cidade de Curitiba, onde foi levantado todo o histórico de consumo de energia através das faturas da concessionária, e tendo como premissa que a potência prevista de instalação será a máxima disponível para a geração distribuída no local.

Será também apresentado uma estimativa de prazos para implementação, de retorno financeiro para o projeto, com o prazo de *Payback*, considerando a redução no consumo na unidade consumidora em questão.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

O Sistema FIEP é uma instituição compostas pelas Casas, SESI, Serviço Social da Indústria, SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, FIEP, Federação das Indústrias do Estado do Paraná e IEL, Instituto Euvaldo Lodi. Com o objetivo de desenvolver a indústria e a sociedade do estado do Paraná, através de serviços em educação, saúde, segurança do trabalho, inovação, tecnologia, entre outros. Um dos valores englobadas nas diretrizes corporativos da instituição é a disseminação de práticas inovadoras e sustentáveis, com a consciência e responsabilidade na utilização de todos os recursos disponíveis, entre eles o recurso energético.

A instituição possui no total 70 unidades distribuídas nas principais cidades do estado do Paraná. Onde em uma análise do padrão de utilização de energia elétrica, o Campus da Indústria do Sistema FIEP é a que possui o maior consumo de energia entre elas.

Desta maneira, a instalação de uma fonte de geração de energia alternativa nesta Unidade Consumidora, se torna a melhor opção se levarmos em consideração a possibilidade de redução na fatura de energia elétrica possível.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Elaborar um estudo para a implantação de um Sistema de Geração de Energia Solar Fotovoltaica conectada à rede elétrica no Prédio do Campus da Indústria do Sistema FIEP.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar a fundamentação teórica para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede;
- Realizar a análise das faturas de energia da Unidade Consumidora;
- Avaliar as áreas disponíveis para a instalação dos módulos fotovoltaicos;
- Elaborar o projeto básico para o SFVCR;
- Realizar o orçamento para a implantação do SFVCR;
- Estimar o prazo de retorno financeiro para o SFVCR;
- Concluir o estudo de viabilidade e apresentar os resultados obtidos;

1.4 JUSTIFICATIVA

A justificativa deste trabalho ocorre pela necessidade de melhoria na utilização da energia elétrica na instituição do Sistema FIEP, sendo este um componente importante no custo de operação.

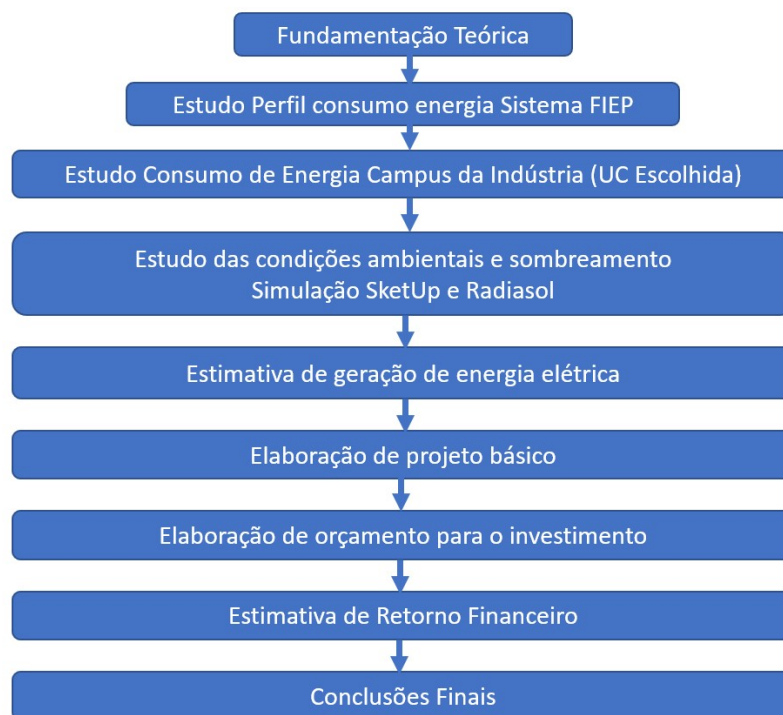
O Relatório de Sustentabilidade publicado anualmente aponta a utilização de todos os recursos e apresenta a preocupação com hábitos eficientes e sustentáveis,

também na área energética. Acompanhando o contexto global que exige um grande comprometimento das organizações com a redução dos impactos ao meio ambiente. A elaboração deste trabalho se alinha com as premissas da instituição e da sociedade atual.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos e as etapas da pesquisa estão representados na Figura 1:

Figura 1 – Fluxograma do trabalho



Fonte: O Autor.

Inicialmente foi realizada a fundamentação teórica sob o tema, onde foram levantados os principais pontos para a instalação de Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica Conectada à rede pertinente ao trabalho a ser desenvolvido.

Posteriormente, foi levantado no local específico, as áreas para a instalação dos módulos fotovoltaicos, inversores e execução de infraestrutura para conexão na rede elétrica.

Após o levantamento, foi elaborado o projeto básico com os principais componentes, e realizado o orçamento considerando todos os custos associados a materiais, equipamentos e mão de obra para a contratação e execução do projeto.

Com os valores de investimento, foi realizado o cálculo de energia gerada, tempo para o retorno financeiro do investimento.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 01, Introdução, é apresentada a introdução ao tema, delimitação, objetivos gerais e específicos, e a justificativa para o trabalho;

O Capítulo 02, Fundamentação Teórica, tem-se o embasamento literário sobre o tema;

No Capítulo 03, Projeto Básico SFVCR, destina-se a apresentação da metodologia para desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, dos dados desenvolvidos em si, com as principais informações do projeto básico, estimativas de custo, geração de energia e retorno financeiro;

O Capítulo 4 apresenta a conclusão do trabalho proposto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica apresenta os principais conceitos e informações relacionadas a geração de energia solar fotovoltaica, assim como contextualizar a área de geração distribuída. Será abordado os conceitos de radiação solar, assim como os principais componentes de sistemas de geração de energia fotovoltaica, as topologias de conexão à rede, e suas características.

2.1 ENERGIA RENOVÁVEL

O consumo de energia é uma das necessidades básicas para o desenvolvimento da sociedade atual, e primordial para manter a qualidade básica de vida de qualquer indivíduo.

Com o crescimento populacional e aumento da atividade econômica, é recorrente a necessidade de ampliação na geração de todos os tipos de energia.

Neste sentido, conforme EPE (2021) as fontes de energia não renováveis são finitas ou esgotáveis, sendo que o estoque natural total é limitado. A sua reposição através da natureza é lenta, em processo de milhões de anos sob condições específicas de temperatura e pressão. Como por exemplo petróleo, carvão mineral, gás natural e nuclear.

Visando a redução do consumo de energias com fontes fósseis, a utilização de energia renováveis é imprescindível para manter o crescimento e as atividades produtivas da sociedade. As energias renováveis são consideradas inesgotáveis, pois suas quantidades se renovam constantemente no meio ambiente ao serem usadas. Como por exemplo a energia hídrica, solar, eólica, biomassa, geotérmica, oceânica, e hidrogênio. Estas fontes renováveis são conhecidas por energias limpas, pois emitem menos gases de efeito estufa que as fontes fósseis. EPE(2021).

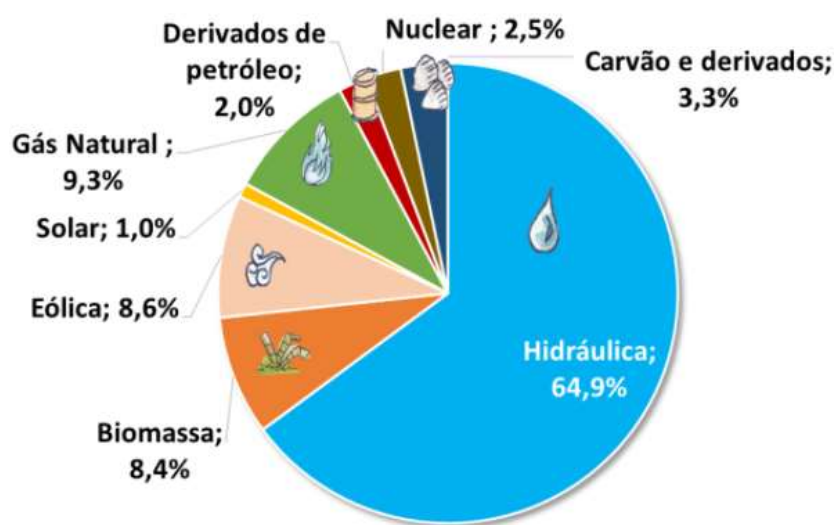
2.1.1 Matriz Elétrica

O consumo de energia através da eletricidade é uma das maiores demandas de fontes fósseis e renováveis. Para a análise da contribuição de cada tipo de fonte diferente, tem-se a Matriz Elétrica, que é o conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica em um determinado país, estado, região ou no planeta.

A matriz elétrica do Brasil é predominantemente renovável, devido ao grande número de usinas hidrelétricas existentes, pois a hidrografia é favorável para as suas construções. A energia eólica e solar vem aumentando significativamente ao longo dos anos suas contribuições na matriz.

A Figura 2 apresenta a Matriz Elétrica Brasileira, emitida no balanço energético nacional no ano de 2020, relacionado aos dados de 2019.

Figura 2 – Matriz Elétrica Brasileira



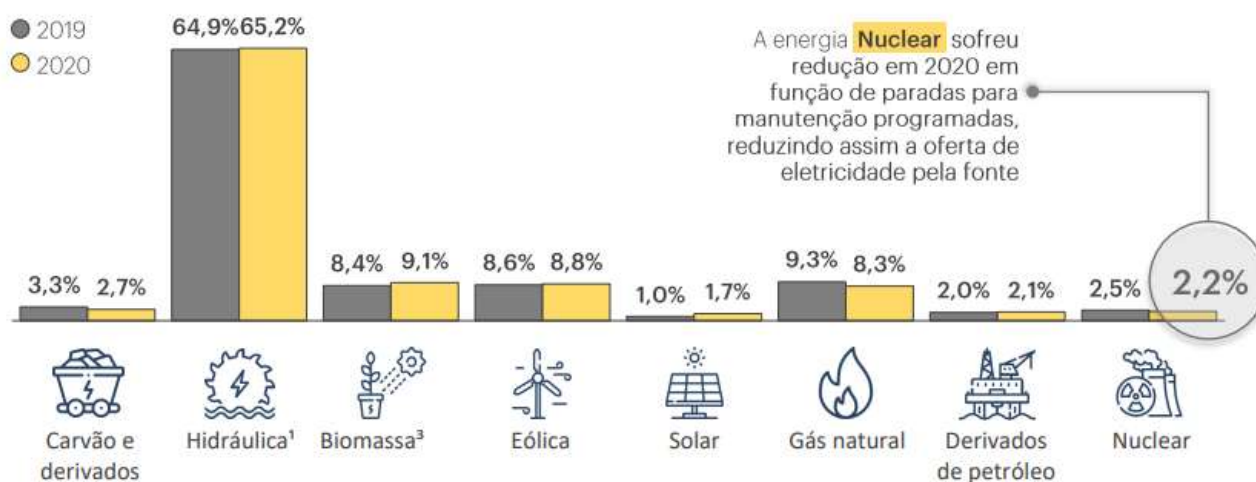
Fonte: EPE (2020).

O Balanço Energético Nacional de 2021, sobre o ano base 2020 foi publicado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), onde é possível analisar um ligeiro aumento no uso das fontes renováveis no ano de 2020 se comparado ao ano de 2019. E uma leve redução das fontes fósseis se comparado ao mesmo período.

É apontado também no BEN 2021 (Ano Base 2020) que a energia elétrica no Brasil sofreu uma queda de consumo, e, por conseguinte, queda de sua oferta interna disponibilizada à população, seguindo os movimentos de redução no decorrer do ano

de 2020. Entretanto, em linhas gerais apresentou uma estrutura muito semelhante ao de 2019, conforme Figura 3.

Figura 3 – Comparativo Matriz Elétrica 2019 e 2020.

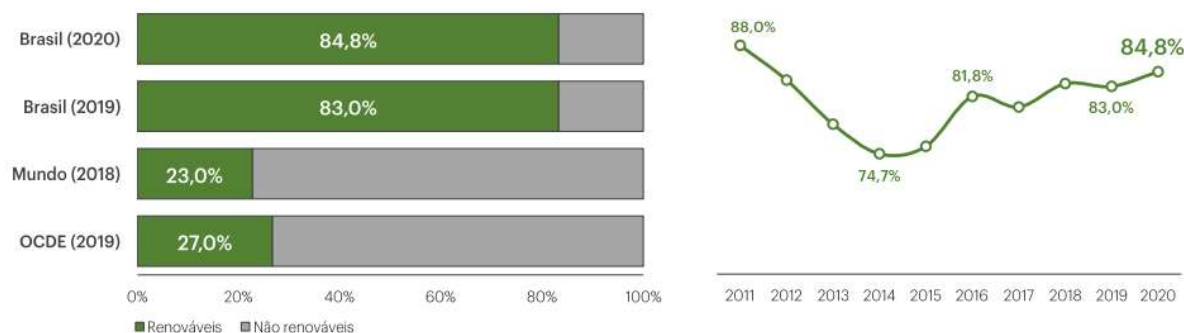


Fonte: EPE (2021).

Levando em consideração a parcela da Matriz Elétrica ocupada por fontes renováveis, é possível observar um aumento de 1,8% em 2020 se comparado como ano de 2019. Sendo que atualmente a participação de fontes renováveis de energia é de 84,8% no país.

Se for avaliado os dados de 2011 até 2021, percebe-se que este padrão não foi alterado significativamente devido a predominância nas fontes hidroelétricas.

Figura 4 – Participação Energias Renováveis na Matriz Elétrica.



Fonte: EPE (2021).

A comparação da representatividade das energias renováveis na matriz elétrica Brasileira no ano de 2020 (84,8%) se comparado ao restante do Mundo (2018)

e aos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) em 2019, mostra o Brasil muito superior na utilização de energias limpas conforme observado na Figura 4.

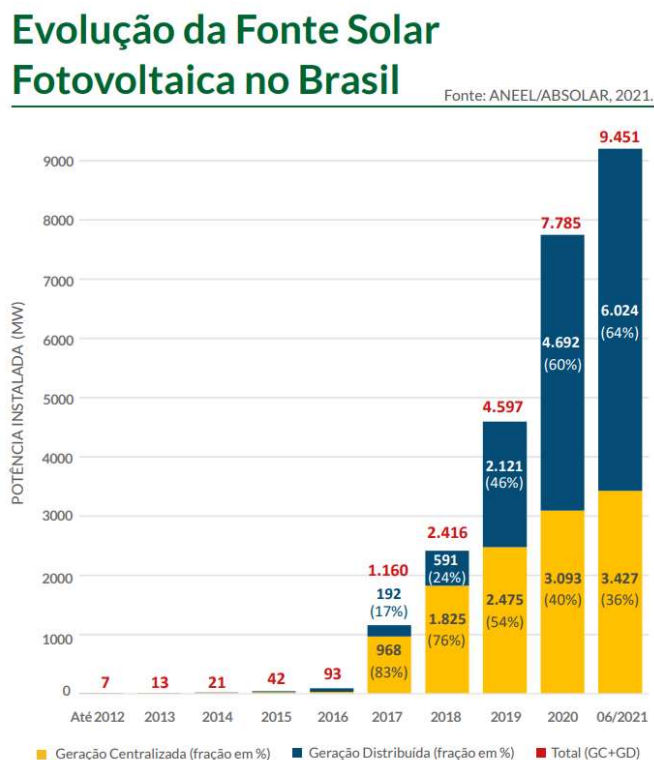
2.1.2 Energia Solar Fotovoltaica

A evolução da utilização da energia solar fotovoltaica se torna ainda mais evidente ao acompanhar-se o aumento de sua utilização anualmente, conforme infográfico elaborado pela ANEEL/ABSOLAR no cenário de junho de 2021.

Neste infográfico é possível observar que no ano de 2016, a utilização da energia fotovoltaica era exclusivamente como Geração Distribuída, e a potência instalada no valor de 93MW.

A Figura 5 representa o aumento da geração de energia fotovoltaica no Brasil.

Figura 5 - Gráfico de aumento da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil.



Fonte: ABSOLAR (07/2021)

Considerando o valor atualizado em junho/2021, a potência instalada é de 9.451MW, sendo desses 6.024MW como geração distribuída e 3.427MW como geração centralizada, sendo 64% e 36% respectivamente.

Se for considerado o período entre 2016 e 2021, a geração de energia fotovoltaica aumentou no Brasil na casa de 8.350% se comparado ao ano de 2016.

2.2 COMPONENTES SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

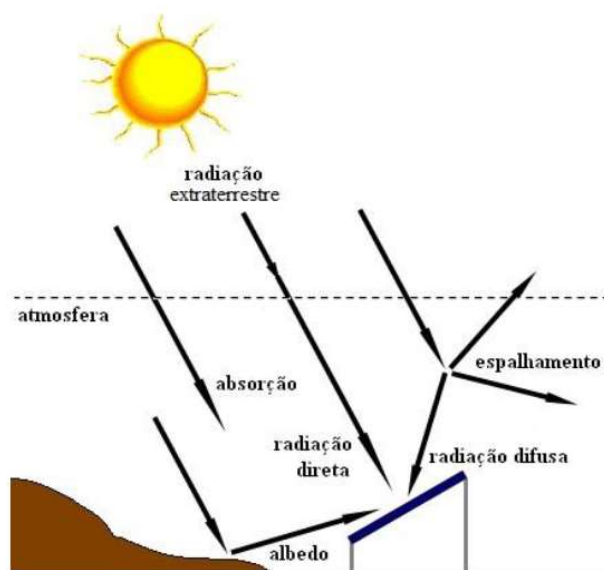
2.2.1 Radiação Solar

O Sol é a estrela central do sistema solar responsável por fornecer energia na forma de radiação para o planeta Terra. De acordo com Pinho e Galdino (2014), a densidade média anual do fluxo energético proveniente da radiação solar (irradiância solar) quando medido num plano perpendicular à direção de propagação dos raios solares no topo da atmosfera terrestre recebe o nome de constante solar e corresponde ao valor de 1.367 W/m^2 . Considerando que o raio médio da terra é de 6.371 km, e o valor da irradiância anteriormente, é possível concluir que a potência total disponibilizada pelo Sol à Terra no topo da atmosfera é de aproximadamente 174.000 TW (terawatts).

Entretanto, a radiação solar atinge o planeta Terra de diferentes formas, e pode ser dividida em componentes diretos ou difusos (PINHO E GALDINO 2014). A radiação direta é proveniente diretamente do Sol e é capaz de produzir sombras nítidas. A radiação difusa é proveniente de todas as direções e atinge a superfície após sofrer um espalhamento na atmosfera. Estima-se que num dia totalmente sem nuvens, pelo menos 20% da radiação solar que atinge a superfície é difusa. Entretanto, em um dia totalmente nublado, não existe radiação direta e se torna 100% difusa.

Um terceiro componente da radiação solar ocorre quando a superfície a ser analisada estiver inclinada em relação à horizontal, relacionado a componente refletida pelo ambiente do entorno, denominado de “albedo”. A Figura 6 apresenta as três componentes da radiação solar em uma superfície receptora.

Figura 6 – Componentes da Radiação solar.

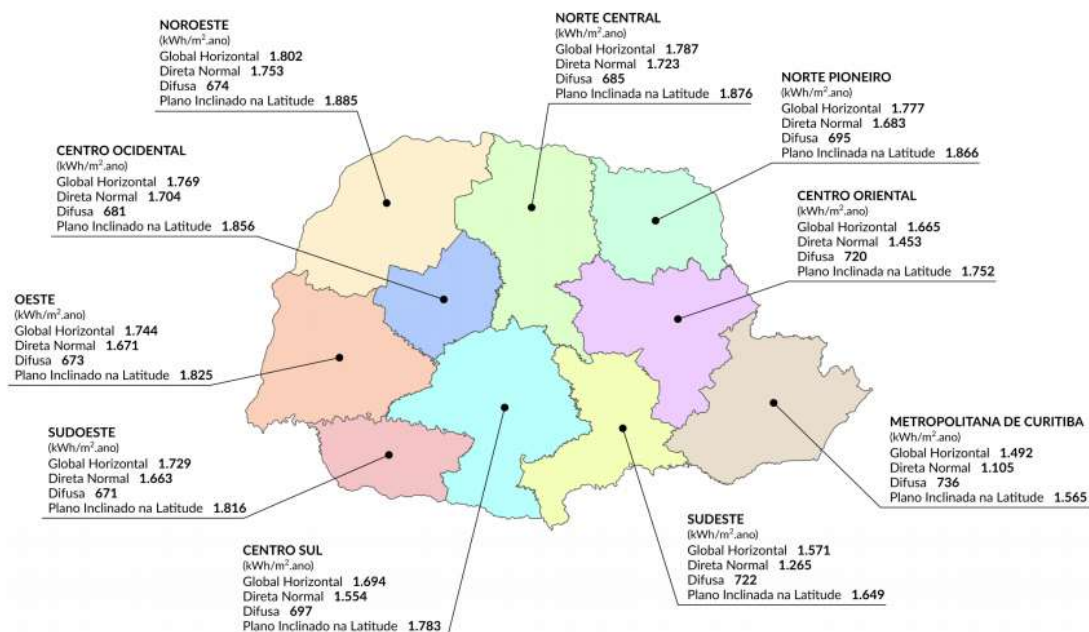


Fonte: PINHO et al. (2008)

Desta maneira, de acordo com Urbanetz Jr (2015) a taxa na qual a radiação solar incide em uma superfície, por unidade de área desta superfície medida em Watt por metro quadrado (W/m^2) é chamada de irradiância. Onde integrando em uma unidade de tempo obtêm-se a irradiação.

A irradiação pode ser dividida em Irradiação Global (horizontal) quando é recebida por uma superfície plana horizontal, com suas componentes direta e difusa. E a Irradiação total (inclinada) em uma superfície plana com uma inclinação qualquer, onde recebe as componentes direta, difusa e o albedo.

Figura 7 – Potencial Anual Médio de energia solar no Estado do Paraná nas mesorregiões.



Fonte: Tiepolo et al. (2017)

Os estudos apresentados pelo Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná (TIEPOLO ET AL., 2017) expressam os índices de irradiação e produtividade para todo o estado do Paraná. Sendo que a Figura 7 apresenta o resumo do potencial anual médio de energia solar nas suas respectivas mesorregiões. Para todo o estado a Irradiação Média Total Anual em kWh/m².ano no plano Global Horizontal é de 1.705, Direta Normal 1.560, Difusa 695, Plano Inclinado na Latitude 1.789.

2.2.2 Células Fotovoltaicas

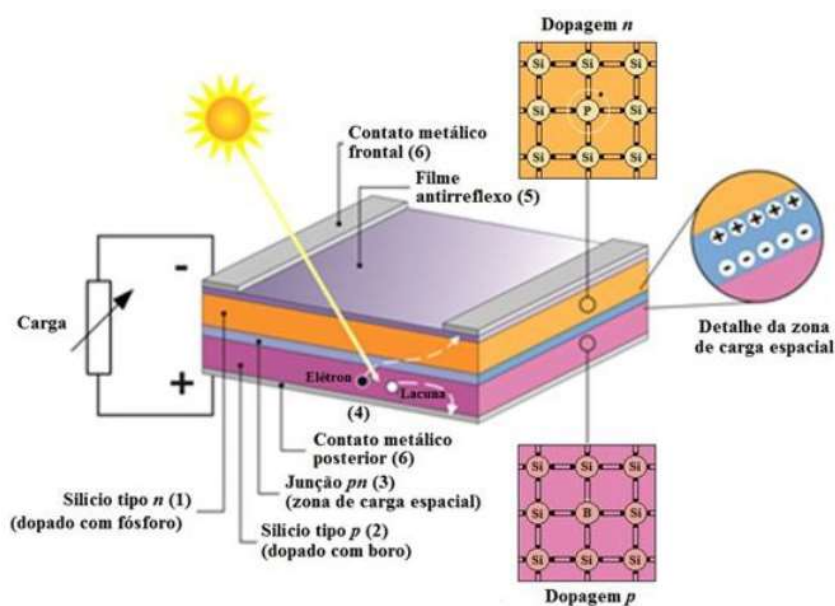
As células fotovoltaicas são os componentes que realizam a conversão da energia solar em elétrica. Se trata de um material semicondutor que sob incidência da radiação solar é capaz de gerar eletricidade.

O material mais difundido na fabricação de células fotovoltaicas é o Silício. Este elemento passa por processos de dopagem, para a inserção de outros elementos como o fósforo e o boro, criando as diferentes camadas com cargas positivas (tipo P) e negativas (Tipo N).

As células fotovoltaicas possuem uma fina camada de material do tipo N e uma camada mais espessa de material do tipo P. A junção PN ocorre de maneira geral

através de lâminas, previamente dopadas. Fazendo com que a diferença de cargas gere o movimento dos elétrons conforme apresentado na Figura 8.

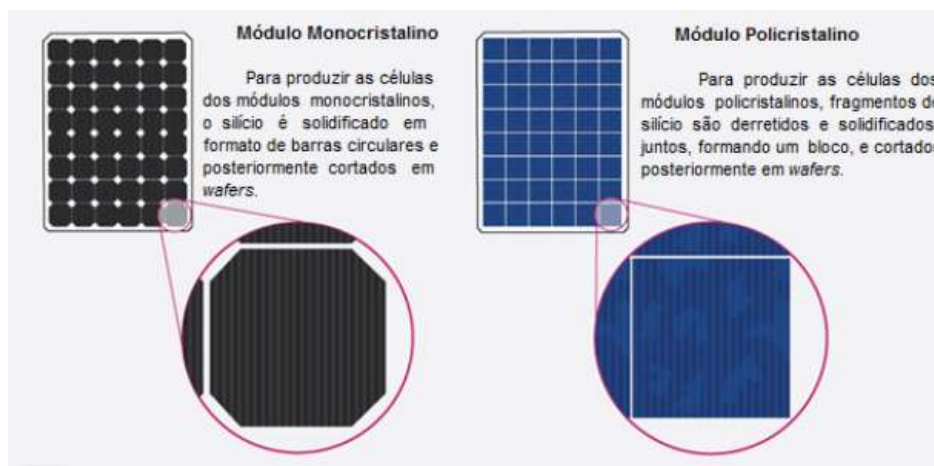
Figura 8 – Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício: (1) região tipo n; (2) região tipo p, (3) zona de carga especial, onde se formou a junção pn e o campo elétrico; (4) geração de par elétron-lacuna; (5) filme antirreflexo; (6) contatos metálicos.



Fonte: Pinho e Galdino (2014, p.112).

Apesar da grande maioria das células fotovoltaicas serem fabricadas de Silício, como o Silício Monocristalino (m-Si), Silício Policristalino (p-Si), Silício amorfo em filmes finos (a-Si), existem outras tecnologias como o Telureto de cádmio (CdTe), o Disseleneto de cobre índio e gálio (CIGS), entre outras em estudo e desenvolvimento.

Figura 9 – Comparação entre células de p-Si e m-Si e sua disposição em módulos fotovoltaicos.



Fonte: Buhler, Santos e Gabe.(2018).

As células de Silício Monocristalino e Policristalino são predominantes no mercado devido à disponibilidade da sua matéria-prima e possuírem o menor valor comercializado, e que podem ser observadas na Figura 9.

2.2.3 Módulos

O módulo fotovoltaico é o conjunto de células agrupadas de modo a gerar energia da irradiação solar conforme especificações e características elétricas definidas com o melhor aproveitamento de acordo com o seu respectivo fabricante.

Se trata de uma estrutura montada em um quadro de alumínio, onde as células fotovoltaicas estão ligadas entre si em série e/ou paralelo. Elas são envolvidas por uma película encapsulante conhecida como EVA (do inglês Ethylene Vinyl Acetat), que serve para proteger as células contra o envelhecimento causado pelos raios UV, das temperaturas extremas e da umidade.

O Vidro que recobre o módulo se trata de um material puro, desenvolvido especialmente para refletir o menos possível e visando atravessar o máximo de luminosidade através dele.

O fundo protetor localizado na parte de trás do módulo solar, conhecido como Backsheet, tem como função proteger os componentes internos, principalmente as células fotovoltaicas, além de servir como um isolante elétrico.

A figura 10 apresenta os principais componentes da montagem de um módulo fotovoltaico.

Figura 10 – Estrutura de um módulo fotovoltaico.



Fonte: Bluesol (<https://blog.bluesol.com.br/modulo-fotovoltaico/>).

A caixa de junção conecta as células fotovoltaicas com os condutores CC para a montagem do arranjo fotovoltaico por meio dos conectores MC4 ou MC3.

2.2.4 Inversores

O inversor é um equipamento eletrônico que gera uma tensão em corrente alternada, a partir de uma fonte em corrente contínua, podendo ser de um sistema fotovoltaico (PINHO e GALDINO, 2014).

Os inversores fotovoltaicos possuem algumas características, como por exemplo:

- Podem operar Isolados ou Conectados em paralelo com a rede elétrica;
- Possuem alta eficiência de conversão;
- Ampla faixa de tensão de entrada;
- Tensão de saída ajustada conforme a rede disponível;
- Baixo conteúdo harmônico e interferência eletromagnética;
- Apresentam sistemas de segurança como chaves, protetores de surto; e sistemas anti-ilhamento para os usuários;
- Grau de proteção conforme a necessidade de cada projeto;

- Garantia de fábrica longo.

2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFVCR)

2.3.1 Geração Distribuída;

A Resolução Normativa da ANEEL n° 482/2012 e n°687/2015 estabeleceram as diretrizes para que o consumidor de energia elétrica brasileiro pudesse gerar a própria energia a partir de fontes renováveis ou cogeração, onde é possível fornecer o excedente para a rede de distribuição da respectiva localidade.

Portanto, denomina-se microgeração distribuída, centrais geradoras com potência instalada até 75 quilowatts (kW) e minigeração distribuídas centrais geradoras acima de 75kW até 5MW. Conectados na rede de distribuição das concessionárias por meio das próprias unidade consumidoras.

A geração distribuída apresenta benefícios para o consumidor final no que se refere a redução da fatura de energia e redução na emissão de gases de efeito estufa. Em paralelo, os benefícios ao sistema elétrico são significativos para esta modalidade, pois representam o adiamento de investimentos em expansão de sistemas de transmissão e distribuição, além da redução no carregamento das redes. Conforme Informações Técnicas ANEEL.

A energia gerada, caso não seja consumida internamente, é injetada na rede de distribuição, sendo que cria-se um “crédito de energia”. Este crédito não pode ser revertido em dinheiro, mas poderá ser utilizado para abater o consumo em kWh da referida Unidade Consumidora nos meses seguintes. Ou em outras unidades consumidoras com a mesma titularidade, com validade de 60 meses.

Mesmo com a geração de energia máxima possível de um sistema fotovoltaico, as unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B) possuirá a tarifa mínima mensal a ser quitada com a concessionária, referente ao custo de disponibilidade de energia, equivalente a 30kWh para a ligação monofásica, 50kWh para a ligação bifásica e 100kWh para a ligação trifásica (Resolução ANEEL n°687/2015).

Para as unidades consumidoras atendidas em alta tensão (grupo A), a parcela da fatura de energia correspondente à demanda contrata e faturada, também estão relacionados ao custo de disponibilidade de energia da concessionária.

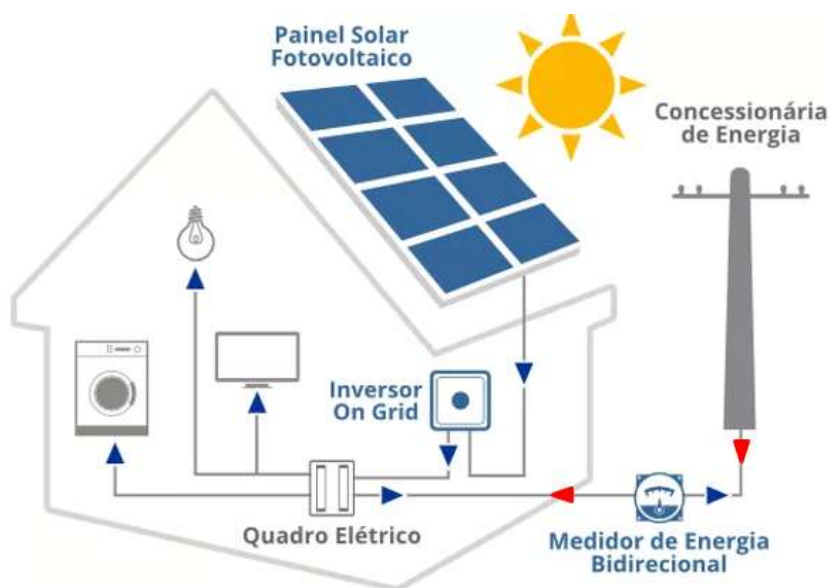
2.3.2 Topologia de um SFVCR;

O Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede, conforme Pinho e Galdino (2014, p.257) são aqueles em que a potência produzida pelo gerador fotovoltaico é entregue diretamente à rede elétrica.

Para que isso ocorra de maneira adequada, é fundamental a utilização de um inversor que atenda todos os requisitos de qualidade e segurança, e não degrade o sistema elétrico da unidade consumidora e adjacências.

O inversor conectado à rede de distribuição deverá possuir o sistema “anti-ilhamento”, sistema de proteção interno que desconecta da rede de distribuição caso ocorra uma falta de energia da concessionária. O inversor permanece monitorando os parâmetros de frequência e tensão durante este período, para reconexão à rede após o retorno da energia. Sistema este que garante a segurança do sistema elétrico e dos operadores, para que não ocorra injeção de energia na rede conforme procedimentos de distribuição (PRODIST, 2017).

Figura 11 – Topologia de um sistema fotovoltaico conectado à rede.



Fonte: [SUN Energia](#) (2021)

Através do sistema de compensação de energia, é instalado uma medição bidirecional, para que ocorra o registro separado da energia consumida e do que é injetado na rede. Sendo que o fluxo de potência entre o que é gerado pelo sistema fotovoltaico e o que é utilizado pela concessionária, garante o perfeito atendimento das cargas. Conforme ilustração da Figura 11.

3 ESTUDO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

3.1 INTRODUÇÃO

Foi abordado neste capítulo o desenvolvimento do projeto básico para o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede, a elaboração da estimativa de orçamento para a sua implementação, expectativa de geração de energia elétrica e o cálculo do Payback para o projeto.

3.2 IDENTIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA

Foi adotada a unidade consumidora Campus da Indústria, sendo a maior unidade consumidora da instituição, e com o melhor aproveitamento de área para instalação de geração distribuída. Salienta-se também que no ano de 2015 a 2017 foi executado um programa de eficiência energética na edificação, com a troca de todo o sistema de iluminação, por lâmpadas e luminárias LED com selo PROCEL.

O endereço da unidade consumidora é na Avenida Comendador Franco, número 1341, no bairro Jardim Botânico, em Curitiba, Paraná.

Na fotografia 1, pode-se observar a fachada da edificação existente:

Fotografia 1 – Fachada da unidade Campus da Indústria



Fonte: Acervo Sistema FIEP

Observa-se a edificação na imagem aérea apresentada na Fotografia 2. Se trata de uma estrutura com 28.928,35m² de área construída considerando todos os seus blocos. Entrada de energia em 13,8kV e subestações internas que possuem vários transformadores que somam uma potência total de 3.862,5kVA.

Fotografia 2 – Imagem Aérea Bloco Principal – Campus da Indústria



Fonte: Acervo Sistema FIEP

Através da imagem por satélite pode-se observar as áreas disponíveis nos telhados do edifício para a instalação de módulos de geração de energia fotovoltaica conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Imagem por satélite do Campus da Indústria



Fonte: Google Maps

Portanto, observa-se que a unidade possui áreas disponíveis para a elaboração do projeto.

3.3 CONSUMO DE ENERGIA NA UNIDADE

A identificação, do endereço e localização da UC pode ser verificada conforme apresentada na Figura 13:

Figura 13 – Fatura de energia da Unidade Campus da Indústria

página 1 / 1

COPEL Copel Distribuição S.A.
José Izidoro Biazetto, 156 bl.C - Messunguê - Curitiba PR - CEP 81200-240
CNPJ: 04.368.898/0001-06 - IE 90.233.073-99 - IM 423.992-4

www.copel.com
0800 643 75 75

SERVICO SOCIAL DA INDUSTRIA SESI
AV COM FRANCO, 1341 - SESI
JARDIM BOTANICO - CURITIBA - PR - CEP: 80215-090

81880 05 808 570008
CNPJ 03.802.018/0003-67

Mês de Referência
Agosto/2021

Unidade Consumidora
[REDACTED]

VENCIMENTO
25/08/2021

VALOR A PAGAR
R\$ 58.007,06

FAT-01-20211829266160-6

Valores Faturados

NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA Nº 206.761.347 - SÉRIE B
Emitida em 01/08/2021

Produto Descrição	Un.	Grandezas Faturadas	Valor Unitário	Valor Total	Base de Cálculo	Aliq. ICMS
ENERGIA ELET CONSUMO PTA	kWh	5546,00	2,045454	11.344,09	11.344,09	29,00
ENERGIA ELET CONSUMO F PTA	kWh	50309,00	0,524084	26.366,13	26.366,13	29,00
ENERGIA REAT EXC F PONTA	kWh	117,00	0,422991	49,49	49,49	29,00
DEMANDA	kW	239,76	24,991867	5.992,05	5.992,05	29,00
DEMANDA ISENTA ICMS	kW	360,24	17,744309	6.392,21	0,00	0,00
ENERGIA CONS. B.VERMELHA P2	kWh			7.762,21	7.762,21	29,00

CONT ILUMIN PUBLICA MUNICIPIO 100,88

Fonte: Agência Virtual COPEL

Através do sistema da agência virtual da concessionária de energia é possível extrair as principais informações de energia consumida, demanda medida e faturamento.

Foi levantado o histórico desde o mês de fevereiro de 2018, contemplando 36 ciclos de medição mensal.

Há alguns pontos a serem observados no histórico de faturamento. No mês de outubro de 2018, houve uma mudança na demanda contratada, onde foi reduzido de 950kW para 600kW.

Importante ressaltar que a partir do ciclo do mês de maio de 2020 foi observado uma redução significativa de consumo, atendendo os protocolos de

distanciamento social e aulas remotas devido à Pandemia de Covid19 iniciada em março de 2020.

Na tabela 1 é possível observar os históricos de consumo, demanda e faturamento.

Tabela 1 – Histórico de Consumo, Demanda e Faturamento.Mês	Consumo Ponta kWh	Consumo Fora Ponta kWh	Consumo Total kWh	Demanda Contratada kW	Demanda Registrada kW	Faturas R\$
mar/18	18.474,00	125.422,00	143.896,00	950	533,52	R\$ 110.555,75
abr/18	24.729,00	160.014,00	184.743,00	950	628,56	R\$ 134.952,70
mai/18	22.117,00	126.770,00	148.887,00	950	511,92	R\$ 115.391,28
jun/18	14.162,00	95.403,00	109.565,00	950	492,48	R\$ 89.050,60
jul/18	11.060,00	83.490,00	94.550,00	950	548,64	R\$ 86.412,54
ago/18	12.108,00	93.745,00	105.853,00	950	559,44	R\$ 100.769,95
set/18	14.185,00	105.162,00	119.347,00	950	507,6	R\$ 111.632,95
out/18	15.813,00	112.952,00	128.765,00	950	602,64	R\$ 122.556,13
nov/18	13.627,00	103.354,00	116.981,00	600	550,8	R\$ 110.597,25
dez/18	17.745,00	116.281,00	134.026,00	600	578,88	R\$ 119.778,73
jan/19	19.860,00	136.387,00	156.247,00	600	589,68	R\$ 134.193,45
fev/19	14.491,00	169.480,00	183.971,00	600	626,4	R\$ 137.014,06
mar/19	19.226,00	137.766,00	156.992,00	600	589,68	R\$ 125.140,46
abr/19	24.331,00	146.521,00	170.852,00	600	589,68	R\$ 142.280,59
mai/19	15.250,00	132.224,00	147.474,00	600	585,36	R\$ 115.729,47
jun/19	14.365,00	113.525,00	127.890,00	600	581,04	R\$ 104.900,49
jul/19	13.110,00	96.230,00	109.340,00	600	596,16	R\$ 91.512,27
ago/19	12.718,00	99.609,00	112.327,00	600	509,76	R\$ 93.716,12
set/19	14.035,00	105.210,00	119.245,00	600	540	R\$ 102.718,81
out/19	17.262,00	125.076,00	142.338,00	600	585,36	R\$ 120.140,21
nov/19	20.347,00	146.422,00	166.769,00	600	656,64	R\$ 137.322,05
dez/19	17.522,00	139.500,00	157.022,00	600	617,76	R\$ 129.057,70
jan/20	13.905,00	109.760,00	123.665,00	600	516,24	R\$ 99.399,46
fev/20	16.613,00	148.425,00	165.038,00	600	570,24	R\$ 126.619,18
mar/20	19.563,00	127.295,00	146.858,00	600	591,84	R\$ 118.301,50
abr/20	14.564,00	92.963,00	107.527,00	600	576,72	R\$ 91.176,12
mai/20	3.453,00	39.705,00	43.158,00	600	84,24	R\$ 38.524,70
jun/20	5.108,00	42.903,00	48.011,00	600	97,2	R\$ 42.962,24

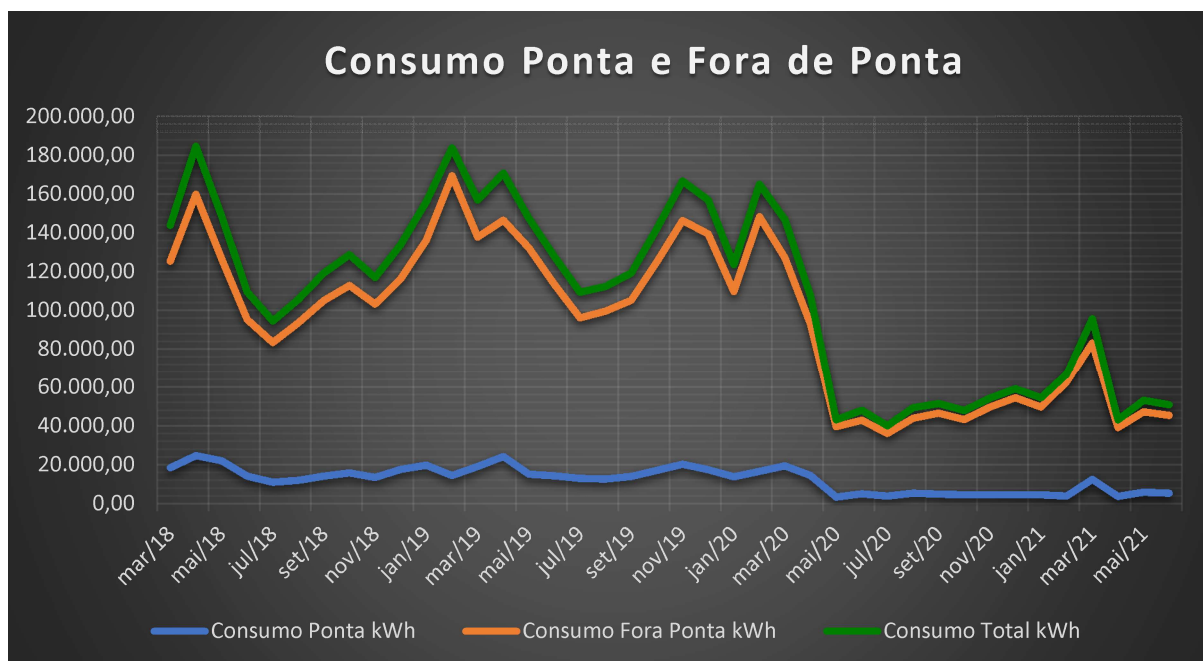
jul/20	3.937,00	36.153,00	40.090,00	600	84,24	R\$ 37.259,29
ago/20	5.529,00	43.910,00	49.439,00	600	110,16	R\$ 43.022,08
set/20	4.895,00	46.637,00	51.532,00	600	336,96	R\$ 44.781,59
out/20	4.609,00	43.251,00	47.860,00	600	116,64	R\$ 41.189,20
nov/20	4.622,00	49.728,00	54.350,00	600	365,04	R\$ 46.198,63
dez/20	4.619,00	54.599,00	59.218,00	600	414,72	R\$ 48.429,27
jan/21	4.690,00	49.786,00	54.476,00	600	399,6	R\$ 52.235,99
fev/21	3.952,00	62.857,00	66.809,00	600	401,76	R\$ 52.830,10
mar/21	12.587,00	83.074,00	95.661,00	600	436,32	R\$ 79.655,03
abr/21	3.868,00	39.193,00	43.061,00	600	369,36	R\$ 41.001,05
mai/21	6.005,00	47.261,00	53.266,00	600	332,64	R\$ 47.417,41
jun/21	5.512,00	45.392,00	50.904,00	600	172,80	R\$ 46.500,38

Fonte: O autor

Ao analisar-se o mês de março de 2018 a março de 2020, a oscilação do consumo de energia possui um padrão, com menor consumo nos meses de julho, coincidindo com as férias escolares e o baixo uso do sistema de Ar Condicionado, neste caso do tipo central com Chiller de água gelada. E o maior consumo nos meses de fevereiro e março, devido ao alto uso do sistema de climatização.

Ao elaborar-se o gráfico do consumo na ponta, fora de ponta e consumo total da Unidade Consumidora, também fica evidente a variação de consumo antes do início da Pandemia e depois da Pandemia de Covid19, conforme pode ser observado no Gráfico 1:

Gráfico 1 – Padrão de Consumo (kWh).



Fonte: O autor.

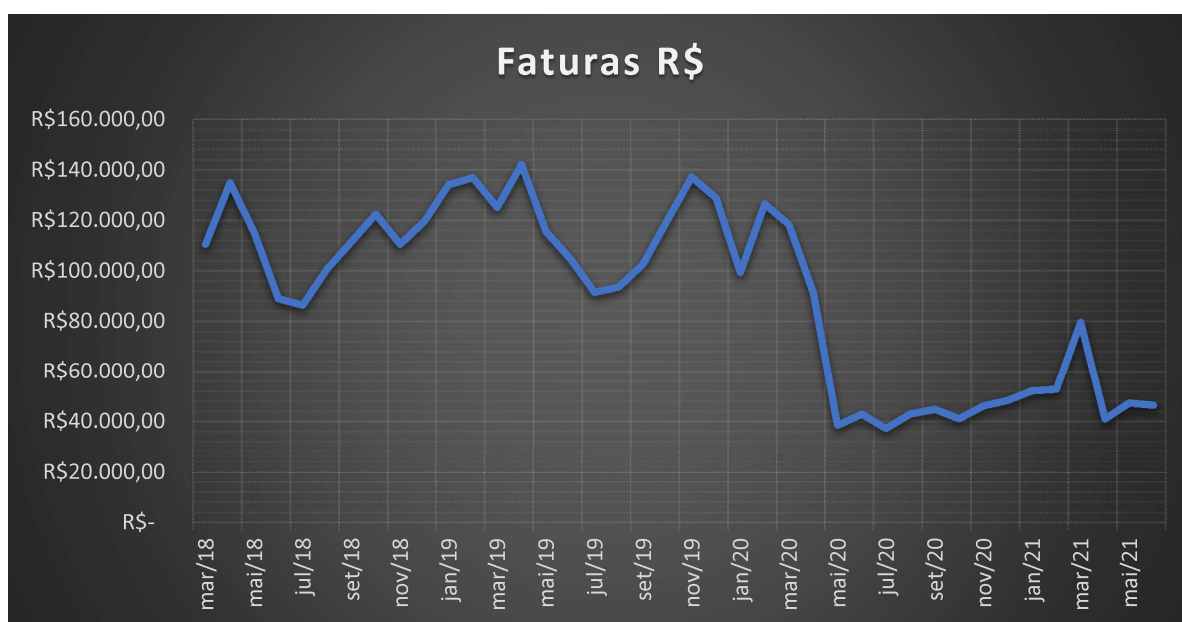
Levou-se em consideração para a elaboração do estudo de viabilidade do sistema de geração de energia fotovoltaica, o consumo médio entre os meses de março de 2018 a março de 2020, e desconsiderado os meses após abril de 2020, devido a significativa redução de consumo de energia decorrente da pandemia de Covid19, pois estes valores não retratam o uso convencional da unidade consumidora em pleno funcionamento.

Do ponto de vista da operação da unidade é esperado que o consumo de energia volte aos patamares normais após o término da pandemia e com o retorno das aulas e cursos presenciais, eventos e demais atividades.

A média de consumo de energia total, que abrange a soma da energia na ponta e fora de ponta, é de 138.905,64 kWh mensal, de 03/2018 a 03/2020.

Avaliando a questão do faturamento, é possível observar que o comportamento da variação das faturas é similar ao consumo de energia fora de ponta, conforme gráfico 2.

Gráfico 2 – Padrão de faturamento em energia (R\$)



Fonte: O autor.

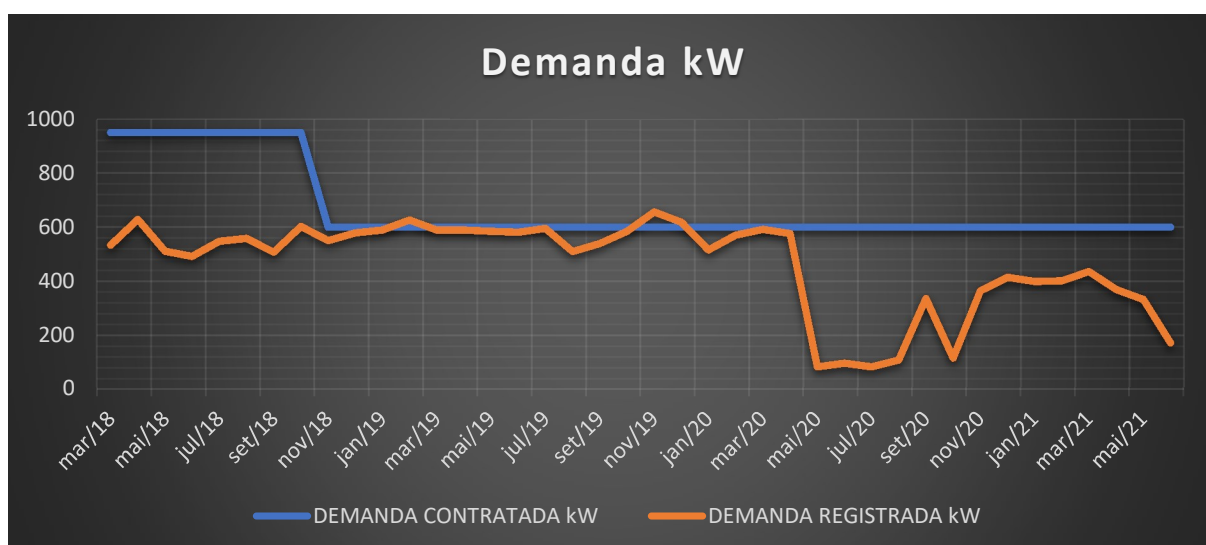
Considerando o valor médio das faturas entre o período de março de 2018 a março de 2020, tem-se um valor de R\$115.189,75 de fatura mensal.

Visando também entender melhor o comportamento da demanda na unidade consumidora, foi elaborado um gráfico com o histórico desde o mês de março de 2018.

No mês de novembro de 2018 houve uma redução da demanda contratada de 950kW para 600kW, mais corretamente ajustando ao padrão de demanda medida.

Entre novembro de 2018 até o início da Pandemia de Covid19 em Março de 2020, é possível observar que a demanda contratada e a demanda medida estão muito próximas. O que confirma que o padrão de cargas e equipamentos em funcionamento, assim como o consumo total da unidade consumidora estão com comportamento esperado do ponto de vista da demanda.

Gráfico 3 – Padrão de demanda (kW).



Fonte: O autor.

Após o mês de março de 2020 a redução se mostrou significativa, assim como no gráfico de consumo de energia, devido às regras de distanciamento social necessárias a partir deste período.

O gráfico 3 apresenta o padrão de demanda contratada e medida da unidade consumidora.

3.4 LOCALIZAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A edificação possui características construtivas onde é necessária a conferência da área de telhado, para garantir a não incidência de sombreamento nos módulos fotovoltaicos a serem projetados ao longo do dia e do ano.

Com a imagem de satélite apresentada na fotografia 3 observa-se as áreas disponíveis, e a indicação que o norte geográfico.

Fotografia 3 – Imagem por satélite com vista superior Indústria



Fonte: Google Maps

Visando obter a melhor concepção, para a instalação no que se refere a localização dos módulos fotovoltaicos, evitando sombreamento de áreas da própria edificação como os barriletes, as edificações vizinhas e de árvores próximas, foi realizado uma simulação utilizando o software Sketup, com a modelagem do terreno, das edificações e com a indicação dos módulos fotovoltaicos.

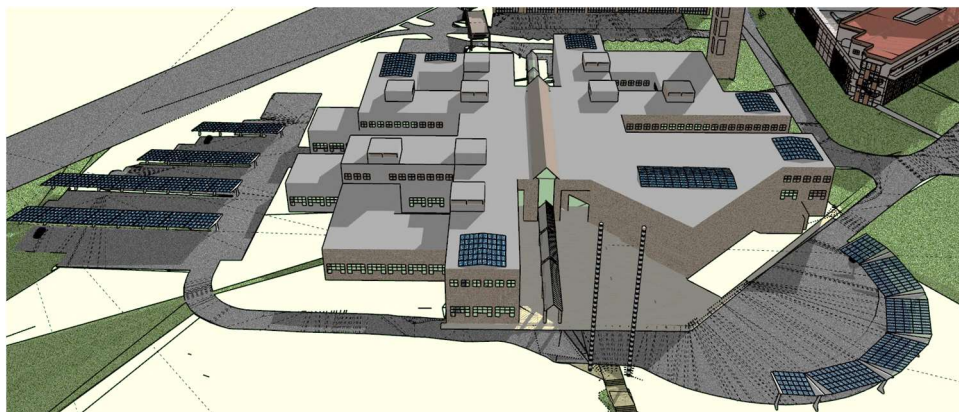
Através deste software, é possível georreferenciar o modelo, e simular a incidência solar nos dias do ano, e nas horas do dia, visando o melhor desempenho do sistema fotovoltaico a ser instalado.

Inicialmente, prevendo o menor investimento, buscou-se instalar o maior número de módulos fotovoltaicos no telhado. Entretanto, com a modelagem, observou-se que no telhado do bloco principal, existem poucas áreas disponíveis que não teriam sombreamento, devido a características construtivas, das várias áreas técnicas do telhado central.

Foi possível observar que as regiões de melhor irradiação solar, estão nos estacionamentos frontal e lateral.

Ao realizar a distribuição dos módulos fotovoltaicos nos locais possíveis, com melhor irradiação, chegou-se no layout geral conforme Figuras 14.

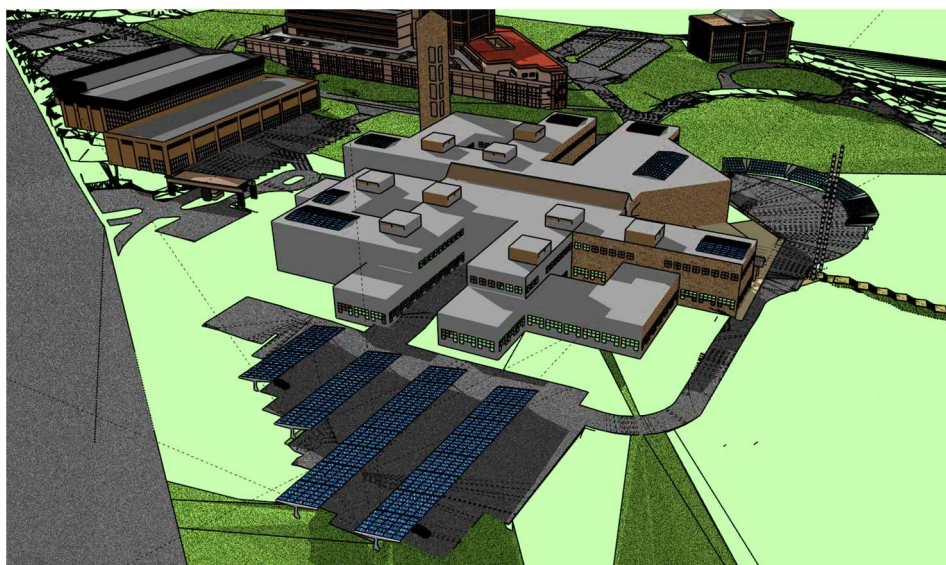
Figura 14 – Layout Geral Posição Módulos - Unidade Campus da Indústria



Fonte: O Autor

A Figura 15 observa-se o Layout final, com ênfase ao estacionamento lateral, conjunto que abrigará maior potência instalada.

Figura 15 – Layout Geral Posição dos módulos - Unidade Campus da Indústria



Com uma visualização mais aproximada do telhado do bloco principal, observa-se o sombreamento da edificação no início do dia no solstício de inverno conforme apresentada na Figura 16:

Figura 16 – Simulação sombreamento telhado principal – Solstício as 09:00



A visualização mais aproximada do telhado do bloco principal, no final do dia no solstício de inverno está representado na Figura 17.

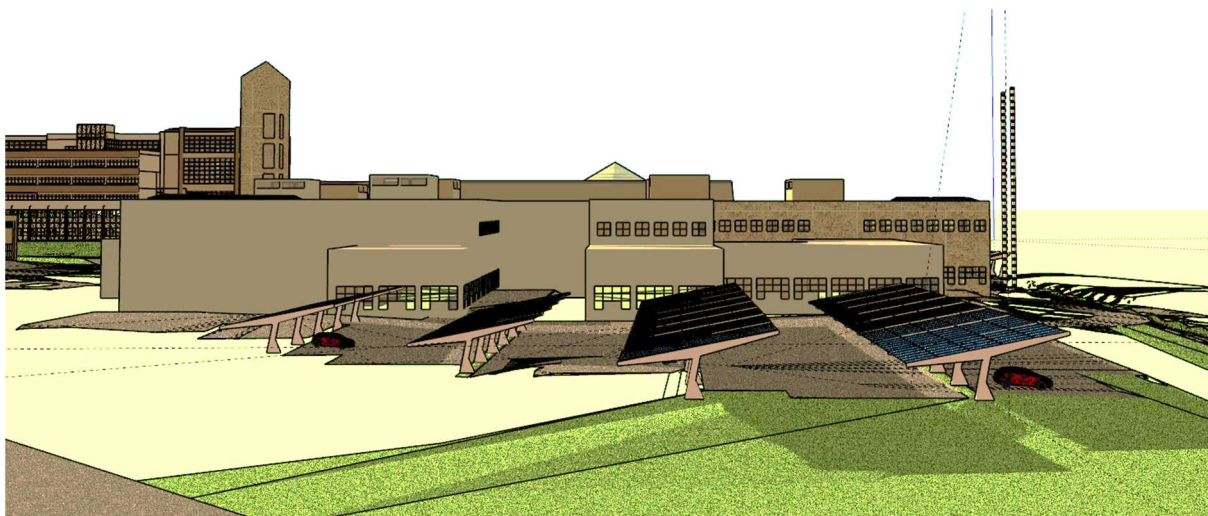
Figura 17 – Simulação sombreamento telhado principal – Solstício as 16:00



A maior área disponível para a instalação de módulos fotovoltaicos, é a do estacionamento lateral. Região livre da sombra de árvores, e da própria edificação. Entretanto, seria necessária a instalação através de “Carports”, para cobrir o estacionamento e abrigar os automóveis dos funcionários e usuários da unidade.

Na Figura 18 observa-se a topologia dos módulos fotovoltaicos no estacionamento lateral no início do dia do solstício de inverno.

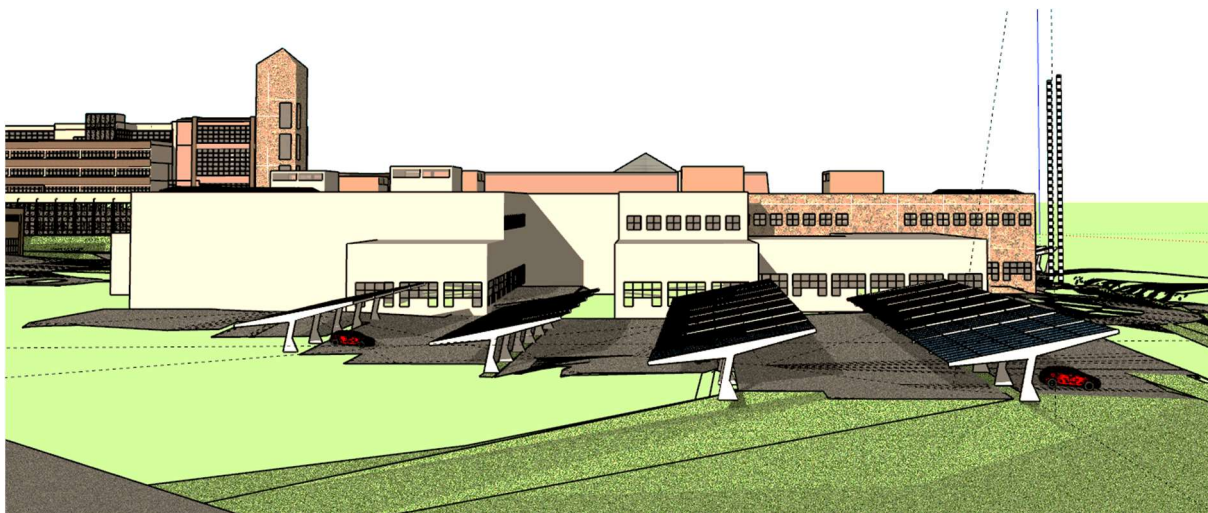
Figura 18 – Simulação sombreamento estacionamento lateral – Solstício as 09:00



Fonte: O autor

Na Figura 19 é possível observar a topologia dos módulos fotovoltaicos no estacionamento lateral no final do dia do solstício de inverno.

Figura 19 – Simulação sombreamento estacionamento lateral – Solstício as 16:00



Fonte: O autor

Mesmo com a simulação e modelagem do sistema fotovoltaico, se faz necessário a conferência e garantia de que os próprios módulos não gerem sombra no painel imediatamente posterior, dependendo do momento do dia.

Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 364), a Equação 1 permite estimar a distância mínima entre os painéis fotovoltaicos com a sua inclinação, para que não gerem sombra entre eles. Levou-se em consideração os períodos de maior irradiância, entre as 9 horas e as 15 horas.

$$d = Fe(hob - hi) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

d – Distância mínima a ser mantida entre as fontes geradoras;

Fe – fator de espaçamento obtido pela figura 20

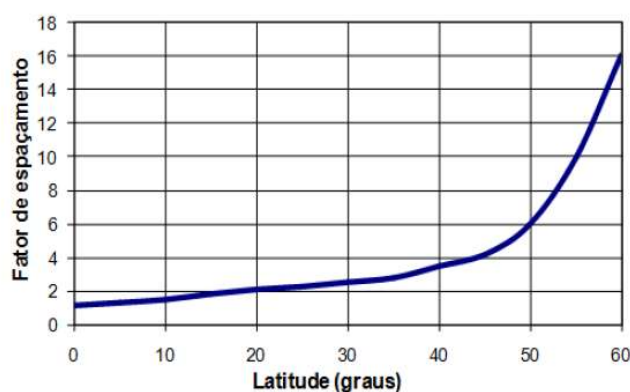
hob – altura do obstáculo

hi – altura da instalação do painel;

φ – Ângulo de instalação dos painéis fotovoltaicos;

L – Medida do painel fotovoltaico;

Figura 20 – Fator de Espaçamento.



Fonte: Pinho e Galdino, 2014

Para obter tais informações, se faz necessário a medida dos módulos fotovoltaicos e o ângulo de instalação.

O módulo escolhido se trata do modelo Canadian Solar de 440W, com medidas de 2,10x1,04m. Com o posicionamento de 5 módulos alinhados, obteve-se uma medida total em módulos de 10,5m.

O ângulo de instalação os painéis fotovoltaicos será de 10°, sendo um ângulo adequado para sombreamento dos automóveis que o utilizarão, mantendo a autolimpeza pela chuva.

Utilizando os conceitos de trigonometria, é possível obter a distância mínima, sendo:

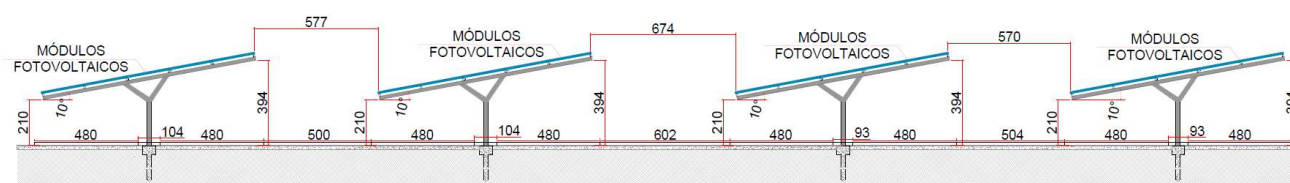
$$d = 2,4[(\operatorname{sen} 10^\circ * 10,5) - 0]$$

$$d = 4,37m$$

Portanto a distância mínima entre os painéis fotovoltaicos é de 3,87m.

Ao realizar um corte e posicionamento do sistema de fixação dos módulos fotovoltaicos, foi possível observar que esta distância foi respeitada. Conforme figura 21.

Figura 21 – Espaçamento e dimensões do Carport.



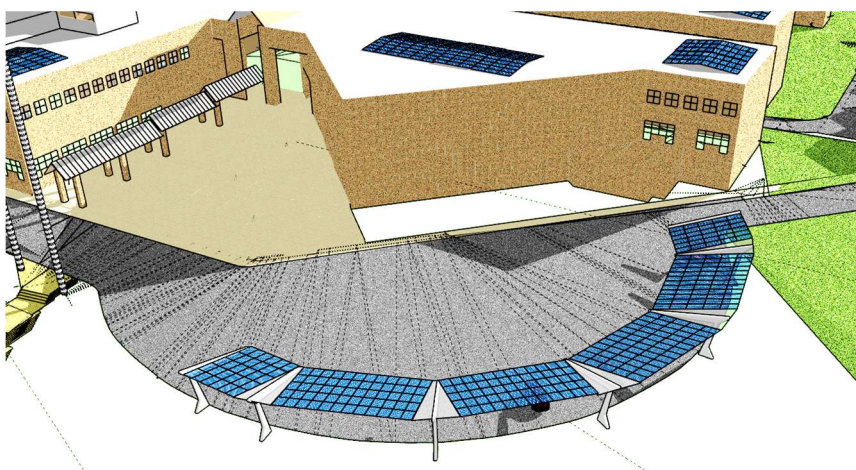
Fonte: O Autor

O estacionamento frontal, também abrigará módulos fotovoltaicos, sendo este o estacionamento mais utilizado da unidade. Onde destacará e trará a visibilidade para o projeto.

O estacionamento possui um formato de semicírculo, onde os módulos previstos abrigariam as vagas mais a sua periferia.

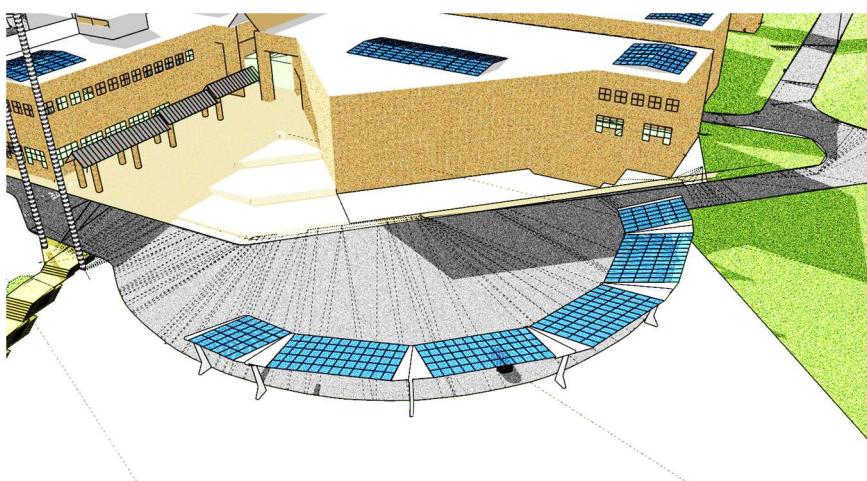
A figura 22 ilustra a simulação dos módulos fotovoltaicos no início do dia do solstício de inverno.

Figura 22 – Simulação sombreamento Estacionamento Frontal – Solstício de inverno às 09:00



A figura 23 ilustra a simulação dos módulos fotovoltaicos no final do dia do solstício de inverno.

Figura 23 – Simulação sombreamento Estacionamento Frontal – Solstício de inverno às 16:00



Fonte: O autor

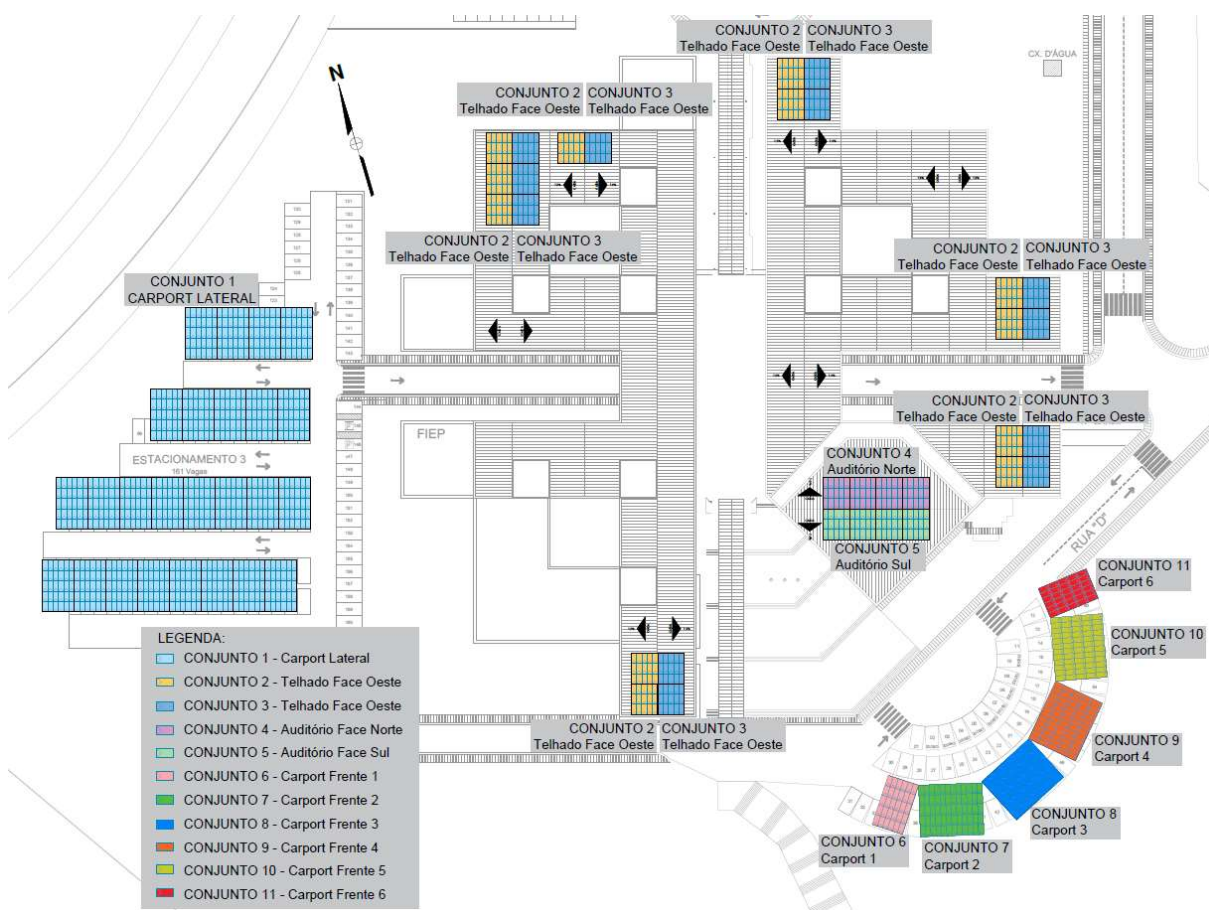
Portanto, com a definição de melhores regiões da edificação para a instalação dos módulos fotovoltaicos, é possível quantificar e estimar seus componentes.

Levando em consideração a demanda contratada de 600kW sendo a potência máxima a ser considerada e registrada junto a concessionária de energia para a instalação de sistemas de geração em energia solar fotovoltaica como geração distribuída, foi considerado ainda a instalação ligeiramente superior na área de corrente contínua. Foi especificado módulos fotovoltaicos de 440Wp, sendo um

modelo padrão comercializado e suas características técnicas serão abordadas posteriormente neste trabalho.

Realizando a distribuição em planta, obteve-se a locação dos módulos fotovoltaicos conforme figura 24:

Figura 24 – Posicionamento final dos Módulos - Unidade Campus da Indústria



Fonte: O autor

Desta maneira realizando a divisão em painéis com 15, 30 e 60 módulos, nas áreas selecionadas, foi obtido a quantidade de 1530 módulos, com uma potência total na parte CC de 673kWp.

3.5 LEVANTAMENTO DO RECURSO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Realizando o levantamento através do Atlas de Energia Solar do estado do Paraná (TIEPOLO ET AL., 2017), é possível obter o índice de irradiação Global Horizontal, onde é atribuído a energia gerada em kWh por m² em um dia típico de cada mês do ano. Desta maneira é possível observar a capacidade de geração de energia solar no ponto onde será realizado o projeto. Conforme apresentado na Figura 25.

Figura 25 – Irradiação Global Horizontal no ponto do projeto.



Fonte: Tiepolo et al. (2017).

A Figura 26 apresenta o índice de irradiação em um dia típico de cada mês, onde é possível observar a variação no decorrer do ano, devido as mudanças nas estações.

Figura 26 – Irradiação Global Horizontal ao longo de um ano típico.



Fonte: Tiepolo et al. (2017).

Com os dados de irradiação global horizontal, foi utilizado o software Radasol, onde foi criada uma estação denominada CAMPUS-SENAI, Figura 27, onde é possível obter a estimativa de irradiação considerando o ângulo de inclinação e desvio azimutal para cada painel a ser instalado.

Figura 27 – Estação Software Radasol.

Selezione um país e uma estação

País

Estação

Latitude N/S: Longitude E/W:

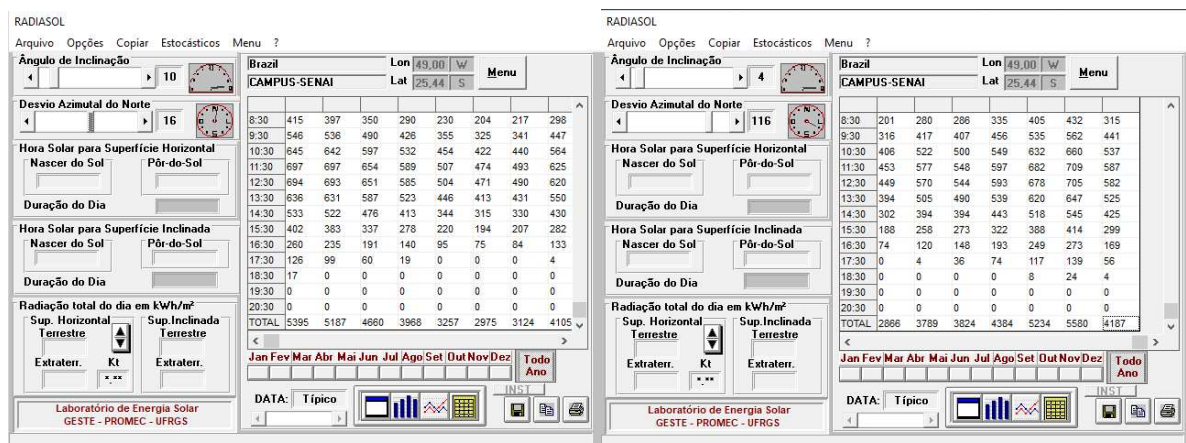
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,38	5,13	4,53	3,79	3,06	2,75	2,90	3,85	3,83	4,38	5,22	5,54

Radiação em kWh/m²

Fonte: O autor

As simulações foram processadas através do Software, onde algumas simulações estão exemplificadas na Figura 28.

Figura 28 – Resultados das simulações do Software Radiasol



Fonte: O autor

Para estimar a energia gerada pela quantidade total de módulos fotovoltaicos, foi realizada a divisão por painéis. E para cada conjunto de painéis, realizado o cálculo da energia gerada através da equação 2:

$$E = \frac{P_{fv} \times H_{tot} \times PR}{G} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

H_{tot} – Irradiação solar incidente no plano dos módulos;

PR – Taxa de desempenho ou performance Ratio do SFVCR, definido em 75%;

G - Irradiância solar nas condições STC, onde foi considerado 1kW/m²;

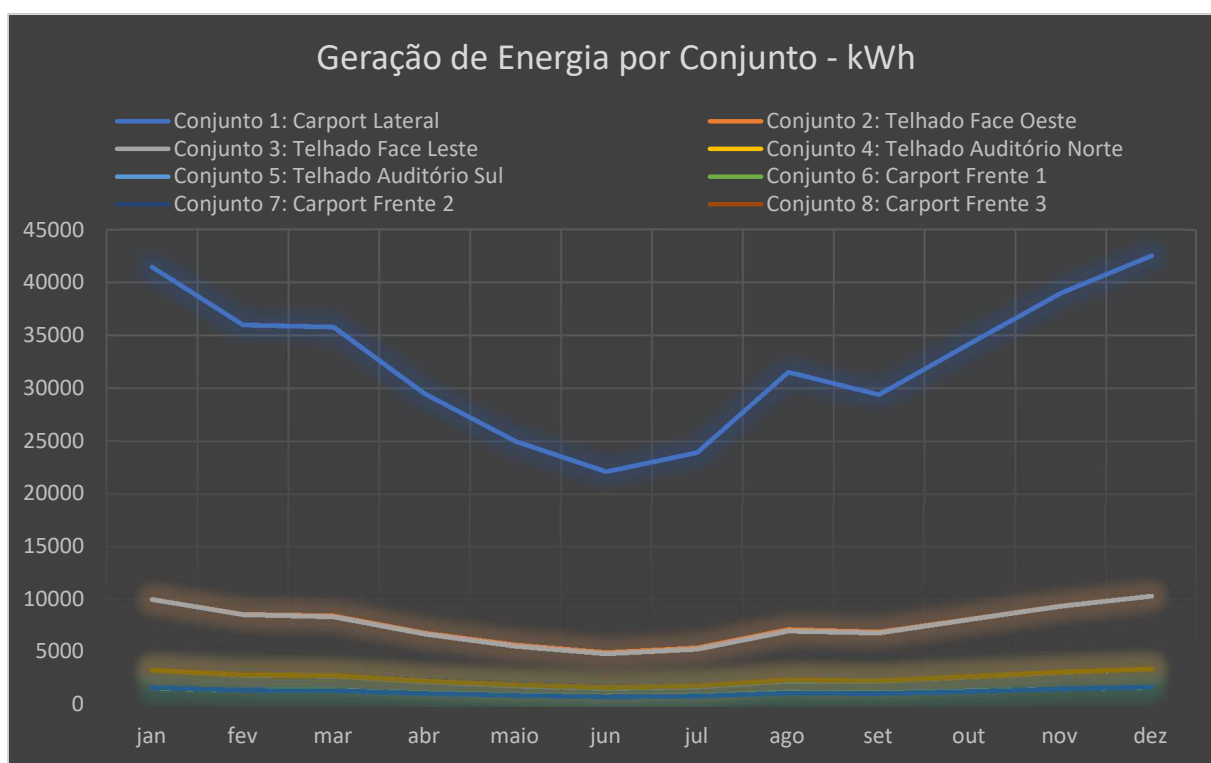
Desta maneira com o H_{tot} obtido com a simulação no software Radiasol para cada conjunto, e com a quantidade de módulos definido, obteve-se a estimativa de geração de energia fotovoltaica mensal e média mensal anual conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 2 – Estimativa de Geração de Energia por conjunto de módulos.

Conjuntos:	Potência Painéis (kWp)	Jan (MWh)	Fev (MWh)	Mar (MWh)	Abr (MWh)	Maio (MWh)	Jun (MWh)	Jul (MWh)	Ago (MWh)	Set (MWh)	Out (MWh)	Nov (MWh)	Dez (MWh)	Média Mensal (MWh)
1 - Carport Lateral:	330	41,43	35,97	35,75	29,48	25,01	22,13	23,94	31,53	29,40	34,22	38,98	42,51	32,53
2 - Telhado Face Oeste	79,2	9,94	8,56	8,39	6,80	5,68	4,96	5,40	7,13	6,88	8,10	9,34	10,26	7,62
3 - Telhado Face Leste	79,2	9,96	8,53	8,33	6,71	5,57	4,85	5,28	6,98	6,81	8,07	9,33	10,28	7,56
4 - Telhado Auditório Norte	26,4	3,31	2,86	2,82	2,29	1,93	1,69	1,84	2,42	2,31	2,71	3,11	3,41	2,56
5- Telhado Auditório Sul	26,4	3,32	2,84	2,76	2,21	1,83	1,59	1,73	2,29	2,26	2,68	3,11	3,43	2,50
6 - Carport Frente 1	13,2	1,66	1,44	1,43	1,18	1,00	0,88	0,96	1,26	1,18	1,37	1,56	1,70	1,30
7 - Carport Frente 2	26,4	3,31	2,88	2,86	2,36	2,00	1,77	1,92	2,52	2,35	2,74	3,11	3,40	2,60
8 - Carport Frente 3	26,4	3,31	2,87	2,86	2,35	1,99	1,76	1,91	2,51	2,35	2,73	3,11	3,41	2,60
9 - Carport Frente 4	26,4	3,32	2,87	2,84	2,33	1,96	1,73	1,88	2,47	2,33	2,72	3,12	3,41	2,58
10 - Carport Frente 5	26,4	3,32	2,85	2,81	2,28	1,90	1,66	1,81	2,39	2,30	2,71	3,11	3,42	2,55
11 - Carport Frente 6	13,2	1,66	1,42	1,39	1,12	0,93	0,81	0,88	1,17	1,14	1,32	1,56	1,71	1,26
Total	673,2	84,55	73,09	72,24	59,10	49,80	43,83	47,54	62,66	59,31	69,38	79,44	86,94	65,66

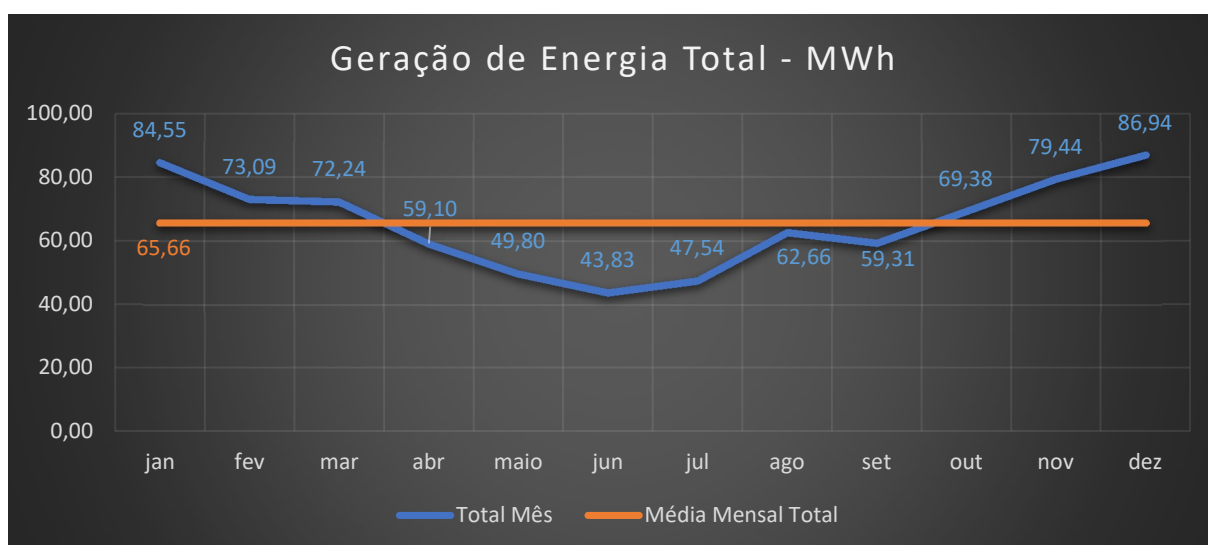
Fonte: O autor

Portanto, com a elaboração do gráfico 4 em forma de linhas para a estimativa de geração de energia fotovoltaica para cada conjunto de módulos, observa-se o comportamento e proporção de geração de cada região e orientação ao longo do ano. Sendo que o Carport a ser instalado na lateral da unidade Campus da Indústria, por possuir maior área disponível, será a parcela mais representativa na geração de energia.

Gráfico 4 – Estimativa de geração de energia ao longo do ano por conjunto

Fonte: O autor.

Ao realizar a soma de todas as parcelas de geração de energia, foi possível obter a estimativa de geração total de energia do sistema fotovoltaico a ser instalado. Sendo que no gráfico 5 é demonstrado a variação de geração mensal esperada e a média anual, que é estimada em 65,66MWh mês de geração de energia.

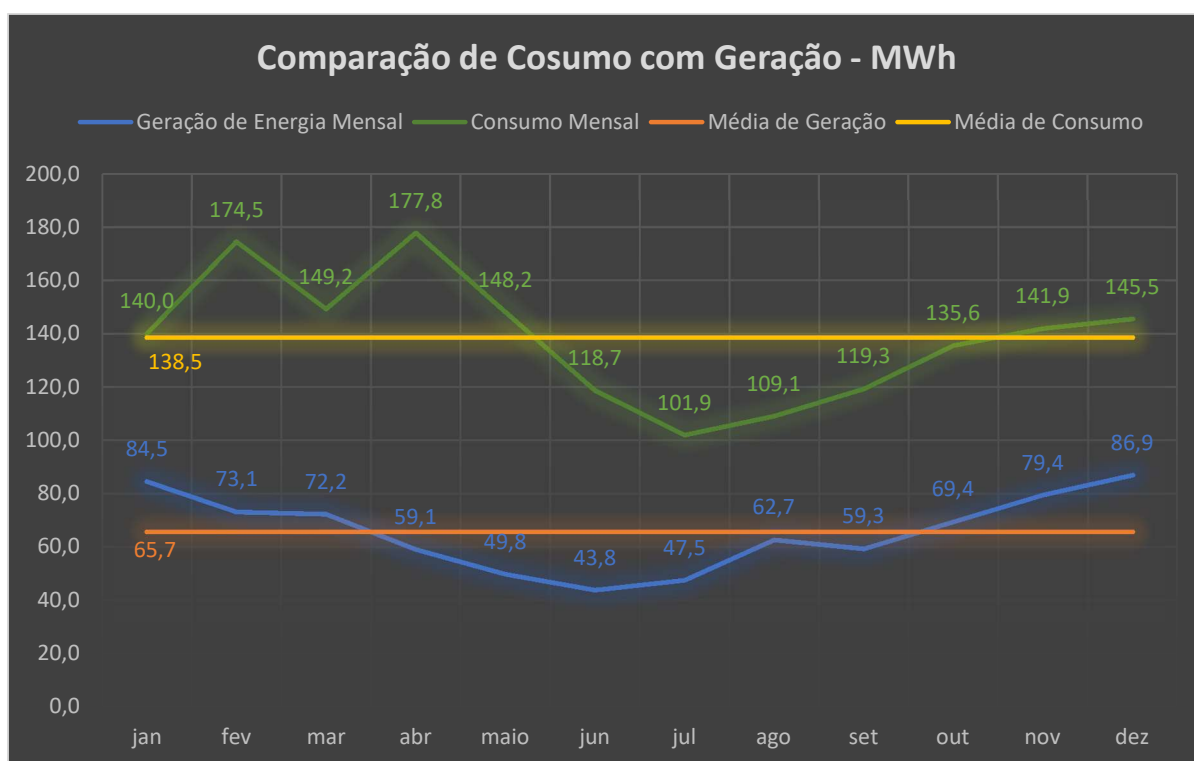
Gráfico 5 – Estimativa de geração de energia total ao longo do ano.

Fonte: O autor.

Em análise do padrão de consumo de energia da unidade consumidora, levando em consideração os últimos 24 meses antes da pandemia de Covid 19, que abrangem os meses de março de 2018 a março de 2020, obteve-se o padrão de consumo mensal, onde a média de consumo é de 138,5MWh mês.

Em comparação com a expectativa de geração de energia, onde a média é de 65,66MWh, estima-se que suportará 47,43% da média de consumo de energia. Sendo que o padrão de geração coincide e acompanha o padrão de consumo durante os meses do ano, conforme gráfico 6.

Gráfico 6 – Comparativo entre a geração de energia e o consumo anual.



Fonte: O autor.

A estimativa inicial de geração de energia considerado neste estudo leva em consideração a potência CC igual a potência CA e uma irradiância de 1000W/m². Sendo a soma da potência total CC contabilizada para a estimativa de geração de energia. A energia gerada que é ceifada no inversor devido ao seu sobrecarregamento está considerada na definição do Performance Ratio de 75% .

A concepção de um sobrecarregamento de aproximadamente 12% se deve da indisponibilidade de obtenção um ângulo ótimo de inclinação para um melhor aproveitamento e eficiência do sistema.

3.6 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Os módulos escolhidos e adotados para o dimensionamento do projeto apresentam as características técnicas na figura 29 e 30:

Figura 29 – Especificações mecânicas do módulo fotovoltaico.



NEW

CanadianSolar

HiKu
SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE
425 W ~ 440 W
 CS3W-425 | 430 | 435 | 440P (IEC1000 V)
 CS3W-425 | 430 | 435 | 440P (IEC1500 V)

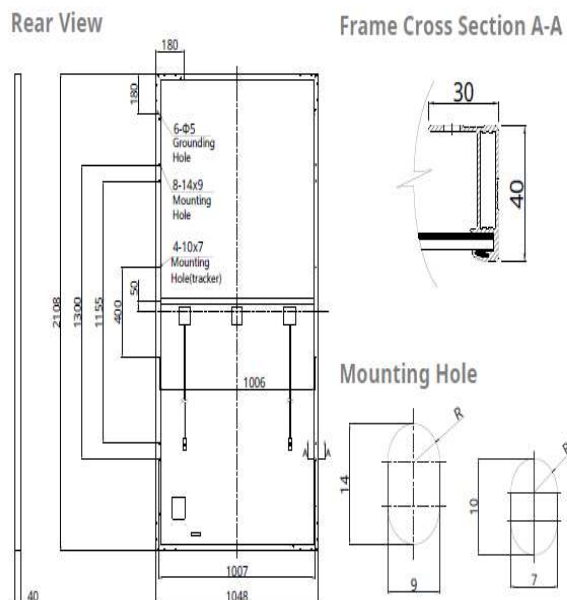
MORE POWER

-  24 % higher power than conventional modules
-  Up to 4.5 % lower LCOE
Up to 2.7 % lower system cost
-  42°C Low NMOT: 42 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax): -0.37 % / °C

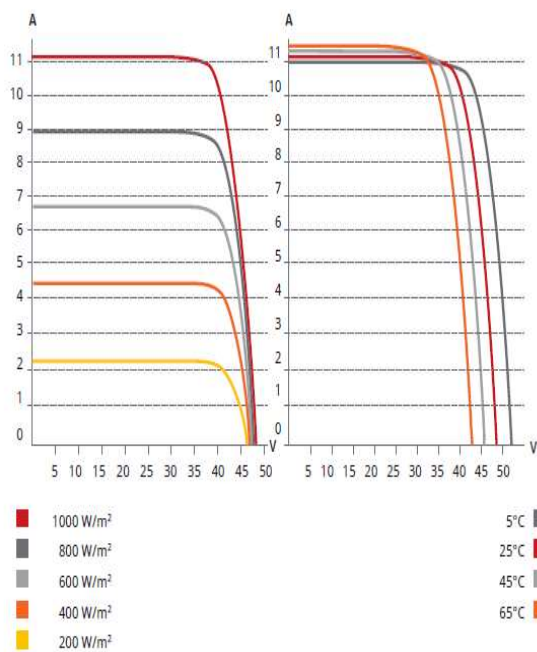
25 years linear power output warranty*

12 years enhanced product warranty on materials and workmanship*

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3W-420P / I-V CURVES



Fonte: Canadian Solar (2021)

Figura 30 – Especificações elétricas Módulo fotovoltaico.

ELECTRICAL DATA | STC*

CS3W	425P	430P	435P	440P
Nominal Max. Power (Pmax)	425 W	430 W	435 W	440 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	39.7 V	39.9 V	40.1 V	40.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.71 A	10.78 A	10.85 A	10.92 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.2 V	48.4 V	48.6 V	48.7 V
Short Circuit Current (Isc)	11.29 A	11.32 A	11.35 A	11.4 A
Module Efficiency	19.24%	19.46%	19.69%	19.92%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	20 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C. Measurement uncertainty: ±3 % (Pmax).

Fonte: Canadian Solar (2021)

Sendo que em condições de STC, normais de ensaio, tem-se a tensão de Circuito Aberto Voc de 48,7V.

Desta maneira, é possível iniciar a definição do modelo dos inversores fotovoltaicos. Sendo que foram escolhidos os modelos da fabricante Growatt, em 3 diferentes potências, visando uma melhor divisão entre as Strings e aproveitamento das MPPTs.

O inversor definido como padrão possui potência de saída de 75kW, sendo necessária a utilização de 6 modelos iguais. O mesmo possui as características técnicas na Figura 31:

Figura 31 – Especificações técnicas inversor 75kW.



Código: 73047-3

**INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO ON GRID GROWATT
(73047-3)**

MAX75KTL3-LV 75KW TRIFASICO 380V 7MPPT 14 ENTRADAS
MONITORAMENTO

R\$ 38.729,00

PREÇO SUGERIDO AO CONSUMIDOR FINAL

Múltiplo: 1 UNIDADE(S)

Origem: 6-IMPORTAÇÃO DIRETA, SEM SIMILAR NACIONAL, CONSTANTE
EM LISTA DE RESOLUÇÃO CAMEX

Ficha de dados	MAX 75KTL3 LV
Dados de entrada	
Máxima potência CC	112500W
Máxima tensão de CC	1100V
Tensão de partida	250V
Faixa de tensão MPPT	195V-1000V
Tensão nominal	600V
Máxima corrente de entrada por string	25A
Número de MPPT independentes / strings por MPPT	7/2
Saída (CA)	
Potência nominal de saída CA	75000W
Máxima Potência aparente de CA	83300VA
Máxima corrente de saída	120.8A
Tensão nominal CA	220V/380V
Frequência de grade CA	50Hz/60Hz
Factor de potência	0.8f-0.8c
THDi	< 3%
Tipo de conexão de rede CA	3W+N+PE
Eficiência	
Máxima eficiência	98.8%
Eficiência europeia	98.3%
Eficiência MPPT	99.9%
Dispositivos de proteção	
Proteção de polaridade reversa CC	sim
Interruptor CC	sim
Proteção contra surtos CC	Tipo II
Monitoramento de falta à terra	sim
Proteção contra curto-circuito de saída	sim
Proteção contra surtos de CA	Tipo II
Monitoramento de falta de string	sim
Proteção anti-PID	opcional
Dados Gerais	
Dimensões (L/A/P)	860/600/300mm
Peso	82kg
Faixa de temperatura operacional	-25°C ... +60°C
Auto-consumo à noite	< 1W*
Topologia	Sem transformador
Forma de refrigeração	Restrição inteligente
Grau de proteção ambiental	IP65
Altitude	4000m
Humidade relativa	0-100%
Características	
Exibição	LED/WIFI+APP
Interfaces:USB/R485/ Wifi	Sim/ Sim/ Sim
Garantia: 5 anos	Sim

Fonte: Growatt (2021)

Para potencializar a potência instalada e reduzir o custo com inversores, na complementação das áreas de módulos a serem instalados, foi possível reduzir em alguns pontos os inversores. Sendo previsto outros 2 modelos de 60kWp e 1 modelo de 30kWp. Ambos com as características técnicas apresentadas nas Figuras 32 e 33 respectivamente.

Figura 32 – Especificações técnicas inversor 60kW.

Ficha de dados	MAC 60KTL3-X LV
Dados de entrada	
Máx. potência CC	90000W
Máxima tensão de CC	1100V
Tensão de partida	250V
Tensão nominal	600V
Faixa de tensão FV	200V-1000V
Tensão CC de carga total	600V-850V
Máx. corrente de entrada por MPPT	50A/50A/50A
Número de MPPT independentes / strings por MPPT	3/4+4+4
Dados de saída (CA)	
Potência nominal de saída CA	60000W
Potência aparente máxima de CA	66600VA
Tensão nominal de saída	220V/380V
Frequência de rede CA	50/60 Hz
Corrente máxima de saída	96.6A
Fator de potência	0.8i-0.8c
THDI	<3%
Tipo de conexão da rede CA	3W+N+PE

Fonte: Growatt (2021)

Figura 33 – Especificações técnicas inversor 30kW.

Ficha de dados	MID 25KTL3-X1	MID 30KTL3-X	MID 33KTL3-X	MID 36KTL3-X	MID 40KTL3-X
Dados de entrada					
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para módulo STC)	37500W	45000W	49500W	54000W	60000W
Máxima tensão CC			1100V		
Tensão de partida			250V		
Faixa de tensão MPPT/tensão nominal			600V		
Faixa de tensão MPPT			180-1000V		
Número de MPP trackers	3	3	3	4	4
Número de Strings por MPP tracker			2		
Máxima corrente de entrada por MPP tracker			26A		
Máxima corrente de curto-circuito por MPP tracker			32A		
Saída					
Máxima potência nominal CA	25000W	30000W	33000W	36000W	40000W
Máxima potência aparente CA	27700VA	33300VA*	36600VA	39600VA	44000VA
Tensão nominal CA			220V/380V (340-440V)		
Frequência da rede CA			50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)		
Máxima corrente de saída	40A	50.5A	55.5A	60.0A	66.6A
Fator ajustável de potência			0.8leading...0.8lagging		
THDI			<3%		
Tipo de conexão da rede CA			3W + N + PE		
Eficiência					
Máxima eficiência			98.8%		
Eficiência europeia			98.5%		
Eficiência MPPT			99.9%		

Fonte: Growatt (2021)

Com os modelos de inversores, foi possível realizar a divisão dos módulos fotovoltaicos e elaborar o arranjo entre as strings.

A divisão entre os inversores, sua respectiva potência de entrada, saída, e a potência da rede CC com a quantidade de módulos fotovoltaicos total, pode ser observada na tabela 4:

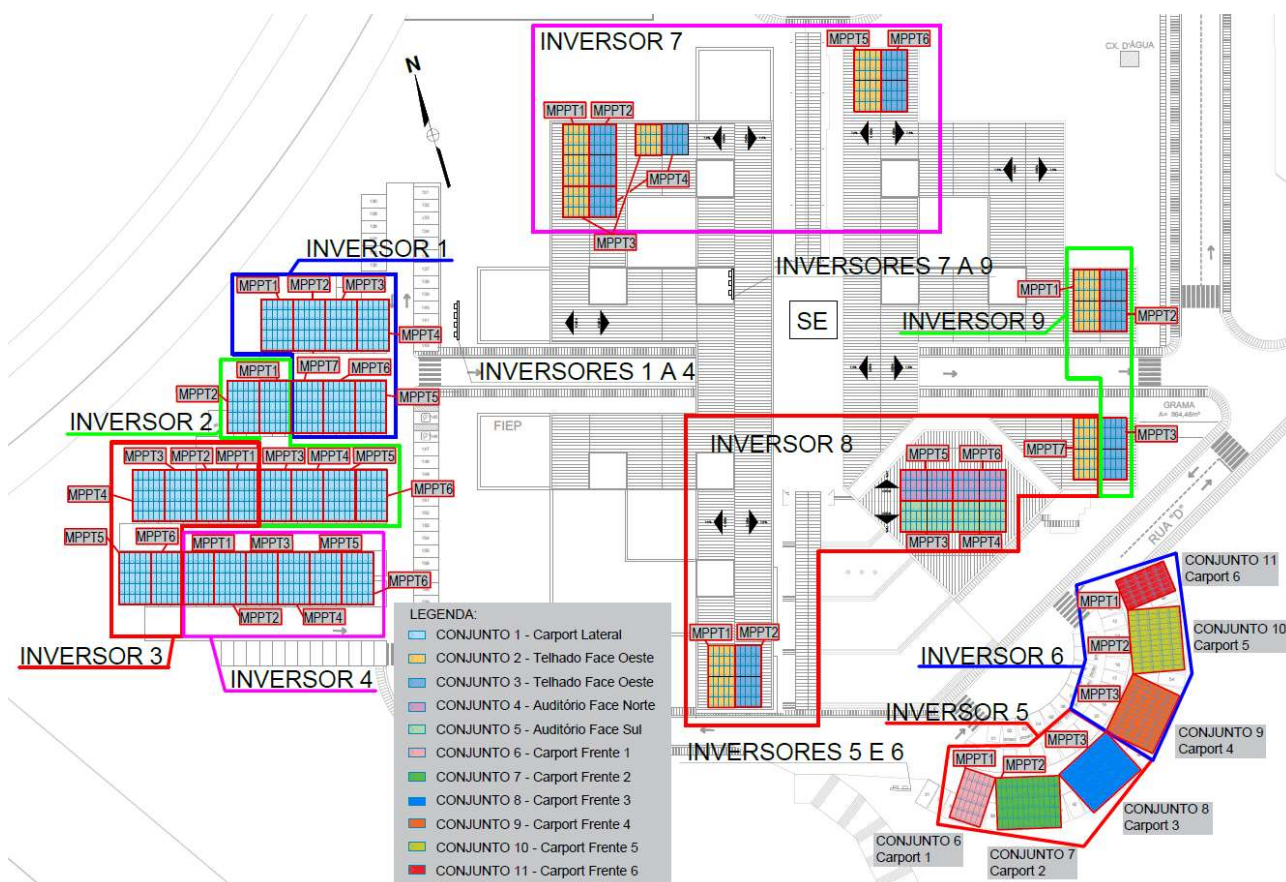
Tabela 3 – Relação de potência de entrada por inversor

Inversor	Potência Módulos Fotovoltaicos(kWp)	Máxima Potência de Entrada (kW)	Potência Saída (kW)
Inversor 1	92,4	112,5	75
Inversor 2	79,2	112,5	75
Inversor 3	79,2	112,5	75
Inversor 4	79,2	112,5	75
Inversor 5	66	90	60
Inversor 6	66	90	60
Inversor 7	79,2	112,5	75
Inversor 8	92,4	112,5	75
Inversor 9	39,6	45	30
TOTAL	673,2	894,9	600

Fonte: O autor

A sobreposição entre os conjuntos de simulação de geração com a divisão dos inversores e suas respectivas MPPTs pode ser observada no Figura 34:

Figura 34 – Layout Final Módulos Fotovoltaicos

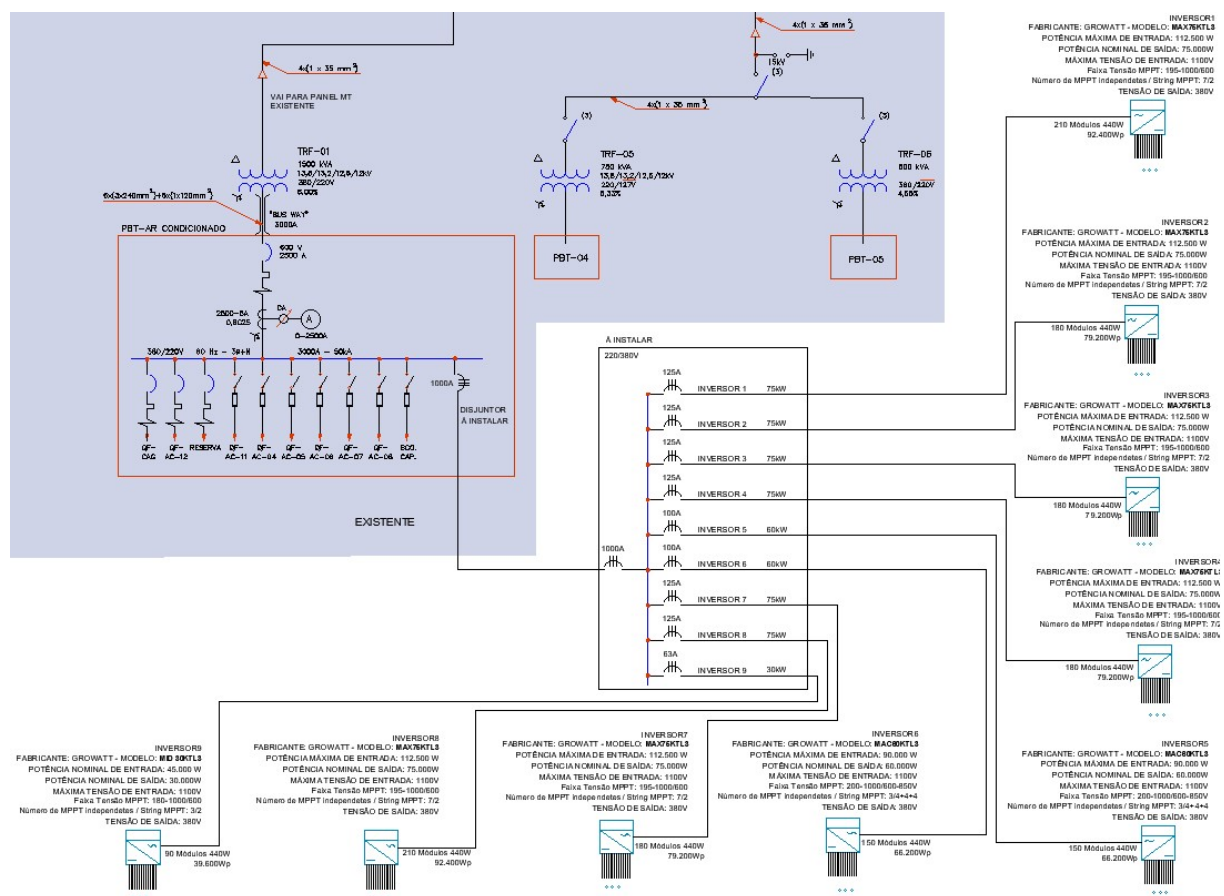


Fonte: O Autor

Através da avaliação do número de MPPTs, Strings, tensão nominal por string, chegou-se na divisão de 9 inversores. Estes interligam a rede CA até um quadro geral de geração de energia, a ser instalado próximo à subestação principal da unidade. Este quadro possuirá um disjuntor geral de 1000A tipo Caixa Aberta, similar a outros disjuntores existentes na subestação. A alimentação deste disjuntor geral derivará do PGBT-AR CONDICIONADO, pois se trata de um Painel Geral de Baixa Tensão exclusivo para o sistema de Ar Condicionado. Sendo este a principal carga da unidade e que possui um transformador exclusivo de 1500kVA com secundário já em 220/380V. Portanto não será necessário transformadores para reduzir a tensão na saída CA dos inversores, conforme algumas instalações exigem para atendimento a rede 127/220V.

O diagrama geral da instalação do sistema fotovoltaico foi desenvolvido, e a sua representação até os inversores está indicada na Figura 35.

Figura 35 – Diagrama unifilar geral simplificado.

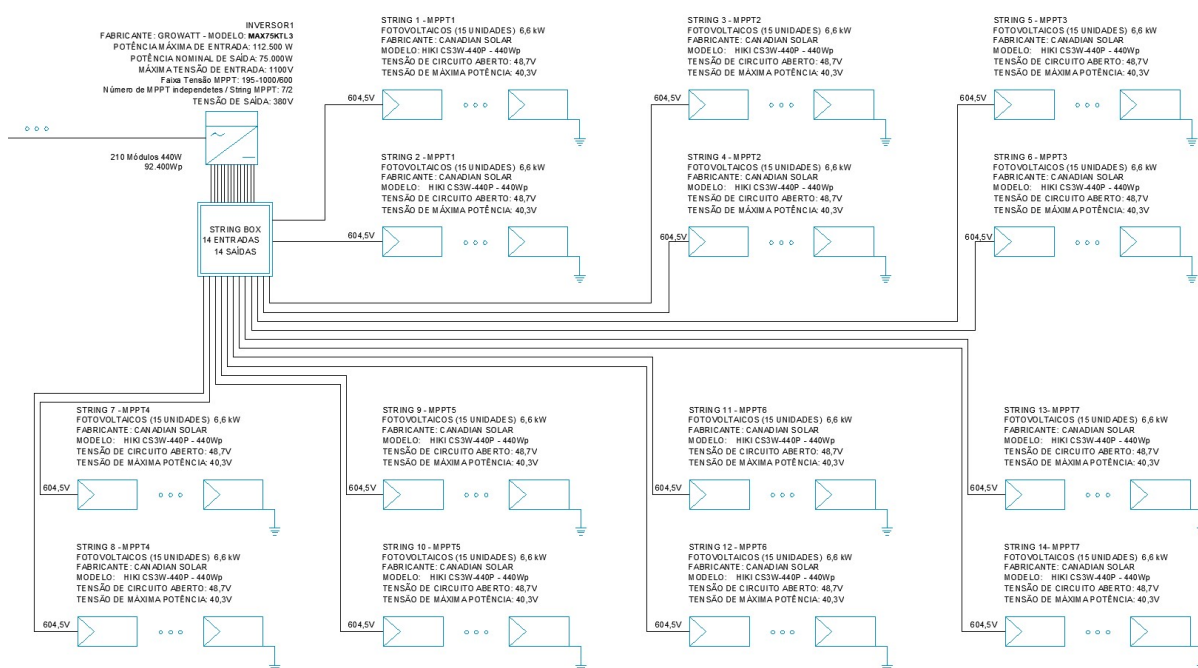


Fonte: O autor.

A partir dos inversores, foi representada as strings, onde foi padronizado conjuntos de 15 módulos fotovoltaicos por String, somando 6.600W cada String, e tensão CC de 610,5V.

O diagrama de ligação dos Inversores 1 e 8 são iguais, com o mesmo número de módulos, potência de entrada na parte CC, número de strings e MPPTs. E pode ser observado na Figura 36.

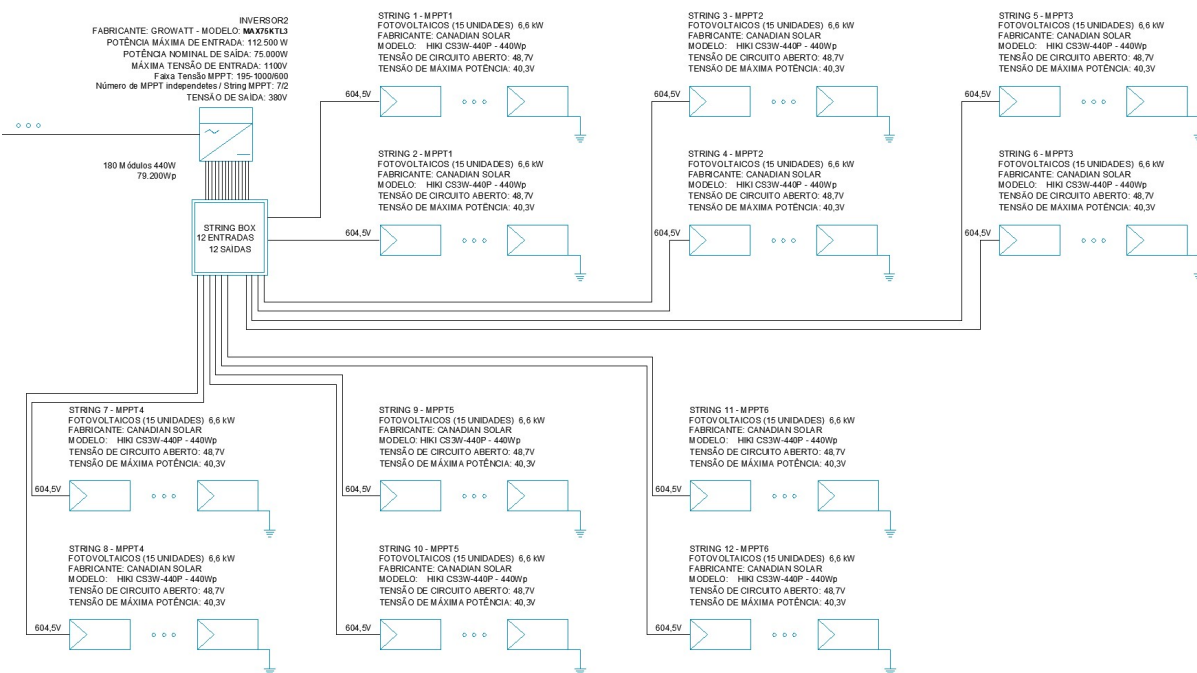
Figura 36 – Diagrama unifilar inversores 1 e 8.



Fonte: O autor.

Os inversores 2, 3, 4 e 7 de 75kW de potência de saída possuem as mesmas características e o mesmo esquema de ligação e estão representados na Figura 37.

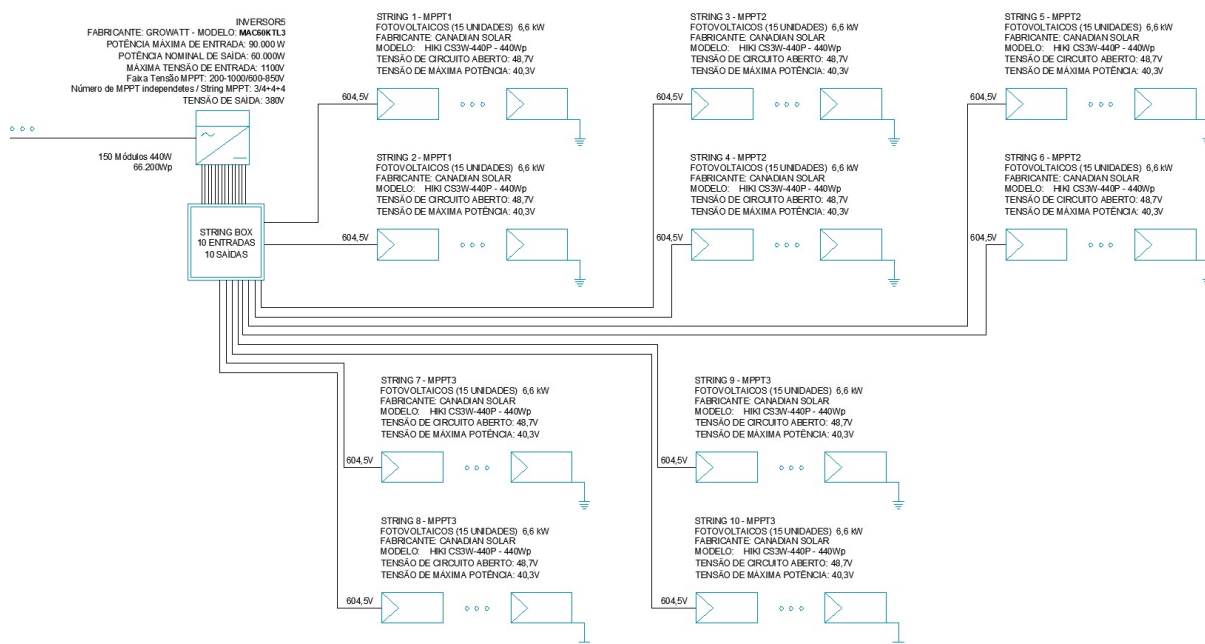
Figura 37 – Diagrama unifilar inversores 2, 3, 4 e 7.



Fonte: O autor.

Os inversores 5 e 6 de 60kW de potência de saída, tem a mesma topologia e o seu diagrama é igual, conforme apresentado na Figura 38.

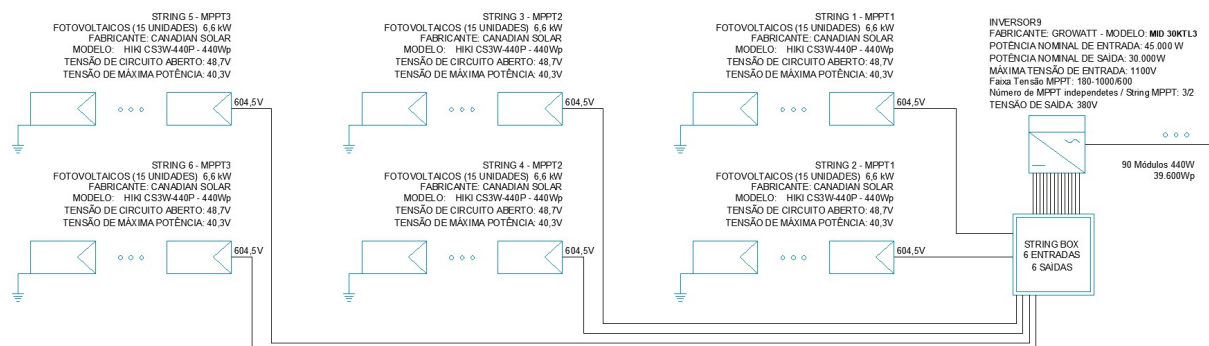
Figura 38 – Diagrama unifilar inversores 5 e 6.



Fonte: O autor.

O inversor 9 de 30kW de potência de saída, possui o seu esquema de ligação conforme Figura 39.

Figura 39 – Diagrama unifilar inversor 9.



Fonte: O autor.

Os critérios de dimensionamento para atender a Tensão Máxima por String, tensão de máxima potência e máxima corrente por inversor é observada na tabela 5.

Tabela 4 – Critérios de Dimensionamento

Inversor	MPPTs Disponível Inversor	MPPTs Utilizado	Strings Disponíveis por MPPT	Strings utilizados/ MPPT	Módulos por String	Tensão máxima CC Inversor (V)	Tensão Máxima String (V)	Range Tensão CC Inversor - Mín, recomendado e máx (V)	Tensão de Máxima Potência (V)	Máxima Corrente entrada Inversor MPPT (A)	Corrente máxima MPPT (A)
Inversor 1 (75kW)	7	7	2	2	15	1100	730,5	(195-600-1000)	604,5	25	21,84
Inversor 2 (75kW)	7	6	2	2	15	1100	730,5	(195-600-1000)	604,5	25	21,84
Inversor 3 (75kW)	7	6	2	2	15	1100	730,5	(195-600-1000)	604,5	25	21,84
Inversor 4 (75kW)	7	6	2	2	15	1100	730,5	(195-600-1000)	604,5	25	21,84
Inversor 5 (60kW)	3	3	4	4	15	1100	730,5	(200-600-1000)	604,5	50	43,68
Inversor 6 (60kW)	3	3	4	4	15	1100	730,5	(200-600-1000)	604,5	50	43,68
Inversor 7 (75kW)	7	6	2	2	15	1100	730,5	(195-600-1000)	604,5	25	21,84
Inversor 8 (75kW)	7	7	2	2	15	1100	730,5	(195-600-1000)	604,5	25	21,84
Inversor 9 (30kW)	3	3	2	2	15	1100	730,5	(180-600-1000)	604,5	26	21,84

Fonte: O autor

Para complementar o estudo do sistema fotovoltaico, foi elaborado o dimensionamento dos condutores CC, de acordo com os critérios de dimensionamento da NBR5410 e apresentada por Urbanetz Jr (2015), de acordo com a Equação 3.

$$S_{cond} = \left(\frac{2 \times l \times P \times 0,0178}{V^2 \times \Delta V} \right) * 100 = \left(\frac{2 \times l \times I \times 0,0178}{V \times \Delta V} \right) * 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

l – comprimento do condutor CC (m);

P – Potência total do circuito CC (Wp);

V - Tensão no Barramento CC (V);

ΔV - Queda de tensão admitida (%);

I - Corrente de curto circuito no barramento CC (A);

A queda de tensão admitida para os circuitos CC é de 3%. Com a aplicação da Equação 3 obtêm-se a Tabela 6, com o dimensionamento da String típica de cada inversor.

Tabela 5 – Dimensionamento Condutores CC

Inversor	Potência por String (W)	Distância CC (m)	Tensão Barramento CC (V)	Corrente Total Circuito CC (A)	Cabo CC Mínimo mm ²	Cabo CC Utilizado mm ²
Inversor 1	6600	100	604,5	13,69	2,6	4
Inversor 2	6600	110	604,5	13,69	2,9	4
Inversor 3	6600	160	604,5	13,69	4,2	6
Inversor 4	6600	150	604,5	13,69	4	6
Inversor 5	6600	70	604,5	13,69	1,9	4
Inversor 6	6600	90	604,5	13,69	2,4	4
Inversor 7	6600	120	604,5	13,69	3,2	4
Inversor 8	6600	130	604,5	13,69	3,4	4
Inversor 9	6600	140	604,5	13,69	3,7	4

Fonte: O Autor

O dimensionamento dos circuitos CA foi utilizado cálculo semelhante, onde os parâmetros são adequados conforme o tipo de tensão e representados na Equação 4.

$$S_{cond} = \left(\frac{2 \times l \times P \times 0,0178}{V^2 \times \Delta V} \right) * 100 = \left(\frac{2 \times l \times I \times 0,0178}{V \times \Delta V} \right) * 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

l – comprimento do condutor CA (m);

P – Potência CA do Inversor (W);

V - Tensão no Barramento CA (V);

ΔV - Queda de tensão admitida (%);

I - Corrente do circuito CA (A);

A queda de tensão admitida para os circuitos CA é de 4%. Com a aplicação da Equação 4 obtêm-se a Tabela 7, com o dimensionamento do circuito trifásico de cada inversor.

Tabela 6 – Dimensionamento Condutores CA

Inversor	Potência CA Inversor (kW)	Distância CA (m)	Tensão Barramento CA (V)	Corrente Total Circuito CA (A)	Cabo Mínimo CA - mm ²	Cabo CA Utilizado - mm ²
Inversor 1	75	90	380	114,09	41,6	50
Inversor 2	75	90	380	114,09	41,6	50
Inversor 3	75	90	380	114,09	41,6	50
Inversor 4	75	90	380	114,09	41,6	50
Inversor 5	60	160	380	91,26	59,2	70
Inversor 6	60	160	380	91,26	59,2	70
Inversor 7	75	60	380	114,09	27,7	35
Inversor 8	75	60	380	114,09	27,7	35
Inversor 9	30	60	380	45,63	11,1	16

Fonte: O Autor

3.7 ESTIMATIVA DE CUSTOS E VIABILIDADE FINANCEIRA

3.7.1 Estimativa de Custo

Após a elaboração do projeto básico, e o dimensionamento dos principais componentes, é possível obter a estimativa de orçamento e investimento para a execução do sistema fotovoltaico. Prever a expectativa de economia com a geração de energia e prazo de rentabilidade para o projeto.

Inicialmente foi elencado os principais componentes e materiais necessários para a execução, em relação ao projeto básico. Os quantitativos, itens, e especificações deverão ser melhor detalhados com a elaboração do projeto executivo.

Visando a maior assertividade na estimativa de valor para o projeto, foi elencado separadamente itens de material e mão de obra, onde foi utilizado valores de mercado atualizados e preços de bancos de referência SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil da Caixa Econômica Federal

para a mão de obra. Foi considerado um BDI de 25% que abrange o lucro do construtor, impostos e demais custos conforme orientações dos acórdãos do Tribunal de Contas da União vigentes. A estimativa de custo da implementação do projeto inicial está apresentado na Tabela 8.

Tabela 7 – Estimativa de investimento

Estimativa Investimento			
	Valor Unitário	Quantidade	Valor Total
Materiais e Equipamentos:			
Módulos	R\$ 1.359,00	1530	R\$ 2.079.270,00
Inversor 75kW	R\$ 38.729,00	6	R\$ 232.374,00
Inversor 60kW	R\$ 23.919,00	2	R\$ 47.838,00
Inversor 30kW	R\$ 22.290,00	1	R\$ 22.290,00
String Box	R\$ 4.000,00	9	R\$ 36.000,00
Estrutura Metálica Carports	R\$ 23.000,00	34	R\$ 782.000,00
Estrutura metálica telhado	R\$ 3.000,00	20	R\$ 60.000,00
Infraestrutura Elétrica	R\$ 150.000,00	1	R\$ 100.000,00
Valas e Eletrodutos	R\$ 50.000,00	1	R\$ 50.000,00
Quadros Elétricos	R\$ 150.000,00	1	R\$ 150.000,00
Condutores	R\$ 100.000,00	1	R\$ 150.000,00
Mobilização Canteiro	R\$ 50.000,00	1	R\$ 50.000,00
Infraestrutura Civil	R\$ 300.000,00	1	R\$ 300.000,00
Mão de obra:	hora/homem	Quantidade	
Engenheiro Eletricista	R\$ 93,32	180	R\$ 16.797,60
Engenheiro Civil	R\$ 106,48	180	R\$ 19.166,40
Coordenador de Obra	R\$ 135,45	480	R\$ 65.016,00
Eletrotécnico	R\$ 31,05	480	R\$ 14.904,00
Eletricista	R\$ 26,06	1440	R\$ 37.526,40
Auxiliar Eletricista	R\$ 19,87	1920	R\$ 38.150,40
Pedreiro	R\$ 25,83	1440	R\$ 37.195,20
Auxiliar Pedreiro	R\$ 19,91	1920	R\$ 38.227,20
			R\$ 4.326.755,20

BDI	25%
-----	-----

TOTAL	R\$ 5.408.444,00
--------------	-------------------------

Fonte: O autor

A previsão de durabilidade dos módulos fotovoltaicos é de 25 anos. Por este motivo, estima-se que o sistema fotovoltaico tenha a vida útil similar a este prazo.

Entretanto, os inversores possuem uma vida útil menor, de aproximadamente metade deste prazo. Por este motivo, foi previsto a troca de todos os inversores, em 12 anos e 6 meses a partir da sua instalação. O Custo específico dos inversores no projeto inicial é de R\$ 302.502,00. Considerando o índice IPCA que no ano de 2021 acumula 8,5%, sendo esta a taxa anual considerada para os 12 anos, o valor projetado é de R\$742.087,93, exemplificados na tabela 9.

Tabela 8 – Estimativa de troca dos inversores

Troca Inversores com 12,5 Anos			
Ano 1	Inversores 2022	R\$	302.502,00
Ano 12	Inversores 2034	R\$	742.087,93

Fonte: O autor

3.7.2 Estimativa de Faturamento

Avaliando a fatura da concessionária de energia com a referida Unidade Consumidora, é possível observar o valor da energia paga Fora de Ponta com impostos no valor de R\$0,524084 por kWh. Conforme figura 40.

Não foi considerado a incidência de impostos, ICMS e demais tributos da fatura e compensação de energia, pois o sistema fotovoltaico projetado supre menos de 50% do consumo de energia elétrica, sendo que praticamente toda a energia gerada é consumida pelas cargas, com exceção dos finais de semana e feriados, períodos de baixa atividade da unidade.

Figura 40 – Fatura de energia da Unidade Campus da Indústria

EXTRATO DE FATURAMENTO - TARIFA HORARIA VERDE

Emitida em 03/08/2021

Informações Técnicas

Mês/Ano Consumo/Usado do Sistema: 08/2021

Data de Emissão06/08/2021

Data Real Leit Atual31/07/2021

Data Real Leit Anterior30/06/2021

Data Provável Prox Leitura01/09/2021

Comerc/Ativ Assoc de Defesa Direito Sociais

Perdas de Transformação: 0%

Rel. Transform. Corrente: 75/5

Rel. Transform. Potencial: 13800/115

EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

SAG 1681HCkWkWhkvarh

Medidor002760089900276008990027600899

Constante2.160000.540000.540000

Constante Excedente Reativo kW/kWh0.54000

Grandezas e Valores para Faturamento

Produto	Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Contratado	Faturado	Tarifa	Total
ENERGIA ELET CONSUMO PTA	577713	587985	5546,00		5546,00	2,045454	11.344,09
ENERGIA ELET CONSUMO F PTA	4536946	4630111	50309,00		50309,00	0,524084	26.366,13
ENERGIA REAT EXC F PONTA	144146	144364	117,00		117,00	0,422991	49,49
DEMANDA	131	111	239,76	600,00	239,76	24,991867	5.992,05
DEMANDA ISFNTA ICMS					360,24	17,744309	6.392,21
ENERGIA CONS. B. VERMELHA P2							7.762,21
ENERGIA ELETRICA CONSUMO	5114659	5218096	55855,00				
ENERGIA REAT EXC PONTA	6090	6090	0,00				
ENER. REAT. INDUTIVA	2194138	2229861	19290,00				

Fonte: Agência Virtual COPEL

O reajuste na tarifa de energia possui um histórico de aumento anual de 10% de acordo com os valores disponibilizados pela própria concessionária.

Portanto, ao aplicar o valor de reajuste anual na tarifa, e considerando a expectativa de geração de energia de cada mês, obteve-se a Tabela 10, com a estimativa de economia financeira mensal.

Tabela 9 – Estimativa de economia mensal em 25 anos.

Ano da Instalação	Jan (R\$)	Fev (R\$)	Mar (R\$)	Abr (R\$)	Mai (R\$)	Jun (R\$)	Jul (R\$)	Ago (R\$)	Set (R\$)	Out (R\$)	Nov (R\$)	Dez (R\$)
Ano 01	44.310,51	38.302,91	37.862,06	30.974,94	26.101,34	22.969,55	24.913,04	32.838,02	31.083,27	36.360,93	41.632,49	45.561,70
Ano 02	48.741,56	42.133,20	41.648,27	34.072,43	28.711,47	25.266,50	27.404,35	36.121,82	34.191,60	39.997,02	45.795,74	50.117,87
Ano 03	53.615,72	46.346,52	45.813,09	37.479,67	31.582,62	27.793,16	30.144,78	39.734,00	37.610,76	43.996,72	50.375,32	55.129,66
Ano 04	58.977,29	50.981,18	50.394,40	41.227,64	34.740,88	30.572,47	33.159,26	43.707,40	41.371,83	48.396,40	55.412,85	60.642,62
Ano 05	64.875,02	56.079,29	55.433,84	45.350,40	38.214,97	33.629,72	36.475,19	48.078,14	45.509,02	53.236,03	60.954,13	66.706,88
Ano 06	71.362,52	61.687,22	60.977,23	49.885,45	42.036,47	36.992,69	40.122,70	52.885,96	50.059,92	58.559,64	67.049,55	73.377,57
Ano 07	78.498,78	67.855,94	67.074,95	54.873,99	46.240,11	40.691,96	44.134,98	58.174,55	55.065,91	64.415,60	73.754,50	80.715,33
Ano 08	86.348,66	74.641,54	73.782,45	60.361,39	50.864,13	44.761,15	48.548,47	63.992,01	60.572,50	70.857,16	81.129,95	88.786,86
Ano 09	94.983,52	82.105,69	81.160,69	66.397,53	55.950,54	49.237,27	53.403,32	70.391,21	66.629,75	77.942,88	89.242,95	97.665,55
Ano 10	104.481,87	90.316,26	89.276,76	73.037,28	61.545,59	54.161,00	58.743,65	77.430,33	73.292,73	85.737,17	98.167,24	107.432,10
Ano 11	114.930,06	99.347,89	98.204,43	80.341,01	67.700,15	59.577,10	64.618,02	85.173,37	80.622,00	94.310,88	107.983,97	118.175,31
Ano 12	126.423,07	109.282,68	108.024,88	88.375,11	74.470,17	65.534,81	71.079,82	93.690,70	88.684,20	103.741,97	118.782,36	129.992,84
Ano 13	139.065,37	120.210,94	118.827,37	97.212,62	81.917,18	72.088,29	78.187,80	103.059,77	97.552,62	114.116,17	130.660,60	142.992,13
Ano 14	152.971,91	132.232,04	130.710,10	106.933,88	90.108,90	79.297,12	86.006,58	113.365,75	107.307,88	125.527,79	143.726,66	157.291,34
Ano 15	168.269,10	145.455,24	143.781,11	117.627,27	99.119,79	87.226,83	94.607,24	124.702,32	118.038,67	138.080,56	158.099,33	173.020,47
Ano 16	185.096,01	160.000,77	158.159,22	129.390,00	109.031,77	95.949,51	104.067,96	137.172,56	129.842,54	151.888,62	173.909,26	190.322,52
Ano 17	203.605,61	176.000,84	173.975,15	142.329,00	119.934,95	105.544,46	114.474,76	150.889,81	142.826,79	167.077,48	191.300,19	209.354,77
Ano 18	223.966,17	193.600,93	191.372,66	156.561,90	131.928,44	116.098,91	125.922,24	165.978,79	157.109,47	183.785,23	210.430,20	230.290,25
Ano 19	246.362,79	212.961,02	210.509,93	172.218,09	145.121,29	127.708,80	138.514,46	182.576,67	172.820,42	202.163,75	231.473,22	253.319,28
Ano 20	270.999,07	234.257,12	231.560,92	189.439,90	159.633,42	140.479,68	152.365,90	200.834,34	190.102,46	222.380,13	254.620,55	278.651,20
Ano 21	298.098,98	257.682,83	254.717,01	208.383,88	175.596,76	154.527,65	167.602,50	220.917,77	209.112,70	244.618,14	280.082,60	306.516,32
Ano 22	327.908,87	283.451,12	280.188,71	229.222,27	193.156,43	169.980,41	184.362,74	243.009,55	230.023,98	269.079,96	308.090,86	337.167,96
Ano 23	360.699,76	311.796,23	308.207,58	252.144,50	212.472,08	186.978,45	202.799,02	267.310,51	253.026,37	295.987,95	338.899,95	370.884,75
Ano 24	396.769,74	342.975,85	339.028,34	277.358,95	233.719,28	205.676,30	223.078,92	294.041,56	278.329,01	325.586,75	372.789,94	407.973,23
Ano 25	436.446,71	377.273,44	372.931,18	305.094,85	257.091,21	226.243,93	245.386,81	323.445,71	306.161,91	358.145,42	410.068,94	448.770,55

Fonte: O autor

Ao realizar a soma dos valores de economia mensal, obteve-se as previsões de economia média anual, acumulada em cada ano, e acumulada total. Observa-se na tabela 11 os valores, totais, onde o valor de economia total, ao longo de 25 anos,

está previsto em R\$ 40.608.559,57. Tais valores não estão contabilizados os investimentos.

Tabela 10 – Estimativa acumulada em 25 anos.

Ano da Instalação	Média Mensal Anual	Acumulado Ano	Acumulado Total
Ano 01	R\$ 34.409,23	R\$ 412.910,77	R\$ 412.910,77
Ano 02	R\$ 37.850,15	R\$ 454.201,84	R\$ 867.112,61
Ano 03	R\$ 41.635,17	R\$ 499.622,03	R\$ 1.366.734,63
Ano 04	R\$ 45.798,69	R\$ 549.584,23	R\$ 1.916.318,86
Ano 05	R\$ 50.378,55	R\$ 604.542,65	R\$ 2.520.861,51
Ano 06	R\$ 55.416,41	R\$ 664.996,92	R\$ 3.185.858,43
Ano 07	R\$ 60.958,05	R\$ 731.496,61	R\$ 3.917.355,04
Ano 08	R\$ 67.053,86	R\$ 804.646,27	R\$ 4.722.001,31
Ano 09	R\$ 73.759,24	R\$ 885.110,90	R\$ 5.607.112,20
Ano 10	R\$ 81.135,17	R\$ 973.621,99	R\$ 6.580.734,19
Ano 11	R\$ 89.248,68	R\$ 1.070.984,18	R\$ 7.651.718,37
Ano 12	R\$ 98.173,55	R\$ 1.178.082,60	R\$ 8.829.800,97
Ano 13	R\$ 107.990,91	R\$ 1.295.890,86	R\$ 10.125.691,84
Ano 14	R\$ 118.790,00	R\$ 1.425.479,95	R\$ 11.551.171,79
Ano 15	R\$ 130.669,00	R\$ 1.568.027,94	R\$ 13.119.199,73
Ano 16	R\$ 143.735,89	R\$ 1.724.830,74	R\$ 14.844.030,47
Ano 17	R\$ 158.109,48	R\$ 1.897.313,81	R\$ 16.741.344,28
Ano 18	R\$ 173.920,43	R\$ 2.087.045,19	R\$ 18.828.389,47
Ano 19	R\$ 191.312,48	R\$ 2.295.749,71	R\$ 21.124.139,19
Ano 20	R\$ 210.443,72	R\$ 2.525.324,68	R\$ 23.649.463,87
Ano 21	R\$ 231.488,10	R\$ 2.777.857,15	R\$ 26.427.321,02
Ano 22	R\$ 254.636,91	R\$ 3.055.642,87	R\$ 29.482.963,89
Ano 23	R\$ 280.100,60	R\$ 3.361.207,15	R\$ 32.844.171,04
Ano 24	R\$ 308.110,66	R\$ 3.697.327,87	R\$ 36.541.498,91
Ano 25	R\$ 338.921,72	R\$ 4.067.060,66	R\$ 40.608.559,57

Fonte: O autor

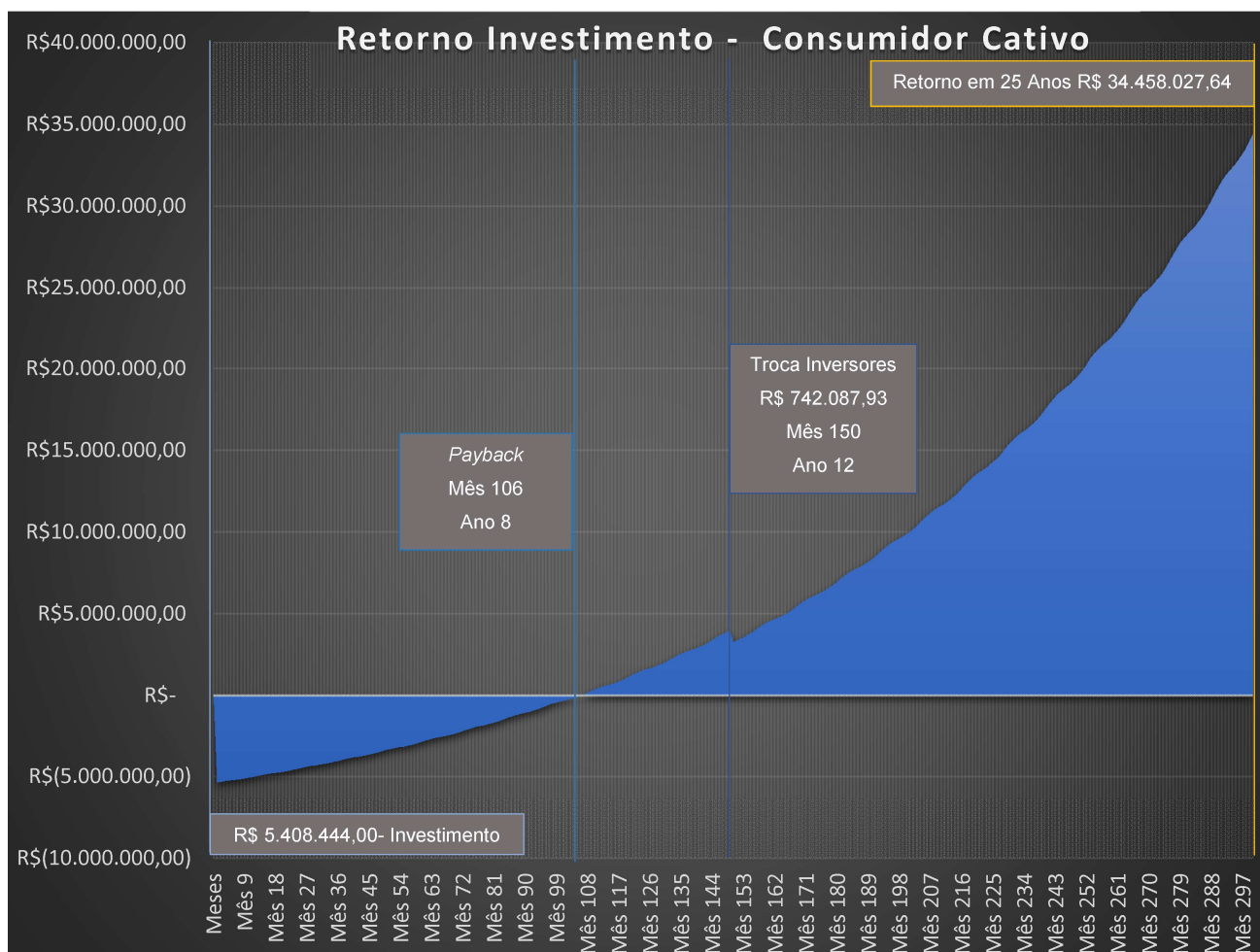
3.7.3 Estimativa de Retorno (*Payback*) – Consumidor Cativo

Ao realizar a diferença entre o valor investido e a expectativa de economia financeira, obteve-se a estimativa de retorno, ou seja, em quanto tempo em que a economia gerada pagaria o investimento inicial e a primeira troca de inversores. Assim como qual valor final seria economizado ao término da vida útil do sistema.

Com a previsão de investimento inicial de R\$ 5.408.444,00 no início do projeto e com a geração de energia mensal, o prazo de retorno do investimento é de 9 anos

e 4 meses. A partir deste momento o projeto teria pago o investimento inicial e sua rentabilidade financeira seria direta para a instituição.

Gráfico 7 – Estimativa de Retorno do Investimento em se mantendo Consumidor Cativo.



Fonte: O autor.

Devido a necessidade de troca dos inversores ao longo da vida útil, foi definido que no mês 150, aos 12 anos e 6 meses de sua instalação seria investido na troca total dos inversores, no valor de R\$ 742.087,93.

Resultando no retorno final em 25 anos um valor de R\$34.458.027,64. Conforme demonstrado no gráfico 7.

3.7.4 Estimativa de Retorno (*Payback*) – Consumidor Livre

Com o avanço na legislação para a possibilidade de migração de várias unidades consumidoras sob o mesmo CNPJ do Mercado Cativo para o Mercado Livre, a instituição Sistema FIEP estuda esta possibilidade, considerando também os critérios de legais no que se refere a auditorias e acórdãos de tribunais de contas e assim possibilitar as ações necessárias para este tipo de operação.

Umas das possibilidades é a migração através da modalidade varejista, onde toda a tramitação de compra e venda, negociação do PLD, representação na CCEE fica por conta da comercializadora.

Umas das propostas preliminares obtidas no mercado para esta unidade consumidora possui um valor de R\$463,49/MWh para o primeiro ano, e reduz gradualmente até o quinto ano de contrato.

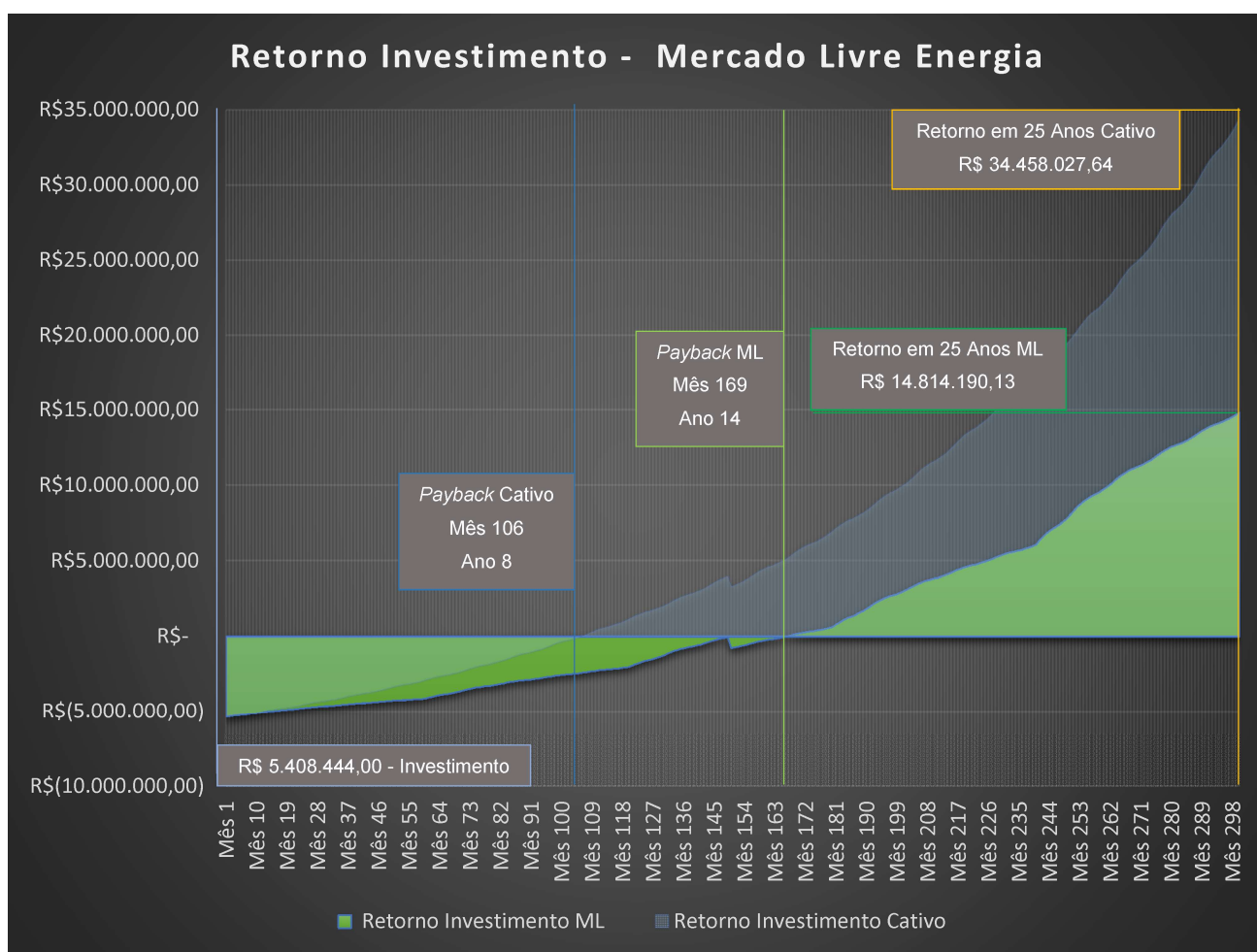
Com base nesse valor, foi adotando os reajustes do IPCA anual, definido em 8,5%, que representa a taxa atual. Sendo que após os 5 primeiros anos, prazo este válido da proposta do valor do MWh no ambiente de ML, foi adotada a proporção percentual do valor da energia no mercado cativo com o mercado livre, prevendo que seria realizada uma negociação a cada 5 anos o valor da energia.

Com os dados obtidos, foi possível estimar o retorno financeiro caso seja possível a migração para o mercado livre de energia.

O investimento inicial do projeto fotovoltaico seria o mesmo para o mercado cativo. No valor de R\$ 5.408.444,00.

Com a geração de energia prevista mensal, na condição do Mercado Livre, o prazo de retorno do investimento seria de 14 anos. A partir deste momento o projeto teria pago o investimento inicial e sua rentabilidade financeira seria direta para a instituição.

Gráfico 8 – Estimativa de Retorno do Investimento com a Migração para o Mercado Livre.



Fonte: O autor.

Foi mantido a necessidade de troca dos inversores no mesmo prazo, definido que no mês 150, aos 12 anos e 6 meses de sua instalação, e o valor se manteve em R\$ 742.087,93.

O resultado financeiro final, estimando uma vida útil de 25 anos será um valor de R\$14.814.190,13. Representado no Gráfico 8.

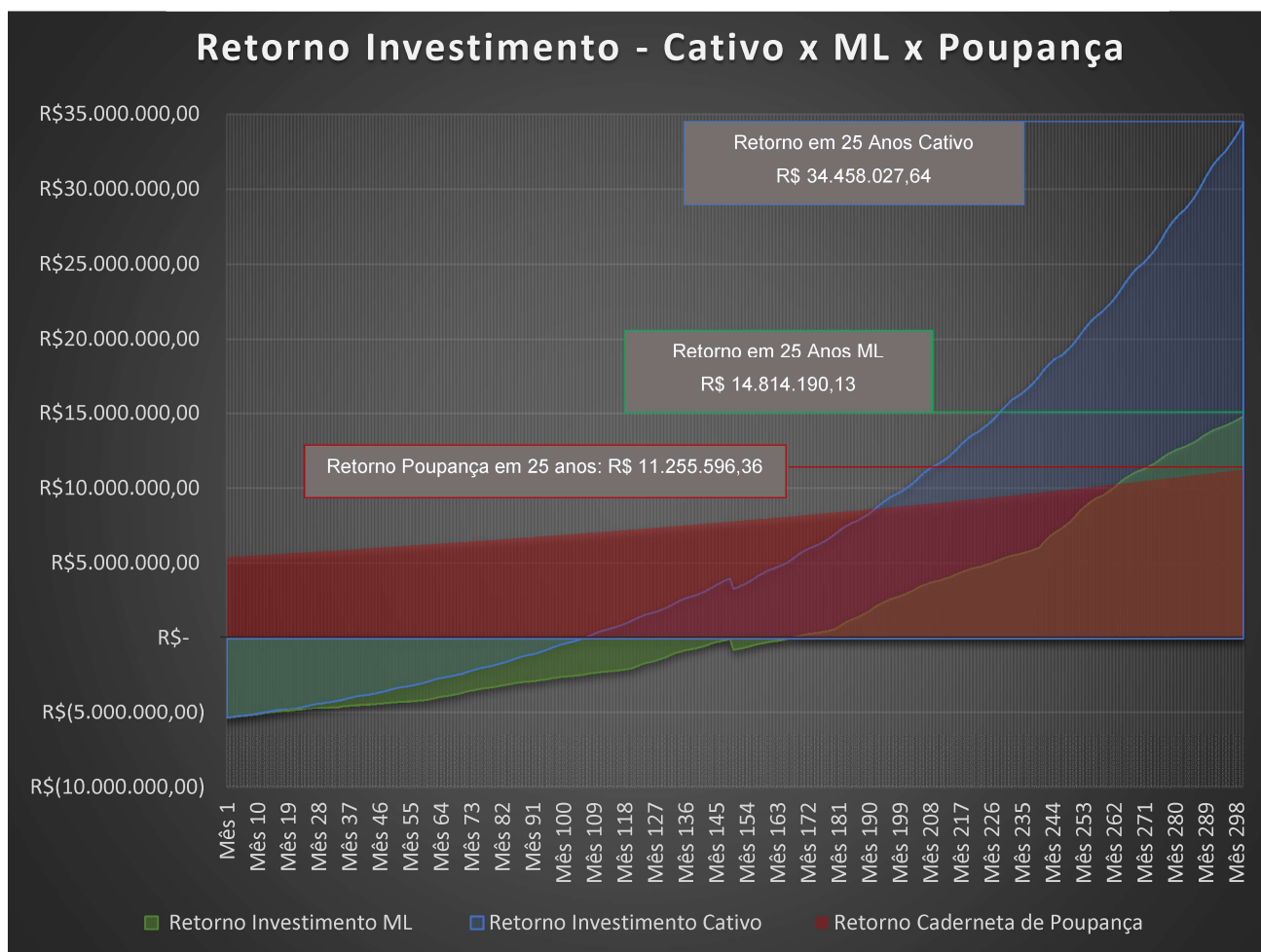
3.7.5 Estimativa de Retorno (*Payback*) – Comparativo Investimento Caderneta Poupança

Com o aporte inicial no valor de R\$ 5.408.444,00 foi realizada a simulação com a aplicação em na caderneta de poupança, sendo um tipo de investimento

conservador e tradicional no mercado financeiro. Conforme dados do Banco Central do Brasil (BACEN 2021) a taxa mensal em agosto de 2021 é de 0,24% ao mês.

O resultado financeiro final, estimando uma vida útil de 25 anos da aplicação na caderneta de poupança será um valor de R\$11.255.596,36.

Gráfico 9 – Comparação do Retorno do Investimento no Mercado Cativo, Livre e aplicação na Poupança .



Fonte: O autor.

A comparação entre o retorno do investimento na poupança e a estimativa do sistema fotovoltaico tanto para o mercado cativo quanto para o mercado livre, está representado no Gráfico 9.

3.8 RESUMO DO ESTUDO

Foi apresentado no Capítulo 03, o desenvolvimento para o estudo de viabilidade de implantação do projeto fotovoltaico proposto.

Observou-se o alto consumo energia e o padrão na utilização deste recurso.

A simulação da edificação apresentou as áreas disponíveis para a instalação do sistema fotovoltaico livre das áreas de sombreamento.

Com a definição de conjuntos dos módulos fotovoltaicos, foi realizada a simulação e expectativa de geração de energia elétrica, considerando o desvio azimutal e ângulo de inclinação para a instalação dos módulos fotovoltaicos.

Foi elaborado um projeto básico, com o dimensionamento dos principais componentes, inversores, módulos, condutores e proteções. Assim como o orçamento para a sua instalação.

Por fim foi realizada a estimativa do retorno financeiro para o investimento, considerando os cenários de tarifação do mercado cativo e para o mercado livre, assim como a comparação com a aplicação na caderneta de poupança.

4 CONCLUSÃO

Com o avanço tecnológico e o aumento da atividade econômica, e por consequência crescimento no consumo de energia na sociedade, se faz necessário o desenvolvimento de soluções e projetos utilizando fontes de energia renováveis.

Foi possível concluir que o consumo de energia na unidade Campus da Indústria do Sistema FIEP é significativo, e a implementação de soluções para reduzir o gasto em energia elétrica é necessário.

O objetivo do trabalho foi apresentar um estudo de viabilidade para a implantação de um sistema de geração elétrica fotovoltaica conectada à rede (SFVCR) na unidade consumidora Campus da Indústria.

Analizou-se a infraestrutura existente, áreas disponíveis, pontos de sombreamento, opções para a instalação dos módulos e todas as possíveis interferências para o projeto.

Com base no padrão de consumo e demanda da unidade, foi possível elaborar um estudo para um sistema fotovoltaico de 600kW, considerando a potência de saída dos inversores.

A perspectiva de geração fotovoltaica é que supra aproximadamente 47,43% do consumo de energia da unidade. Considerando o padrão de utilização conforme o uso de eletricidade de antes da pandemia de Covid19.

Neste cenário foi possível elaborar a expectativa de ganhos financeiros com a implementação do projeto. Com o valor do kWh de consumidor Cativo conforme é o sistema de tarifação atual, o tempo de *Payback* é estimado em 9 anos e 4 meses e o retorno de investimento em 25 anos de R\$31.050.299,06.

Caso ocorra uma possível migração para o ambiente de contratação de energia através do Mercado Livre, o tempo de retorno do investimento é de 14 anos, com previsão de retorno ao longo de 25 anos de R\$14.814.190,13.

Os custos das manutenções preventivas e limpeza regular dos módulos, não foram contabilizadas, pois estima-se utilizar as equipes internas existentes de manutenções para este escopo.

Portanto o estudo de viabilidade se mostrou satisfatório para a implementação e prosseguimento para a elaboração de um projeto executivo detalhado a fim de

avancar com a implementação do Sistema de Geração de Energia Solar Fotovoltaica Conectada À Rede.

Como sugestão para futuros trabalhos, é possível elaborar estudos de viabilidades com outras unidades do próprio Sistema FIEP. Elaborar comparativos de geração de energia fotovoltaica em municípios diferentes. Incluir outras fontes de energia como a eólica, Instalação de sistema híbridos com backup de energia, entre outros temas aderentes a energias renováveis.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10899**: Energia Solar Fotovoltaica, Terminologia. Norma Brasileira, 2006.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 11704**: Sistemas fotovoltaicos - Classificação. Rio de Janeiro, 2008.

ABSOLAR, **Infográfico Evolução Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>> Acessado em: 15/07/21.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração Distribuída, Micro e Minigeração Distribuídas**. Brasília, 2015. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>> Acesso em: 16/07/21.

ANEEL.AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 482**, de 17 de abril de 2012

ASSENHEIMER, O. Instalação de Sistema Fotovoltaico em Prédios Hospitalares: Estudo de Caso, TCC Especialização, UTFPR, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 10899**: Energia Solar Fotovoltaica, Terminologia. Norma Brasileira, 2006.

BUHLER, A.J.; SANTOS, F.H.; GABE, I. J. **Uma Revisão sobre as Tecnologias Fotovoltaicas Atuais**, VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 2018.

BLUESOL. **Módulo Fotovoltaico**. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/modulo-fotovoltaico/>> Acessado em: 10/07/2021.

ENGESOLL, **Módulo Solar Fotovoltaico Jinko 440W**, Disponível em: <<https://www.engesoll.com.br/painel-solar-fotovoltaico-jinko-440w>> Acessado em 22/06/21.

EPE, Balanço Energético Nacional 2021, Ano Base 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>> Acessado em: 04/07/2021

EPE Empresa de Pesquisa Energética, **Fontes de Energia**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>> Acessado em: 05/07/2021

EPE Empresa de Pesquisa Energética, **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>> Acessado em: 05/07/2021

GROWATT, **Inversor MAX**, Disponível em: <<https://www.ginverter.pt/show-42-588.html>> Acessado em 20/06/21.

PASSOS, E. F, **Análise de Viabilidade Técnica para Implantação de um Sistema Fotovoltaico em Uma Loja de Departamentos**, TCC Especialização, UTFPR, 2015.

PINHO, João T.; GALDINO, Marcos A.; Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). CEPEL – GTES. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos** Rio de Janeiro, 2014.

PORTAL SOLAR, **Célula Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>> Acessado em: 15/07/21.

PROGRAMA GOOGLE EARTH. Disponível em <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em 10/06/2021.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos**. O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis. Editora: UFSC - LABSOLAR, 2004.

SANTOS, R. A. **Análise Comparativa da Geração Solar Fotovoltaica em Cidades Com Características Distintas: Estudo de Caso em duas plantas, uma localizada em Palmas – TO e Outra em Curitiba - PR**, TCC Especialização, UTFPR, 2018.

TIEPOLO, Gerson Máximo, **Estudo do Potencial de Geração de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Estado do Paraná**. PUC-PR, 2015. Tese (Doutorado) - Programa de pós graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica Do Paraná, Curitiba, 2015.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. "**Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**". 1a Edição. Curitiba: UTFPR, 2017.

URBANETZ JR, Jair, **Apostila de Projetos de Sistemas Fotovoltaicos do Curso de Especialização em Energias Renováveis**, UTFPR, 2015.

VEIGA, T. B. G. **Estudo da implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica na UTFPR**, TCC Especialização, UTFPR, 2015.

WILLMS, F. A. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Isolados para Alimentação de Containers Em Canteiro de Obra**, TCC Especialização, UTFPR, 2017.