



Centro Universitário Christus – UNICHRISTUS
Curso de Engenharia Civil

RODOLFO MOREIRA MACHADO

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA CONECTADO À REDE EM UMA
RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR.**

FORTALEZA

2021

RODOLFO MOREIRA MACHADO

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA CONECTADO À REDE EM UMA
RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR.**

Trabalho de conclusão de curso
apresentada a banca examinadora,
como requisito à obtenção do título de
graduado em Engenharia Civil. Área
de concentração: Instalações.

Orientador: Prof. MSc. José
Willington Gondim
Oliveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(s) autor(s)

M149v Machado, Rodolfo Moreira.
Viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica conectado à rede em uma residência unifamiliar / Rodolfo Moreira Machado. - 2021.
87 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Me. José Willington Gondim Oliveira.

1. Viabilidade Financeira. 2. Energia Solar Fotovoltaica. 3. Energia renovável. 4. Financeiro. 5. Investimento. I. Título.

CDD 624

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador, Prof MSc. Willington Gondim, por todo suporte e conhecimento.

Aos professores da UNICHRISTUS, pela contribuição da minha formação acadêmica e profissional.

Aos professores participantes da banca examinadora, Prof. Esp. Tatiana e Prof. MSc. Nelson Quesado Oliveira, obrigado pela amizade e pelo conhecimento passado.

Aos meus amigos e colegas do curso de engenharia civil, por toda a amizade e parceria que tornaram os dias mais agradáveis.

Ao meu grande irmão pelos conselhos e ajuda.

À mãe do meu filho, por todo suporte e carinho ao longo dos anos.

Aos meus pais, que sempre apoiaram as minhas escolhas.

RESUMO

O aumento da demanda energética e o uso excessivo de fontes não renováveis para a geração de energia elétrica acarretam em aumentos tarifários na conta de energia. Assim é necessário o uso de fontes renováveis como alternativa para geração de energia elétrica. Portanto a pesquisa aborda a viabilidade econômica de uma residência unifamiliar que adquiriu um SFCR (Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede). A avaliação apresenta o custo do investimento e a economia gerada ao longo dos anos da vida útil do sistema, considerando todas as perdas e ganhos que o sistema possui. Os valores foram utilizados para estimar uma geração futura que seja a mais próxima da realidade, assim, podendo calcular o tempo de retorno do investimento para a implantação de um sistema fotovoltaico. A instalação avaliada possui uma potência instalada de 5,36 kWp em um condomínio localizado na cidade de Eusébio, no estado do Ceará, conectado a linha de distribuição de baixa tensão da concessionária elétrica ENEL. Além do período estimado de 3 anos e 1 mês para que o investimento traga retorno financeiro para a residência, o trabalho mostrou a facilidade de instalação dos equipamentos fotovoltaicos, mesmo sem uma norma específica para a execução dos serviços, a dificuldade de prever os dados meteorológicos e reajuste das tarifas energéticas, o que dificulta o cálculo do retorno financeiro, entretanto, o uso do *payback* simples para o cálculo do tempo de retorno se mostrou vantajoso.

Palavras-chave: Viabilidade Financeira. Energia Solar Fotovoltaica. Energia renovável. Financeiro. Investimento

ABSTRACT

The increase in energy demand and the excessive use of non-renewable sources for the generation of electric energy result in tariff increases in the energy bill. Thus, it is necessary to use renewable sources as an alternative for generating electricity. Therefore, the research addresses the economic feasibility of a single family home that has acquired an SFCR (Solar Photovoltaic System Connected to the Grid). The evaluation presents the investment cost and the savings generated over the years of the system's useful life, considering all the losses and gains that the system has. The values were used to estimate a future generation that is the closest to reality, thus, being able to calculate the return on investment for the implementation of a photovoltaic system. The evaluated installation has an installed capacity of 5.36 kWp in a condominium located in the city of eusébio, in the state of Ceará, connected to the low voltage distribution line of the electric utility ENEL. In addition to the estimated period of 3 years and 1 month for the investment to bring financial returns to the residence, the work shows the ease of installation of photovoltaic equipment, even without a specific standard for the performance of services, a difficulty in forecasting meteorological data and readjustment of energy tariffs, the difficulty of calculating the financial return, however, the use of simple payback for the calculation of the return time proved to be advantageous.

Keywords: Financial Viability. Photovoltaic Solar Energy. Renewable energy. Financial. Investment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de irradiação solar no Brasil	12
Figura 2 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica	13
Figura 3 - Célula Monocristalina.....	15
Figura 4 - Célula Policristalina.....	15
Figura 5 - Sistema Conectado à rede	16
Figura 6 - Funcionamento do inversor	18
Figura 7 - Strings	19
Figura 8 - Quadro de proteção CC.....	20
Figura 9 - Quadro de proteção CA	21
Figura 10 - Estrutura para telha colonial	22
Figura 11 - Estrutura para telha fibrocimento.	22
Figura 12 - Estrutura para telha metálica trapezoidal.....	23
Figura 13 - Estrutura para solo	24
Figura 14 – Medidor Bidirecional	25
Figura 15 – Fluxograma	34
Figura 16 – Detalhe da coberta.....	35
Figura 17 – Histórico de Consumo.....	35
Figura 18 – Quadro.....	35
Figura 19 – Irradiação solar no plano horizontal.....	35
Figura 20 – Potência de Geração	35
Figura 21 – Folheto BYD.....	35
Figura 22 – Inversor growatt	35
Figura 23 – Estrutura de Fixação.....	35
Figura 24 – Kit p/4 Módulos	35
Figura 27 – Layout das Strings.....	35
Figura 28 – Esquema unifilar	35
Figura 21 – Folheto BYD	35
Figura 22 – Especificação Elétrica	35
Figura 23 – Características do Inversor	35
Figura 24 – Características do sistema	35
Figura 25 – Estrutura de Fixação.....	35
Figura 26 – Kit p/4 Módulos	35

Figura 27 – Layout das Strings.....	52
Figura 28 – Vista frontal da residência.....	53
Figura 29 – Esquema unifilar	53
Figura 30 – Trecho corrente contínua – Módulos a Stringbox.....	54
Figura 31 – Trecho corrente contínua – Stringbox ao inversor.....	54
Figura 32 – Trecho corrente alternada – Inversor a quadro geral	55
Figura 33 – Diagrama unifilar geral	57
Figura 34 – Resumo dos Sistemas	58
Figura 35 – Resumo dos módulos	58

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CRESESB - Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

DPS – Dispositivo de Proteção Contra Surtos

DR – Dispositivo Diferencial e Residual

MME – Ministério de Minas e Energia

MPPT – *Maximum Power Point Tracker*

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

TE – Tarifa de Energia

TIR – Taxa Interna de Retorno

VPL – Valor Presente Líquido

ROI – Retorno Sobre Investimento

SIN - Sistema Interligado Nacional

GEE – Gases do Efeito Estufa

m-Si – Silício monocristalino

a-Si - Amorfo

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

p-Si – Silício policristalino

PR – Performance Rácio

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geração diária	12
Tabela 2 – Geração teórica máxima	13
Tabela 3 – Novo Performance Rácio	15
Tabela 4 – Geração com PR atualizado	15
Tabela 5 – Estimativa de geração	16
Tabela 6 – Comparação entre as gerações com diferentes PR's	18
Tabela 7 – Valor Presente Líquido	19
Tabela 8 – Fluxo de caixa acumulado do investimento	20

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	14
1.2 Objetivo Geral	14
1.3 Objetivo Especifico	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1.1 Radiação Solar.....	15
2.1.2 Irradiância	15
2.1.3 Irradiação.....	15
2.1.4 Potencial Solar.....	16
2.2 Efeito Fotovoltaico	17
2.2.1 Módulo Fotovoltaico	17
2.2.2 Eficiência	18
2.2.3 Células fotovoltaicas	18
2.3 Sistema Solar Fotovoltaico	20
2.3.1 Sistema Conectado à Rede	21
2.3.2 Inversor Solar Conectado à rede	22
2.3.3 Strings	23
2.3.4 Tensão Contínua Máxima	24
2.3.5 MPPT	24
2.3.6 Dispositivo de Proteção CC (StringBox)	25
2.3.7 Dispositivo de Proteção CA	25
2.3.8 Estrutura de fixação.....	26
2.4 Dimensionamento	30
2.4.1 Taxa de Desempenho	30
2.5 Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012	31
2.6 Estrutura tarifária	31
2.6.1 Bandeira Tarifária	32
2.6.2 Faturamento da energia elétrica	33
2.7 Análise de investimento	34
2.7.1 Valor Presente Líquido (VPL)	34

2.7.2 Taxa de retorno sobre o investimento (ROI).....	35
2.7.3 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	35
2.8 Impactos ambientais	36
2.8.1 Manufatura	36
2.8.2 Impacto ao meio Físico.	37
2.8.3 Desconexão	37
2.8.4 Sustentabilidade	37
2.8.5 Manutenção	37
2.8.6 Certificações Sustentáveis.....	38
3. METODOLOGIA	40
3.1 Fluxograma (ALTERAR)	41
3.2 Objeto de estudo da pesquisa	41
3.3 Levantamento de Dados	42
4. ESTUDO DE CASO.....	43
4.1 Introdução.....	43
4.2 Dimensionamento do sistema de energia solar fotovoltaico	43
4.3 Quantidade de Módulos Fotovoltaico.....	46
4.4 Inversor	47
4.5 Estrutura de Fixação.....	50
4.6 Layout.....	51
4.7 Dimensionamento dos condutores e proteção.....	53
4.7.1 Dos módulos até a Stringbox	54
4.7.2 Da Stringbox até o Inversor	54
4.7.3 Inversor ao quadro geral.....	55
4.8 Quadros Elétricos.....	56
4.8.1 Isolação Galvânica e Aterramento	56
4.9 Diagrama Unifilar	56
4.10 Resumo do Gerador.....	57
5.0 RESULTADOS.....	59
5.1 Dados do Monitoramento	59
5.2 Estimativa de geração	60
5.3 Valor Presente Líquido (VPL).....	64
5.4 Payback	65
5.5 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	67

5.6 Taxa de retorno sobre o investimento (ROI)	68
5.7 Sustentabilidade	68
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
7. REFERÊNCIAS	75
APÊNDICE A	77
ANEXO A – Conta de energia da residência	78
ANEXO B - Datasheet inversor Growatt MIN5000TL-X	80
ANEXO C - Datasheet módulo BYD PHK-36-SERIES-5BB	82
ANEXO D – Estrutura solar group	84
ANEXO E - STRINGBOX PROAUTO & DEHN	87

1. INTRODUÇÃO

A demanda global por energia aumentou nos últimos 50 anos e continua crescendo a cada ano, esse acréscimo ocorreu intensamente nos países industrializados, sendo mais de 50% da energia gerada por esses países, são de combustíveis fósseis. Nos próximos anos os países em desenvolvimento sofrerão com o crescente aumento populacional e na demanda energética, que tende a crescer de forma muito superior que a oferta de energia (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

A matriz energética brasileira é constituída, predominantemente, por recursos hídricos, é necessário garantir que a oferta de energia não dependa unicamente de uma fonte para geração de energia, idealizando um equilíbrio entre as demais fontes, evitando que as condições climáticas determinem a quantidade de geração de energia elétrica no país (DOROCHE; ANSCHAU, 2015).

A demanda energética cresce em um ritmo intenso que em janeiro de 2019 segundo a ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrica) foram registrados dois recordes consecutivos de carga de energia gerada no SIN (Sistema Interligado Nacional). No dia 15 de janeiro de 2019, às 15h39, a demanda máxima do sistema alcançou 85.800 MW, e no dia seguinte, dia 16 de janeiro, aconteceu um novo recorde de carga no SIN, quando a demanda máxima ultrapassou os 87.000 MW. O ultimo recorde registrado foi em fevereiro de 2014, quando se tinha alcançado um pico de 85.708 MW (ONS, 2019).

Os estímulos à geração distribuída se justificam pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico. Entre eles, está o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética (ANEEL 2012)

A opção pelos sistemas de geração distribuída faz com que os sistemas fotovoltaicos apresentem alguns benefícios para as concessionárias. Isso por injetar energia à rede, reduzir as perdas em transmissão e, principalmente, por adiar os custos de expansão, já que o sistema fotovoltaico pode estar instalado e dar suporte de capacidade a um alimentador considerado crítico para o sistema (JARDIM, 2007).

A energia solar pode ser uma esplendida opção quando se deseja buscar alternativas que sejam menos violentas ao meio ambiente, principalmente por que consiste em uma fonte de energia renovável e limpa, não emitindo qualquer poluente. Os estudos mostram que as fontes não renováveis estão, além de contribuírem para o aquecimento global, contribuem

também para o encarecimento da tarifa energética no país.

Diante de um mercado monopolizado pelas distribuidoras de energia dos estados, a energia solar mostrou-se uma alternativa muito vantajosa de acirrar a concorrência e tornar-se cada vez mais independente da concessionária local. De acordo com análises feitas pelo diretor de operações da Bluesol (COLAFERRO, 2017) a inflação energética é sistematicamente maior que a inflação do país, isso implica em consecutivos e abusivos aumentos anuais na conta de energia da população.

A energia solar, não necessita ser extraída e nem conduzida para o local da geração, próximo à carga, evitando os custos com a transmissão em alta tensão por desfrutar de células solares, responsáveis pela geração de energia, e um inversor para transformar a tensão e frequência, sem emissão de gases poluentes ou ruídos e com a mínima necessidade de manutenção.

1.1 Justificativa

A energia solar, além de ser uma fonte inesgotável e limpa, é financeiramente vantajosa em sistemas de mini e microgeração distribuída. Com o aumento da demanda por energia solar, as fábricas mundiais, principalmente as chinesas, conseguem fabricar os equipamentos em larga escala e conseqüentemente barateando o mesmo. Desta forma, o sistema solar fotovoltaico está ficando cada vez mais acessível, mostrando ser uma solução financeira e sustentável para a geração de energia elétrica no planeta.

1.2 Objetivo Geral

Demonstrar a viabilidade financeira da tecnologia fotovoltaica, através de um estudo de caso de uma residência unifamiliar que aderiu ao sistema e comparando aos valores da rede da concessionária local.

1.3 Objetivo Especifico

Dimensionar a demanda necessária para atender o consumo energético de uma residência unifamiliar

Apresentar um sistema solar fotovoltaico conectado à rede de uma residência unifamiliar, caracterizada por micro geração distribuída.

Realizar análise de investimento em relação a economia gerada.

Analisar com parâmetros financeiros a implantação do sistema fotovoltaico da residência.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 Radiação Solar

A radiação solar é o fluxo de energia exposta pelo Sol e propagada sob a forma de radiação eletromagnética, (Gómez, 2018). A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre materiais estabelecidos, mais precisamente os semicondutores. Entre esses, sobressaem os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro é caracterizado pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições singulares. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, pelo emprego de células solares. (ANEEL, 2010)

Além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), a disponibilidade de radiação solar, também intitulada de energia total incidente sobre a superfície terrestre, necessita da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso se deve à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente (movimento de rotação) e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação ou revolução), (ANEEL, 2010).

2.1.2 Irradiância

Uma grandeza empregada para quantificar a radiação solar é a irradiância, expressa na unidade de W/m^2 (watt por metro quadrado). Trata-se de uma unidade de potência por área. Como se sabe, a potência é uma grandeza física que expressa a energia transportada durante um certo intervalo de tempo, ou a taxa de variação da energia com o tempo. Quanto maior a potência da radiação solar, mais energia ela transporta em um determinado intervalo de tempo. (Villalva, 2016)

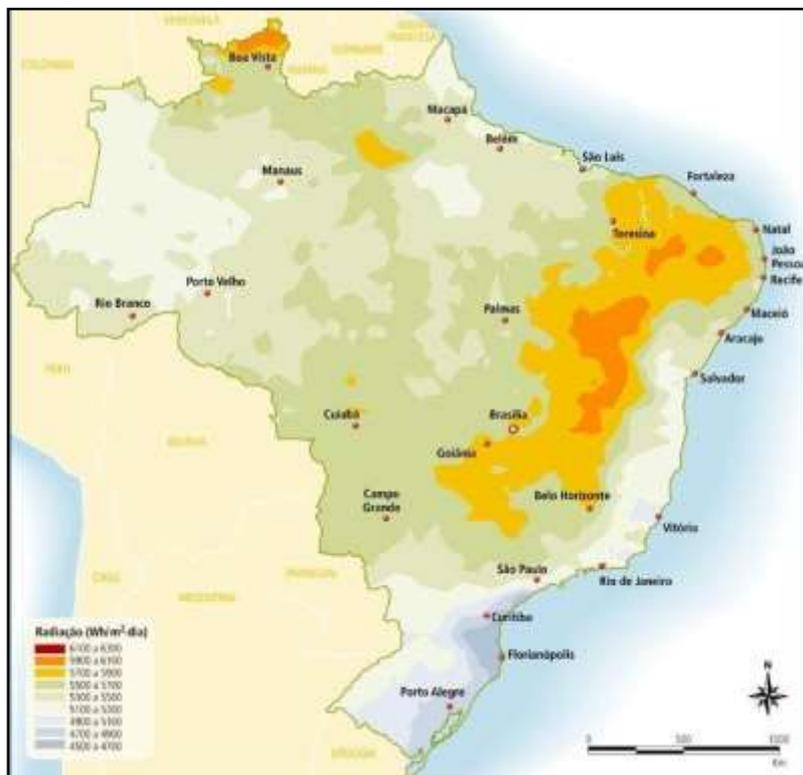
2.1.3 Irradiação

Quando consideramos a totalização (integração) da irradiância ao longo de uma

unidade de tempo, deixamos de nos referir a irrâdiância e passamos a utilizar o conceito de irradiação, ou seja, a irradiação corresponde a radiação solar integrada, definida em Wh/m², devendo ser correlacionada ao conceito de energia por metro quadrado (energia/m².dia). Outras unidades de irradiação são: Wh/ m².dia, KWh/m².dia, KWh/m².ano, (Gómez, 2018).

A figura abaixo apresenta os valores de irradiação solar nas regiões do Brasil.

Figura 1 – Mapa de irradiação solar no Brasil.



Fonte: ANEEL,2012.

No Brasil, os maiores índices de radiação são presenciados no Nordeste, onde a média anual é aproximadamente 6 kWh/m².dia. Já os menores índices são observados no Litoral Sul-Sudeste. As regiões do Amapá e leste do Pará também apresentam índices inferiores à média nacional, entre 4,5kWh/m².dia a 5kWh/m².dia. (ANEEL, 2002).

2.1.4 Potencial Solar

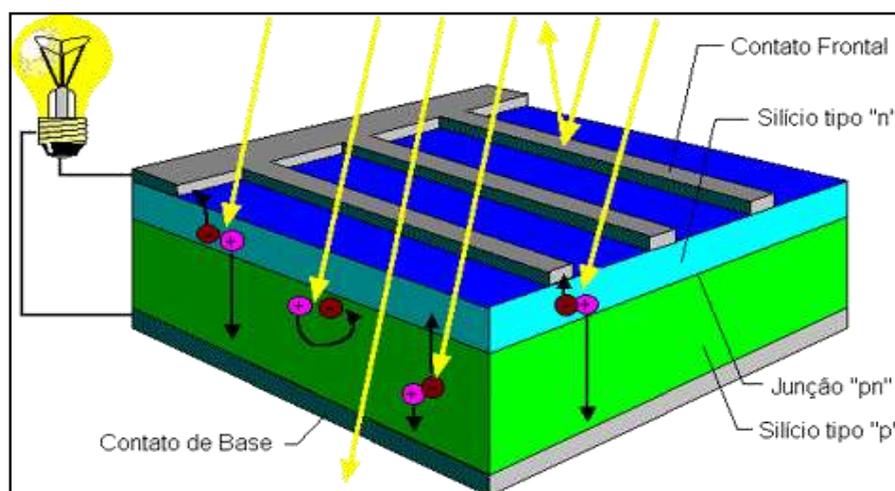
O Sol proporciona para a atmosfera terrestre 1,5 x 10¹⁸ kWh de energia todos os anos. Um valor imenso que corresponde a 10000 vezes o consumo mundial de energia no mesmo tempo. Sendo o Sol, uma fonte inesgotável de energia, possui um vasto potencial de aproveitamento por meios de sistemas de captação e conversão de energia, sejam elas térmicas

ou elétricas (CRESESB, 2008).

2.2 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência acima de 18% (GREEN et al., 2000). Na figura 2, é representado o corte transversal de uma célula fotovoltaica e seu respectivo processo de conversão.

Figura 2 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica



Fonte: CRESESB (2008)

A grade e a base metálica inferior são os terminais elétricos que fazem a retirada da corrente elétrica gerada pela ação da luz. A base inferior é uma película de alumínio ou de prata. A parte superior da célula, que recebe a luz, necessita ser translúcida, desta forma os contatos elétricos são fabricados no formato de uma fina grade metálica impressa na célula (CRESESB, 2008)

2.2.1 Módulo Fotovoltaico

Os painéis solares, ou módulos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico

de geração de energia. Estes são formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011)

O Painel possui vários tamanhos e várias potências de geração de energia, composto por diversas células fotovoltaicas, a geração do painel depende da quantidade de células existentes na placa. A maioria dos fabricantes de painéis garantem a eficiência de geração em 25 anos, mas essas garantias variam dependendo do fabricante.

2.2.2 Eficiência

A eficiência de um painel solar é basicamente a porcentagem de energia da luz do sol que o painel solar converte em energia elétrica por m^2 . Ou seja, um painel solar com eficiência de 16.5% converte 16.5% da energia que incide sobre o painel, por m^2 , em energia elétrica (CEMIG, 2020).

2.2.3 Células fotovoltaicas

O silício (Si) é o principal material na fabricação das células fotovoltaicas (FV), e se constitui como o segundo elemento químico mais abundante na terra. O mesmo tem sido explorado sob diversas formas: cristalino, policristalino e amorfo. A tecnologia fotovoltaica baseada em c-Si faz uso de lâminas cristalinas relativamente espessas, [300-400] μm . As restantes tecnologias são baseadas em películas finas com espessuras na ordem de 1 μm . Devido a este aspecto construtivo as tecnologias baseadas em películas finas possuem um custo mais baixo. (CEMIG, 2012).

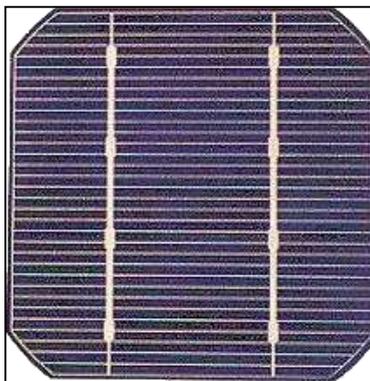
2.2.3.1 Monocristalino

No caso de células fotovoltaicas de silício monocristalino (m-Si), o monocristal é “crescido” a começar de um banho de silício fundido de alta pureza (Si = 99,99% a 99,9999%) em reatores sob atmosfera contida e com velocidades de crescimento do cristal extremamente lentas (da ordem de cm/hora). Sendo que as temperaturas envolvidas são da ordem de 1400 °C, o consumo de energia neste processo é extremamente excessivo e o chamado *energy pay-back*

time (tempo necessário para que o módulo gere energia equivalente à utilizada em sua fabricação). (Ruther, 2004).

Na figura 3 é representado uma célula monocristalina.

Figura 3 – Célula Monocristalina



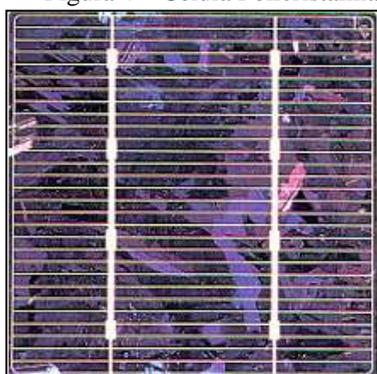
Fonte: CRESESB (2008)

2.2.3.2 Policristalino

O silício policristalino (p-Si) manifesta uma menor eficiência de conversão em relação ao monocristalino, com uma vantagem de possuir um menor custo de fabricação, em razão da perfeição cristalina ser maior no caso do m-Si, e o processamento do p-Si é mais simples. O material de partida é o mesmo que para o m-Si, que é fundido e posteriormente solidificado direccionalmente, o que resulta em um bloco com grande quantidade de grãos ou cristais, no contorno dos quais se concentram os defeitos que tornam este material menos eficiente do que o m-Si em termos de geração fotovoltaica (Ruther, 2004).

Na figura 4, é representado uma célula policristalina.

Figura 4 – Célula Policristalina



Fonte: CRESESB (2008)

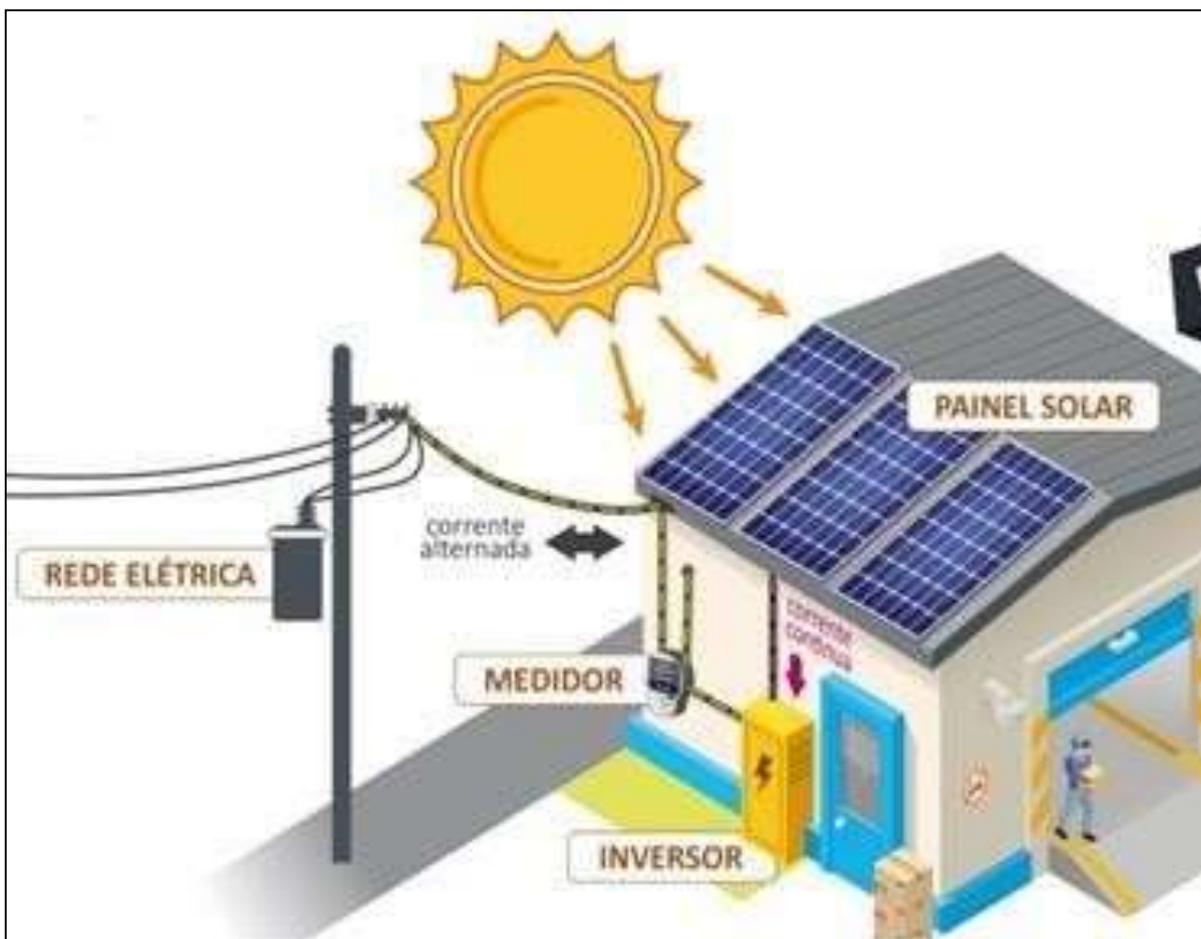
2.2.3.3 Amorfo

O a-Si era a única tecnologia nos anos 80 que era capaz de ser comercialmente viável. Sendo utilizado em células solares em meados da década de 70, era mais utilizado em equipamentos como calculadoras, relógios e outros produtos por causa do baixo consumo do seu uso. As células amorfas apresentavam eficiência em luzes artificiais. (Ruther, 2004).

2.3 Sistema Solar Fotovoltaico

O sistema é composto por diversos painéis fotovoltaicos para um melhor aproveitamento dos raios solares. Apenas uma placa não irá gerar a energia necessária para abastecer uma residência. Dessa forma, para um sistema ser eficaz e seguro, ele deve ser composto por alguns equipamentos além das placas, como inversor, dispositivos de proteção, stringbox, entre outros. Tudo isso conectado à rede da concessionária local por um medidor bidirecional, que contabiliza tanto a energia gerada injeta na rede, quanto a energia consumida da rede pública. Na figura 5 é esquematizado um sistema conectado à rede.

Figura 5 – Sistema Conectado à rede.



Fonte: Próprio autor (2020)

2.3.1 Sistema Conectado à Rede

São aqueles que trabalham concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, o injeta na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica. (PEREIRA & OLIVEIRA, 2013).

O sistema solar fotovoltaico conectado à rede é conhecido também como micro ou mini geração distribuída. Dessa maneira o consumidor pode gerar sua própria energia consumida no dia, e o excedente produzido, é enviado a rede de distribuição da concessionária local, gerando créditos energéticos que podem ser utilizados posteriormente em até 60 meses, de acordo com a **Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012**.

Como o sistema é conectado à rede pública, o consumidor pode gerar energia em um

local e consumir os créditos gerados em outro local. Isso pode ser realizado para múltiplas unidades consumidores, desde que todas as unidades estejam na mesma titularidade. A geração é contabilizada pelo medidor bidirecional, que é fornecido gratuitamente pela concessionária quando a instalação do sistema é finalizada. O instalador precisa comunicar a distribuidora o término da instalação e requerer uma vistoria e a troca do medidor convencional pelo bidirecional, (ANEEL,2012).

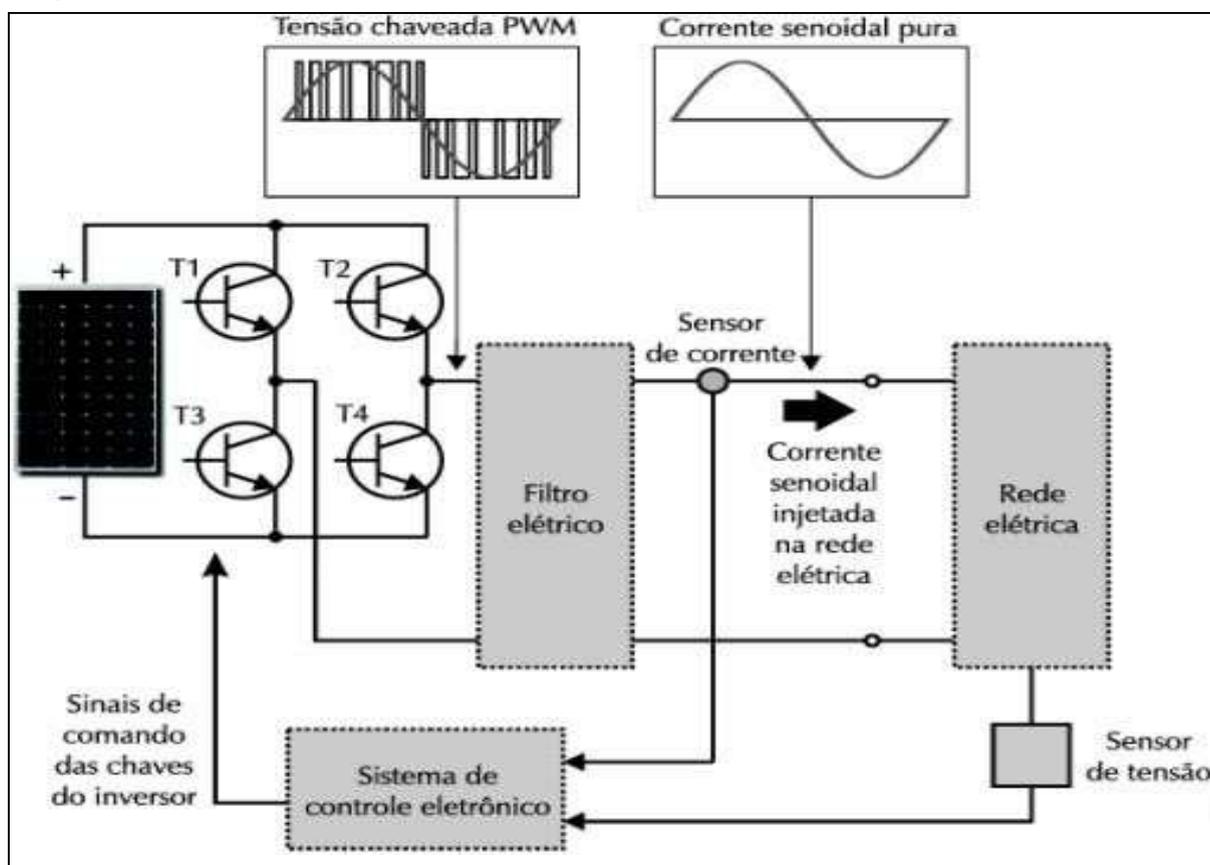
2.3.2 Inversor Solar Conectado à rede

Os módulos fotovoltaicos geram energia em corrente contínua (CC). Contudo, a maior parte dos equipamentos comercializados utilizam energia em corrente alternada (CA). Portanto, é necessário a utilização de um inversor solar entre as cargas que realiza a conversão de energia gerada pelos painéis à forma utilizada comercialmente (tensões 110VCA OU 220VCA, na frequência de 60HZ). (IMHOFF, 2007).

Os inversores conectados à rede possuem um sistema eletrônico aprimorado que o transforma em uma fonte de corrente. Sua função é basicamente fazer com que a corrente injetada tenha o mesmo formato senoidal da rede pública, realizando a sincronização entre os sistemas público e privado, (Villalva, 2012).

Na Figura abaixo é apresentada o funcionamento do inversor.

Figura 6 – Funcionamento do inversor



Fonte: Villalva (2012)

Além disso, ele serve também como dispositivo de segurança e de monitoramento, algumas marcas no mercado já possuem inversores que podem ser conectados à rede Wi-Fi.

2.3.2.1 Monitoramento

Os inversores mais atuais possuem monitoramento da geração e transmitem os dados através do próprio aplicativo da marca. Os aplicativos apresentam relatórios diários, mensais e anuais sobre a geração do sistema conectado à rede, informando os dias de máxima geração, como também de baixa geração.

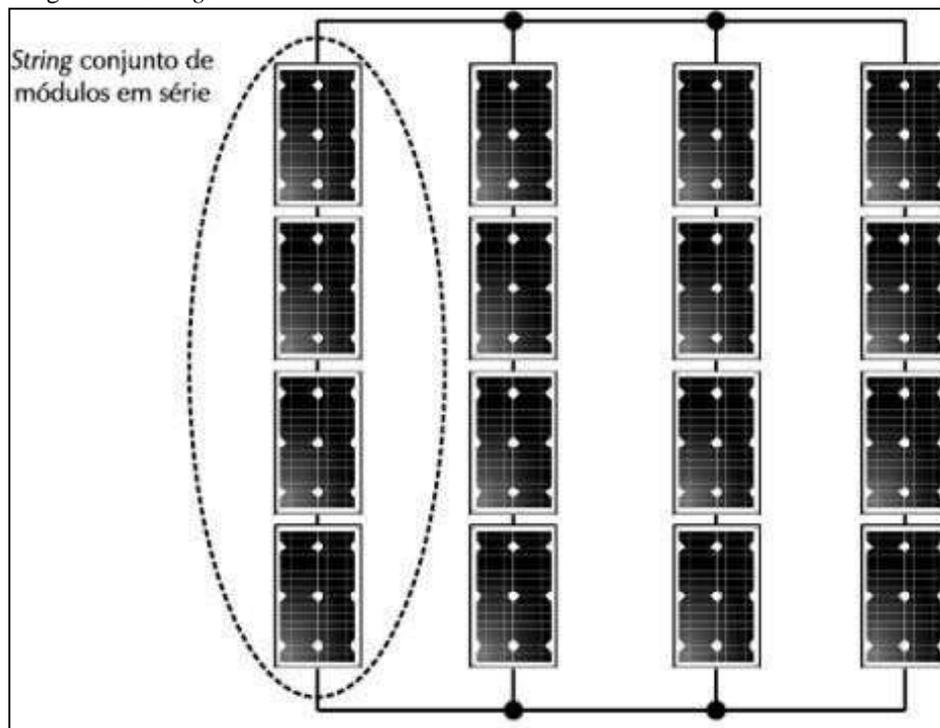
2.3.3 Strings

Os inversores conectados à rede, em sua maioria, são produzidos para receber diversos conjuntos de módulos fotovoltaicos em série, chamados de *strings* (fileiras de módulos) para proporcionar a tensão de trabalho apropriada. Para possibilitar aumento da potência do sistema fotovoltaico, introduz *strings* em paralelo, formando vários conjuntos de *strings* em um mesmo

sistema. (Villalva,2012).

Na figura 7 é esquematizado as *strings*.

Figura 7 – *Strings*



Fonte: Villalva (2012)

2.3.4 Tensão Contínua Máxima

O valor da tensão máxima suportada pelo inversor é limitado pelo número de módulos que podem ser colocados em série. Número máximo de módulos deve ser calculado com base na informação da tensão de circuito aberto de cada equipamento, que é fornecida pela fabricante e usado para limitar a potência do sistema fotovoltaica. Esse valor é de fácil acesso e se encontram na descrição do produto. (Villalva, 2012).

2.3.5 MPPT

O recurso que está presente em todos os inversores conectados à rede é o MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) ou rastreamento do ponto máximo, que tem como função o aproveitamento máximo dos painéis.

Os inversores que dispõem de múltiplas entradas MPPT têm a capacidade de aperfeiçoar a produção da energia de modo independente para vários conjuntos de módulos

fotovoltaicos. Caso as placas estejam sombreadas, por exemplo, os demais que estão conectados a outra entrada MPPT continuam operando normalmente em seu ponto de máxima potência. Quanto mais entradas MPPT o inversor possuir, mais eficiente ele será, (Villalva, 2012).

2.3.6 Dispositivo de Proteção CC (*StringBox*)

O quadro de proteção de corrente contínua do sistema fotovoltaico, além de possuir os fusíveis para conexão das strings, acompanha uma chave seccionadora CC e o dispositivo de proteção de surto. O quadro de proteção CC pode ter a função da caixa de strings. No mesmo quadro deve estar presente o barramento de aterramento, necessário para coletar as ligações à terra das estruturas metálicas e quadro metálico dos módulos fotovoltaicos. (Villalva, 2012).

A figura 8 apresenta detalhadamente cada componente de uma *stringbox*

Figura 8 – Quadro de proteção CC



Fonte: SOLIS (2019)

2.3.7 Dispositivo de Proteção CA

A proteção CA é mais um dispositivo de proteção que compõe o sistema fotovoltaico, o dispositivo recebe a energia vinda do inversor e manda para o quadro geral, sua função é basicamente a mesma da stringbox, caso algum componente da mesma falhar, a proteção CA, com seus respectivos disjuntores termomagnéticos combinados com um interruptor residual e dispositivo de proteção e surto, é acionada impedindo que o surto passe para o circuito da residência e vice-versa. (Bezerra, 2018).

A figura 9 apresenta detalhadamente os componentes do quadro de proteção CA.

Figura 9 – Quadro de proteção CA



Fonte: PHB solar (2019)

2.3.8 Estrutura de fixação

As estruturas de fixação são um conjunto de peças responsáveis pelo posicionamento (ângulos e direções) e fixação dos componentes de um sistema solar fotovoltaico, (Flandoli, 2018).

Existem diversos tipos de estruturas de fixação para diferentes tipos de telhados e solos. Elas servem para fixar os painéis no telhado ou solo, garantindo que as mesmas não atrapalhem o fluxo de água em caso de chuva e isolando dos demais componentes do local de instalação. O material mais utilizado para fabricação dos suportes é o alumínio, com alta resistência a corrosão.

2.3.8.1 Telhas de Barro

O posicionamento e a fixação dos painéis devem necessariamente obedecer à orientação e ao ângulo do telhado, o que representa desvantagem em relação ao telhado plano, pois normalmente ocasiona a redução do aproveitamento do potencial energético.

O sistema de fixação para telhados inclinados é o conjunto recomendado para a instalação dos painéis nessa situação. É composto de suportes para trilho especial em formato Z, fixados na estrutura de madeira da cobertura. Trilhos são fixados nos suportes e presilhas e são responsáveis pela ancoragem dos painéis são fixadas nos trilhos.

A figura 10 apresenta detalhadamente as peças e o local onde é instalado o suporte de fixação. (SOLIS, 2020)

Figura 10 – Estrutura para telha colonial



Fonte: SOLIS (2019)

2.3.8.2 Telhas de Fibrocimento

Para telhados de fibrocimento, ou de materiais semelhantes ao fibrocimento, é utilizado uma peça fundamental chamada parafuso prisioneiro, que perfura a telha até o encontro da estrutura de madeira e que possui roscas com vedações para impedir que água entre pelos furos. Esse parafuso recebe o perfil metálico onde os painéis ficarão apoiados, conforme o ilustrado na figura 11.

Figura 11 – Estrutura para telha fibrocimento



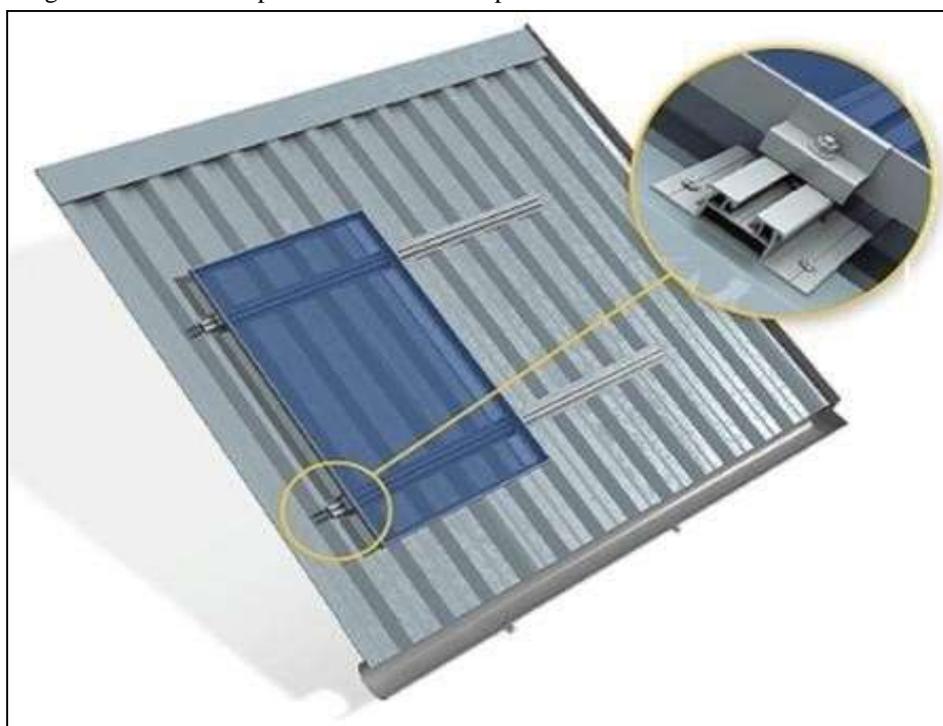
Fonte: Flandoli (2018)

2.3.8.3 Telhas Metálicas

No caso das estruturas metálicas, é analisado a corrosão galvânica, processo pelo qual um metal corrói o outro. A escolha de peças e estruturas dos materiais adequados deve ser pensando na alta resistência a corrosão, que tenha alta durabilidade, caso negligenciado, corre risco de redução considerável na vida útil das estruturas e fixações.

Para a instalação de painéis sobre telhados metálicos, é utilizado estruturas metálicas sob o telhado, como forma de aumentar a resistência do sistema contra os efeitos do vento conforme ilustrado na figura 12.

Figura 12 – Estrutura para telha metálica trapezoidal



Fonte: Flandoli (2018)

2.3.8.4 Estrutura para o solo

É o modelo mais utilizado para grandes usinas fotovoltaicas, onde o espaço necessário para instalação é muito grande. Assim como na instalação sobre lajes, esse sistema proporciona um posicionamento aprimorado dos painéis em relação ao sol, promovendo a maximização da capacidade de geração. Deve-se ter muito cuidado com este tipo de instalação devido ao sombreamento ocasionado pelo excesso de proximidade entre um painel e outro. Dessa forma, é necessário estabelecer a distância mínima entre painéis a partir de suas inclinações, a ponto

de evitar que os módulos façam sombra uns nos outros. (Flandoli, 2018).

Na figura 13 é ilustrado um sistema fotovoltaico no solo.

Figura 13 – Estrutura para solo



Fonte: Flandoli (2018)

2.3.8.6 Medidor Bidirecional

O medidor bidirecional é um componente fundamental para os sistemas de energia solar fotovoltaica conectados à rede das concessionárias de energia elétrica. Ao contrário do medidor convencional, mais conhecido como relógio, o medidor bidirecional mede não só a energia consumida por uma instalação, mas também mede a quantidade de energia injetada na rede elétrica. No caso de uma casa que possua energia solar, o medidor bidirecional fará a medição de toda a energia em kWh que foi injetada na rede naquele imóvel, assim como, a energia que foi consumida e, que em outras palavras, foi vendida pela concessionária, (SOLIS, 2019).

A figura 14 apresenta um medidor comercializado no Brasil.

Figura 14 – Medidor bidirecional



Fonte: Solis (2019)

2.4 Dimensionamento

Um dimensionamento se torna eficiente a partir do momento que a geração de energia é igualada a consumida, desta maneira o consumidor somente irá pagar o custo de disponibilidade mais iluminação pública. Para obter a potência do sistema fotovoltaico é necessária usar tal formula:

$$P_{FV} = \frac{C_{PERÍODO}}{GHI \times T_D \times N}$$

Onde:

- PFV é a potência do sistema SFCR em kWp;
- CPERÍODO é o consumo de energia da unidade consumidora no período considerado em kWh;
- GHI é a Irradiação Horizontal Global do local em kWh/m² por dia;
- TD é a taxa de desempenho (performance) do sistema SFCR;
- N é o n° de dias do período.

2.4.1 Taxa de Desempenho

Módulos fotovoltaicos de silício policristalino possuem uma vida útil estimada de mais de 25 anos e degradação da produção devido ao envelhecimento de 0,8 % ao ano. Será considerada uma taxa de performance do sistema (performance ratio) de 75%. Essa taxa de performance abrange uma série de perdas que o sistema fotovoltaico possui, dentre elas estão

as perdas no processo de conversão pelo inversor, perdas nos caminhos dos cabos que interligam todo o sistema, entre outras. Essa performance varia entre 75% e 85%. (Bezerra, 2018).

2.5 Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012

A ANEEL em 2012 estabeleceu condições gerais para o acesso de geração microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição e compensação de energia elétrica.

“I - Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;” (ANEEL, 2015).

“II - Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;” (ANEEL, 2017).

A norma permite que o consumidor gere a sua própria energia a partir de fontes renováveis, podendo injetar o excedente para a rede pública, que funciona como uma bateria com 100% de aproveitamento, devolvendo o injetado quando o consumidor necessitar.

A norma permite também a adição de múltiplas unidades consumidoras, ou seja, o consumidor poderá gerar energia em um local injetando na rede para abater o consumo, não só do local onde foi instalado, mas como de outras unidades consumidoras que participam do mesmo sistema de geração (ANEEL, 2012).

2.6 Estrutura tarifária

A definição da estrutura tarifária é o conjunto de tarifas aplicáveis aos elementos de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento. As tarifas do grupo A são elaboradas em três modalidades de fornecimento, citadas abaixo:

- Estrutura tarifária convencional;
- Estrutura tarifária horo-sazonal verde;
- Estrutura tarifária horo-sazonal azul;

Na estrutura tarifária convencional o cliente possui apenas uma Demanda Contratada e uma Tarifa de consumo. A multiplicação do consumo em kWh pela tarifa resulta no valor da parcela. O valor de pagamento pertencente a demanda é calculada pela multiplicação da Tarifa de Demanda pela Demanda Contratada ou pela demanda medida (a maior delas), caso esta não ultrapasse em 10% a Demanda Contratada.

Para a estrutura tarifária horo-sazonal verde e horo-sazonal azul é estabelecido como conjunto de horas diárias e consecutivas definidas pelos horários de ponta e fora de ponta.

Segundo a ANEEL, o horário de ponta é composto por 03 horas diárias consecutivas, compreendido das 18h às 21h, de segunda a sexta-feira, exceto sábados, domingos e feriados nacionais.

Horário fora de ponta é composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares às definidas no horário de ponta, inclusive sábados, domingos e feriados nacionais. O Grupo B possui também horário reservado destinado ao consumidor irrigante. Durante um período do dia, geralmente na madrugada, o consumo destinado exclusivamente para a irrigação ou aquicultura recebe um desconto na tarifa de acordo com a região (ENEL, 2015).

2.6.1 Bandeira Tarifária

Devido à alta demanda de energia elétrica somada com a crise nos sistemas de geração de energia em hidrelétricas, tem a necessidade do uso de usinas termelétricas para atender a necessidade da população. O uso das usinas é notado na fatura de energia em forma de bandeiras tarifárias.

De acordo com ANEEL em 2015, as bandeiras tarifárias funcionam em três modalidades: nas cores verde, amarela ou vermelha, que indicam se a energia irá custar mais ou menos dependendo das condições de geração atual. As cores indicam diferentes acréscimos na conta. A bandeira verde indica condições favoráveis de geração de energia e, nesse caso, a tarifa não sofre acréscimo. A bandeira amarela indica condições de geração menos favoráveis, logo a tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,01343 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos.

A bandeira vermelha possui dois patamares a qual representam as piores condições de

geração de energia, quando é necessário utilizar fontes de geração de energia mais cara e mais prejudicial ao meio ambiente, como usinas termelétricas. No patamar 1 as condições de geração são custosas, aumentando R\$ 0,04169 na tarifa da energia para cada quilowatt-hora kWh consumido. No patamar 2, mais crítico que o 1, a tarifa sofre um aumento de R\$ 0,06243 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

2.6.2 Faturamento da energia elétrica

De acordo com a resolução tarifária da ANEEL, existem dois tipos de grupos de consumidores, clientes do grupo A e clientes do grupo B. Os consumidores pagam um valor referente ao consumido em kWh, que é tarifado de acordo com cada grupo e modalidade.

Pertencem ao grupo as unidades consumidoras da Baixa Tensão:

- Subgrupo B1 – residencial e residencial baixa renda;
- Subgrupo B2 – rural e cooperativa de eletrificação rural;
- Subgrupo B3 – demais classes;
- Subgrupo B4 – iluminação pública.

Os consumidores atendidos em tensão acima de 2,3kV, classificados no Grupo A, são subdivididos de acordo com a tensão de atendimento, como mostrado a seguir:

- Subgrupo A1 para o nível de tensão de 230 kV ou mais;
- Subgrupo A2 para o nível de tensão de 88 a 138 kV;
- Subgrupo A3 para o nível de tensão de 69 kV;
- Subgrupo A3a para o nível de tensão de 30 a 44 kV;
- Subgrupo A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- Subgrupo AS para sistema subterrâneo.

Para clientes grupo B, o valor mínimo a ser pago é a iluminação pública obrigatória mais o custo de disponibilidade, para clientes monofásicos, esse valor é referente ao consumo de 30 kWh e para clientes trifásicos, o custo é referente a um consumo de 100kWh. Para clientes grupo A o valor a ser pago será da demanda ativa somado com a demanda ativa sem ICMS e a iluminação pública.

2.7 Análise de investimento

Um *payback* (tempo de retorno) simples, dividindo o valor a ser investido pela economia gerada anualmente, não é um bom indicador para essa análise financeira, uma vez que o investimento inicial é fixo, mas a economia gerada no período pode variar, por exemplo, com o aumento da tarifa de energia. Isso faz com que o *payback* real, às vezes, seja diferente do calculado. Além disso, o cálculo do *payback* simples não demonstra os ganhos financeiros posteriores ao tempo de recuperação do investimento. Por isso devem ser introduzidos aqui alguns conceitos importantes na engenharia econômica e na análise de viabilidade econômica de projetos.

2.7.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é um método que consiste em trazer para a data zero todos os fluxos de caixa de um projeto de investimento e somá-los ao valor do investimento inicial, usando como taxa de desconto a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) do projeto (Bezerra, 2018):

“VPL é simplesmente a diferença entre o valor presente do projeto e o custo do projeto na data atual. VPL positivo significa que o projeto vale mais do que custa, ou seja, é lucrativo. VPL negativo significa que o projeto custa mais do que vale, ou seja, se for implementado, trará prejuízo” (ABREU FILHO, SOUZA, GONÇALVES, CURY, 2008).

O cálculo do VPL é feito pela diferença entre os recebimentos e os pagamentos de um projeto de investimento em valores monetários do presente, usando para tal a taxa mínima de atratividade (TMA), ou seja, a taxa mínima que um investidor exige para aceitar um novo investimento. Normalmente o ativo livre de risco de uma economia pode ser utilizado para este fim, como é o caso da taxa SELIC para o contexto brasileiro.

O VPL é calculado conforme abaixo:

$$VPL = \sum_1^n \frac{Fc_t}{(1+i)^n}$$

Onde:

VPL = Valor Presente Líquido;

Fc_t = fluxo de caixa ao longo do tempo t; i = taxa mínima de atratividade (TMA);

n = período de tempo.

2.7.2 Taxa de retorno sobre o investimento (ROI)

O ROI é uma relação entre o a economia gerada e o valor do investimento. Em outras palavras, o ROI é uma medida da taxa de retorno obtida pelo investimento considerando um horizonte de tempo estimado. Assim, quanto maior for o ROI, mais retorno financeiro um investimento gera.

“No sentido prático, o ROI diz o quanto determinada empresa ganhou ou perdeu ao fazer um investimento. É uma das métricas mais utilizadas para saber se um investimento deve ser feito ou não, ou para avaliar o quanto um investimento vale a pena ou não ser feito. O ROI permite ainda estabelecer metas e planos de ação baseados nos dados colhidos e otimizar os lucros, identificando os melhores investimentos” (GITMAN, 2010).

O ROI é calculado da seguinte maneira:

$$ROI = \frac{\text{Economia gerada} - \text{Investimento inicial}}{\text{Investimento inicial}}$$

2.7.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa de retorno é um método muito utilizado para análise da viabilidade de projetos de investimentos e no campo da engenharia econômica. A TIR calcula a taxa de desconto que deve ter um fluxo de caixa para que seu Valor Presente Líquido (VPL) iguale-se a zero.

“Taxa interna de retorno (TIR) é uma técnica sofisticada de orçamento de capital; é a taxa de desconto que iguala o VPL de uma oportunidade de investimento a zero (isso porque o valor presente das entradas de caixa iguala-se ao investimento inicial). É a taxa de retorno anual composta que a empresa obterá, se aplicar recursos em um projeto e receber as entradas de caixa previstas” (GITMAN, 2010).

A TIR é usada para avaliar a atratividade de um projeto ou investimento. Assim, se a TIR de um projeto exceder a Taxa Mínima de Atratividade, nesse caso considerada igual à SELIC, significa que o mesmo é viável. Se a TIR de um projeto ficar abaixo da TMA

considerada, o mesmo deve ser rejeitado. Finalmente, se a TIR de um projeto for igual à TMA, a decisão de seguir com o projeto fica por conta dos gestores/investidores. (Bezerra, 2018)

2.8 Impactos ambientais

A energia solar está entre as fontes energéticas que causa os menores impactos ambientais entre todas as fontes disponíveis pela humanidade, livre de qualquer emissão de poluentes na sua geração de energia e livre de efeitos que causam impacto ao meio ambiente na construção de grandes usinas, sendo estes ainda nulos em pequenos e médios projetos de geração energia solar. (Bluesol, 2019)

Os módulos solares geram sua energia sem emitir Gases de Efeito Estufa (GEE) ou algum outro impacto relevante ao meio ambiente. Ou seja, embora a geração de energia solar seja livre de emissões, é necessário analisar também os impactos envolvidos no descarte e na produção dos equipamentos fotovoltaicos. O ciclo de vida do sistema fotovoltaico envolve vários processos, na manufatura, no operacional e na desconexão. (Bluesol, 2019)

2.8.1 Manufatura

Manufatura vai desde a extração da matéria-prima, passando pelo tratamento dos materiais, produção dos equipamentos e, por fim, a instalação e construção dos projetos de sistemas fotovoltaicos. O processo de manufatura é o estágio que manifesta os piores impactos da energia solar.

As placas solares são as que mais consomem energia na fabricação da sua tecnologia. Isso se explica pela maior complexidade dos módulos e as várias etapas compreendidas em sua fabricação. Contudo, essa energia gasta na produção é “paga” pela placa durante a sua vida útil de geração, que como sabemos é livre de emissão de poluentes e de, no mínimo, 25 anos.

2.8.1.1 Impacto ao meio biótipo

A construção de usinas em larga escala pode impactar os ecossistemas locais, principalmente aqueles que ficam localizados próximos a florestas como a mata atlântica. Esse impacto pode ser bem significativo pois pode afetar o ciclo de desenvolvimento da fauna e da flora. Deve ser levado em consideração a área de do empreendimento e realizar estudos sobre as consequências da implantação do sistema solar.

2.8.2 Impacto ao meio Físico.

O impacto ao meio físico pode ser conforme a alteração e deterioração da paisagem de acordo com o porte e local de instalação da usina. Atividades do canteiro de obras geralmente geram alguns resíduos sólidos que podem contaminar o solo, como no descarte errado de produtos químicos e materiais de limpeza. Geração de poeiras/gases e alterações na qualidade do ar devido a circulação de veículos e manuseio de máquinas, afetando os meios antrópico e biótico. (Bluesol,2019)

2.8.3 Desconexão

Ao longo dos próximos anos, os módulos solares, que possuem vida útil de 25 anos, serão descartados e possivelmente poderão gerar algum impacto ao meio ambiente. Alguns fabricantes de placas solares já estão investindo em estudos para que esse equipamento possa ser reciclado e posteriormente utilizado para a mesma finalidade. (Bluesol,2019)

2.8.4 Sustentabilidade

Existe um grande ganho ambiental quando se utiliza a energia solar ao invés da energia convencional. Com a implantação do SFCR, o consumidor passa a não utilizar energia gerada por outras fontes a não ser a solar, desta forma, pode-se calcular a redução de CO² emitido na atmosfera, como também a equivalência do plantio de árvores.

Os dados disponibilizados pelo MCTIC sobre a matriz energética brasileira que mostram o fator em 2015 de 0,5317 kg Co² / kWh Árvores Equivalentes, a quantidade de árvores equivalentes usa o fator de 140 kg de CO² capturado por Árvore (MCTIC, 2020).

2.8.5 Manutenção

Os módulos solares não necessitam de tanta manutenção. Deve ser realizado uma limpeza periódica para que não haja obstrução dos raios solares. A inclinação do painel fotovoltaico pode contribuir para que a chuva elimine sujeiras e evita a acumulação de impurezas. Contudo, durante a estiagem, principalmente na região nordeste do país, é indicado limpá-los para garantir maior durabilidade.

Sistemas automáticos de limpeza dos módulos sem o uso de água já são utilizados em grandes empreendimentos pelo mundo todo. Mas para o cálculo da rentabilidade de acordo com Weiller (2018), deve-se considerar um custo anual com manutenção na ordem de 1% do valor do investimento realizado.

2.8.6 Certificações Sustentáveis

No Brasil grandes empresas com forte apelo sustentável exigem que toda a sua cadeia de suprimentos também incorpore em seus processos as mesmas políticas sustentáveis, quando não, são quesitos mínimos para qualificação de fornecedores ou prestadores de serviços.

2.8.6.1 IPTU verde

O IPTU Verde é o desconto percentual dado ao consumidor sobre o valor do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), um programa que teve iniciativa na prefeitura de Salvador – BA, um exemplo de iniciativa que impulsiona empreendimentos imobiliários comerciais, residenciais, ou institucionais a realizarem e beneficiarem ações e práticas de sustentabilidade em suas construções, como por exemplo, a gestão de resíduos e redução do consumo de energia.

O desconto é gradativo e acumulativo, sendo que para cada medida é concedido um determinado porcentual de desconto e, quanto mais dessas soluções são utilizadas pelo consumidor, mais desconto ele pode obter sobre o imposto.

Abaixo, é listado alguns dos principais municípios que concedem o IPTU Verde aos seus moradores em porcentual de desconto disponibilizado em projetos fotovoltaicos:

- **Tietê -SP**, concede até 100% de desconto através da Lei nº 3087/2009 – Autoriza o Poder Executivo a instituir o projeto de preservação ambiental no município de Tietê “ IPTU Verde ”, conceder redução do IPTU na forma que especifica e dá outras providências.

- **Goiânia – GO**, concede até 27% de desconto através da Lei Complementar nº 235/2012 – Institui o Programa IPTU Verde no município de Goiânia.

- **Seropédica – RJ**, concede até 15% de desconto através da Lei nº 526/2014 – Dispõe sobre a criação do programa de incentivos ambientais intitulado “IPTU Verde”.

- **Camboriú – SC**, concede até 12% de desconto através da Lei nº 2544/2013 – Institui o programa de incentivo e desconto, denominado “IPTU Verde” no âmbito do

município de Camboriú e dá outras providências.

- **Barretos – SP**, concede até 10% de desconto através da Lei Complementar nº 122/2009– Dispõe sobre o desconto de 10% (dez por cento) no imposto predial e territorial urbano – IPTU, ao contribuinte que fizer adesão ao programa “Município Verde”.

- **Ipatinga – MG**, concede até 8% de desconto através da Lei nº 2646/2009 – Cria o programa IPTU Verde e autoriza a concessão de desconto no imposto predial e territorial urbano – IPTU como incentivo ao uso de tecnologias ambientais sustentáveis.

- **Salvador – BA**, concede até 10% de desconto através da Lei nº8.474/2013 – cria o Programa de Certificação Sustentável em edificações no Município de Salvador, denominado IPTU VERDE.

2.8.6.2 Processo AQUA

O Processo AQUA-HQE é uma certificação internacional da construção sustentável desenvolvido a partir da certificação francesa D  marche HQE (Haute Qualit   Environnementale) e aplicado no Brasil exclusivamente pela Funda  o Vanzolini.

2.8.6.3 Certifica  o BREEAM

BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method. BREEAM    um processo sistem  tico que visa avaliar o desempenho ambiental de um empreendimento imobili  rio.

2.8.6.4 Certifica  o DGNB

Sistema de certifica  o alem  o desenvolvido pelo – German Sustainable Building Council- Conselho de Constru  o Sustent  vel da Alemanha. (Green Building Council Brasil,2020)

2.8.6.5 Certifica  o LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)    um sistema internacional de certifica  o e orienta  o ambiental para edifica  es, utilizado em 143 pa  ses, e possui o

intuito de incentivar a transformação dos projetos, obra e operação das edificações, sempre com foco na sustentabilidade de suas atuações.

2.8.6.6 Procel Edifica

O Selo Procel Edificações, estabelecido em novembro de 2014, é um instrumento de adesão voluntária que tem por objetivo principal identificar as edificações que apresentem as melhores classificações de eficiência energética em uma dada categoria, motivando o mercado consumidor a adquirir e utilizar imóveis mais eficientes.(Procel,2020)

2.8.6.7 Selo Casa Azul

O Selo Casa Azul é uma classificação socioambiental dos projetos habitacionais financiados pela Caixa. É a forma que o banco encontrou de promover o uso racional de recursos naturais nas construções e a melhoria da qualidade da habitação. A principal missão do selo é reconhecer projetos que adotam soluções eficientes na construção, uso, ocupação e manutenção dos edifícios.

São 53 critérios de avaliação, divididos em 6 categorias:

- Qualidade urbana;
- Projeto e conforto;;
- Eficiência energética;
- Conservação de recursos materiais;
- Gestão da água e práticas sócias;

Benefício para as Incorporadoras imobiliárias: Taxas de juros diferenciadas para os empreendimentos certificados. (Caixa econômica Federal ,2020)

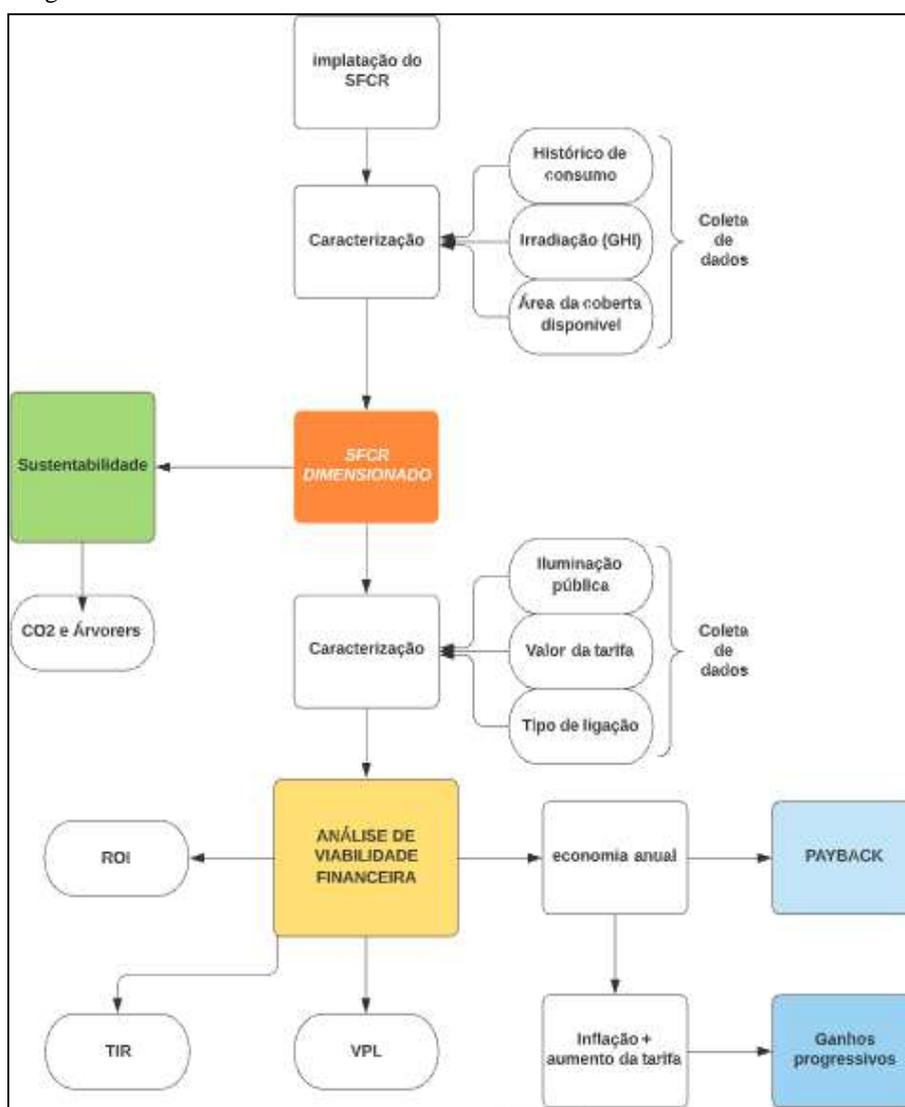
3. METODOLOGIA

A pesquisa realizada neste trabalho é de natureza explicativa e descritiva e do tipo mista, qualitativa e quantitativa. O desenvolvimento do trabalho requereu, primariamente, um levantamento de dados do histórico de consumo dos últimos 12 meses da energia do local abordado desta análise (residência unifamiliar).

3.1 Fluxograma (ALTERAR)

Para melhor entendimento, foi elaborado um fluxograma na figura 15 apresentando as etapas do projeto para atingir os objetivos.

Figura 15 – FLUXOGRAMA



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2020)

3.2 Objeto de estudo da pesquisa

A edificação do estudo está situada na Av. Alameda Atlântica, Cidade Alpha, Quadra, , Condomínio Alphaville Terras 2 – Coaçu – CEP 61760-000 – Eusébio – CE.

A figura 16 apresenta a cobertura do objeto de estudo

Figura 16 – Detalhe da cobertura



Fonte: próprio autor (2020)

A residência em estudo possui uma área de cobertura de 54m² de laje impermeabilizada com malta asfáltica. A estrutura de fixação que recebe os módulos possui uma inclinação fixa de 5° com orientação ao norte e sem qualquer tipo de sombreamento artificial, facilitando as condições para geração. A cobertura possui uma área total de laje lisa de 63m² (9x7), com o maior lado voltado para o norte. Foram utilizados lastros de concreto chunbados quimicamente na laje com argamassa polimérica super colante, para que não seja necessário fixar a estrutura diretamente na laje, evitando furos e possíveis infiltrações.

3.3 Levantamento de Dados

Conforme as coordenadas do local obtidas pelo *google Earth*, foi realizado análise no Mapa Solarimétrico do Brasil, disponibilizado pelo INPE, para verificar da Irradiação Horizontal Global (GHI) do local mês a mês. Com o auxílio de ferramentas computacionais como, Excel, autocad e *google Earth*, foi realizado uma simulação do potencial de geração de energia solar fotovoltaica conectada à rede elétrica da residência em estudo.

Com a coleta de outros dados da conta de energia, valor da tarifa, tipo de ligação existente e valor da iluminação pública, foi realizado um estudo de viabilidade financeira para

mostrar o potencial financeiro que o SFCR pode ofertar ao longo da sua vida útil.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Introdução

O presente estudo tem por objetivo resumir as orientações de caráter geral a serem utilizadas para a instalação de Sistema de Energia Solar Fotovoltaica Conectado à Rede de 5kW, composto por 16 painéis solares de 335Wp e Inversor monofásico de 5kW.

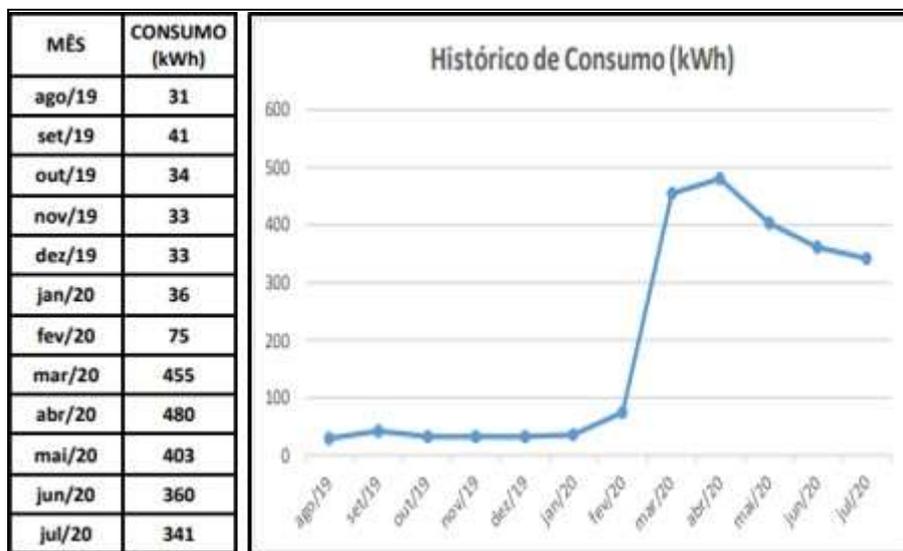
As instalações atendem às seguintes condições (a serem executadas para cada "gerador solar", entendida como um conjunto de módulos fotovoltaicos com o mesmo ângulo e a mesma orientação), na fase inicial do sistema fotovoltaico, a relação entre a energia ou a potência produzida em corrente contínua e a energia ou a potência produzida em corrente alternada (determinada em função da radiação solar incidente sobre o plano de um dos módulos, da potência nominal do sistema e a temperatura de funcionamento dos módulos) é, pelo menos, maior do que 0,78, no caso de utilização de conversores de potência até 20kW, em relação às condições de medição e métodos de cálculo descritos no Guia EN 60904-2.

Não são admitidos conjuntos de módulos em paralelos não perfeitamente idênticos uns aos outros para exposição e/ou da marca, e/ou o modelo e/ou o número de módulos utilizados; cada módulo será equipado com díodos de by-pass.

4.2 Dimensionamento do sistema de energia solar fotovoltaico

O imóvel do estudo é tarifado pela Enel através da modalidade B1 Residencial Trifásico, ou seja, possui um único valor de tarifa para o consumo em qualquer posto horário (R\$ 0,76886/kWh). Como se trata de uma habitação nova, o consumo de energia ainda não tem muito histórico a ser analisado, haja vista que até fev/2020 a residência consumiu abaixo do consumo mínimo de 100kWh, restando, portanto, apenas 5 meses a considerar como histórico de consumo, conforme abaixo:

Figura 17 – Histórico de Consumo



Fonte: próprio autor (2020)

Como a residência do estudo deseja ampliar o seu consumo em aproximadamente 50%, será considerado um consumo médio de 700kWh/mês para o dimensionamento do sistema. Com coordenadas decimais Latitude: - 3,892286° SUL – Longitude: -38,483224° OESTE. Conforme o Mapa Solarimétrico do Brasil, disponibilizado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e LABSOLAR (Laboratório de Energia Solar/ Universidade Federal de Santa Catarina) – Projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment), a Irradiação Horizontal Global (GHI) do local tem o seguinte comportamento mês a mês:

Figura 18 – Quadro Irradiação Solar

MÊS	GHI (kWh/m ²)	MÊS	GHI (kWh/m ²)
Janeiro	5,72	Julho	5,44
Fevereiro	5,81	Agosto	5,95
Março	5,61	Setembro	6,18
Abril	4,90	Outubro	6,37
Maio	5,21	Novembro	6,37
Junho	5,24	Dezembro	5,97
MÉDIA		5,73 kWh/m²	

Fonte: próprio autor (2020)

Abaixo, um gráfico mostrando a variação da irradiação solar do local ao longo dos meses do ano:

Figura 19 – Irradiação Solar no Plano Horizontal



Fonte: CRESESB (2020)

Para se dimensionar a Potência do Sistema Fotovoltaico do cliente, será utilizada a seguinte expressão:

$$P_F = \frac{C_{PERÍODO}}{GHI \times T_D \times N}$$

Onde:

- P_F é a potência do sistema SFCR em kWp;
- $C_{PERÍODO}$ é o consumo de energia da unidade consumidora no período considerado em kWh;
- GHI é a Irradiação Horizontal Global do local em kWh/m² por dia;
- T_D é a taxa de desempenho (performance) do sistema SFCR;
- N é o nº de dias do período. Dessa Forma, chega-se à seguinte composição:

Figura 20 – Potência de Geração

Período	Consumo (kWh)	GHI(kW/m ²)	DIAS/MÊS	P _{FV 100kWh}
Janeiro	700	5,72	31	5,26
Fevereiro	700	5,81	28	5,74
Março	700	5,61	31	5,37
Abril	700	4,90	30	6,35
Maio	700	5,21	31	5,78
Junho	700	5,24	30	5,94
Julho	700	5,44	31	5,53
Agosto	700	5,95	31	5,06
Setembro	700	6,18	30	5,03
Outubro	700	6,37	31	4,73
Novembro	700	6,37	30	4,88
Dezembro	700	5,97	31	5,04
TOTAL	8400	5,73	MAIOR	6,35
MÉDIA	700	MÉDIA	MENOR	4,73
			MÉDIA PONDERADA	5,35

Fonte: próprio autor (2020)

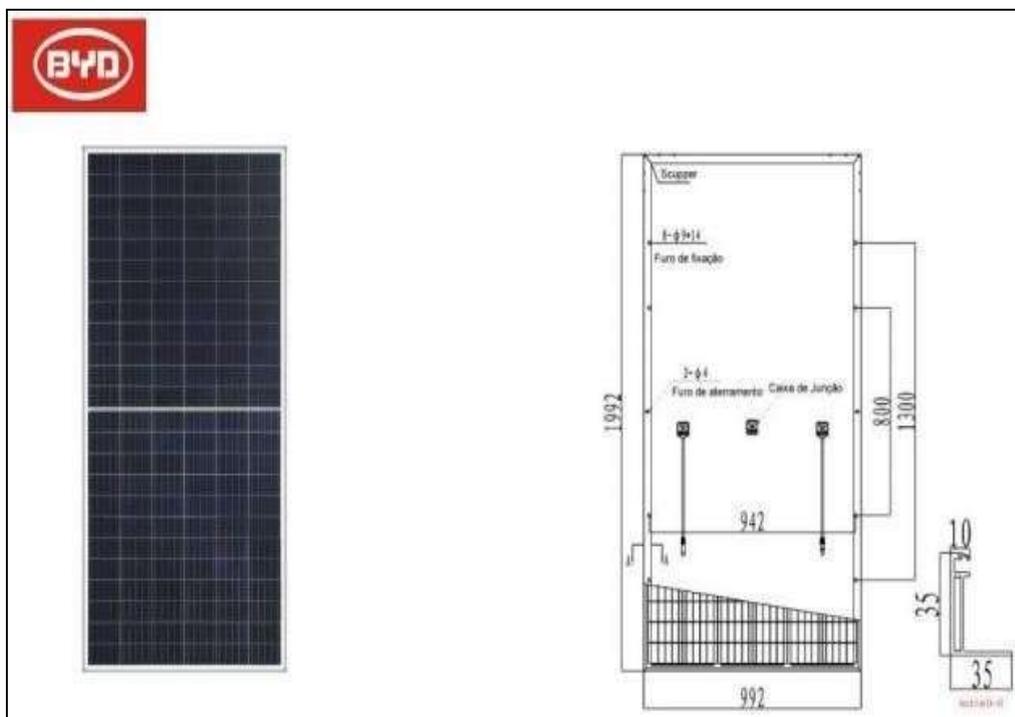
Fazendo o cálculo do dimensionamento mês a mês, observa-se que o sistema dimensionado varia entre 4,73kWp e 6,35kWp, dependendo da quantidade de dias do mês em questão e do índice de irradiação horizontal global do período. Como o sistema vai gerar energia na modalidade de geração distribuída, gerando créditos nos meses onde a geração foi maior que o consumo, será dimensionado pela média ponderada, no caso de 5,35kWp. Para se determinar a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários para alimentar essa potência a ser gerada pelo sistema, deve-se considerar a potência individual de cada módulo.

4.3 Quantidade de Módulos Fotovoltaico

Para esse projeto, foi utilizado o módulo solar BYD PHK-36-SERIES-5BB de 335Wp de fabricação chinesa, com eficiência superior a 17%, cujo datasheet pode ser verificado nos

anexos ao final desse documento:

Figura 21 – folheto BYD



Fonte: BYD (2020)

Cada um dos módulos tem potência individual de 335Wp. Dessa forma, para prover a potência do sistema dimensionado, serão necessárias a instalação de 16 (dezesesseis) módulos fotovoltaicos, que totalizam uma potência de $(16 \times 335\text{Wp} = 5,36\text{kWp})$. Portanto, $\text{PFV} = 5,36\text{kWp}$.

Os módulos têm dimensões de 1992mm x 992mm x 35mm (1,992m x 0,992m x 0,035m), ocupando uma área de aproximadamente 1,98m². Portanto, os 16 módulos fotovoltaicos vão ocupar uma área total de $16 \times 1,98\text{m}^2 = 31,68\text{m}^2$ ou, arredondando, 32m².

4.4 Inversor

Além dos módulos fotovoltaicos, para a conversão da energia elétrica gerada (corrente contínua) para uma forma que possa ser utilizada pelas cargas instaladas (corrente alternada), se faz necessária a instalação de um inversor dimensionado conforme a potência do sistema (5,36kWp). Assim, para o sistema em questão foi utilizado 1 (um) inversor GROWATT, monofásico, Modelo MIN-5000-TL de 5kW, cujo datasheet também pode ser encontrado nos anexos deste documento.

Figura 22 – INVERSOR GROWATT.



Fonte: growatt, 2020

Portanto:

Potência Nominal do Sistema: 5,0kW

Corrente Nominal:

$$I_N = \frac{P_{INV}}{220V} \rightarrow I_N = \frac{5,0kW}{220V} \rightarrow I_N = 22,72A$$

O sistema de conversão é composto por um inversor de string monofásico de classe de potência de 5kW, particularmente adequado para sistemas pequenos. Possui proteção IP 65 – proteção confiável contra poeira e água, portanto, permite a instalação ao ar livre sem qualquer problema. As tampas são em alumínio que não enferrujam, bem como as conexões Plug&Play permitem uma fácil instalação.

Operação e monitoramento através de display gráfico, interface RS485 integrada e conexão WiFi. Eficiência de até 98%. Possui duplo rastreamento das 2 MPPTs com eficiência superior a 99,9%. Possui sistema de gerenciamento inteligente da rede através da capacidade de limitar a potência reativa e a potência de saída, quer como potência zero ou como potência ajustável para limitar a exportação.

O sistema de conversão faz uma transferência de potência confiável à rede de distribuição, em conformidade com os requisitos técnicos e normas de segurança vigentes. Os valores de tensão e corrente do dispositivo de entrada são compatíveis com o sistema fotovoltaico, enquanto os valores de saída são compatíveis com os valores da rede ao qual está conectado ao sistema.

As principais características do inversor adotado são:

- Entrada do gerador CC gerenciado com pólos não ligados à terra.
- Conforme as normas gerais de limitação de Emissões EMF e RF: Conformidade IEC 110-1, IEC 110- 6, IEC 110-8.
- Certificado de Registro no INMETRO sob o nº 006596/2019;
- Proteção de desligamento da rede quando o sistema estiver fora da faixa de tensão e frequência da rede e com falha de sobrecorrente, conforme os requisitos da IEC 11-20 e normas da distribuidora de energia elétrica local. Reset automático das proteções de início automático. - Em conformidade com a ABNT.
- Grau de proteção adequado a localização nas proximidades do campo fotovoltaico (IP65).
- Declaração de conformidade do fabricante de acordo com normas técnica aplicáveis, com referência aos ensaios realizados por institutos certificadores.
- Tensão de entrada adequada para o intervalo de tensão de saída do gerador fotovoltaico.
- Máxima eficiência $\geq 90\%$ a 70% da potência nominal.

Na figura 23 é apresentado características de como o inversor irá trabalhar na residência em estudo.

Figura 23 – Características do Inversor

Características do Inversor			
Modelo		Nº MPPT	Potência
GROWATT MIN-5000-TL-X		2	5,0 kW
Potência		Superfície	
MPPT - 01	2,50 kW	Laje	
MPPT - 02	2,50 kW	Laje	
	Total de Módulos	Número de Strings	Módulos por String
MPPT - 1	8	1	8
MPPT - 2	8	1	8

Fonte: SolarGroup (2020)

Figura 24 – Características do Sistema

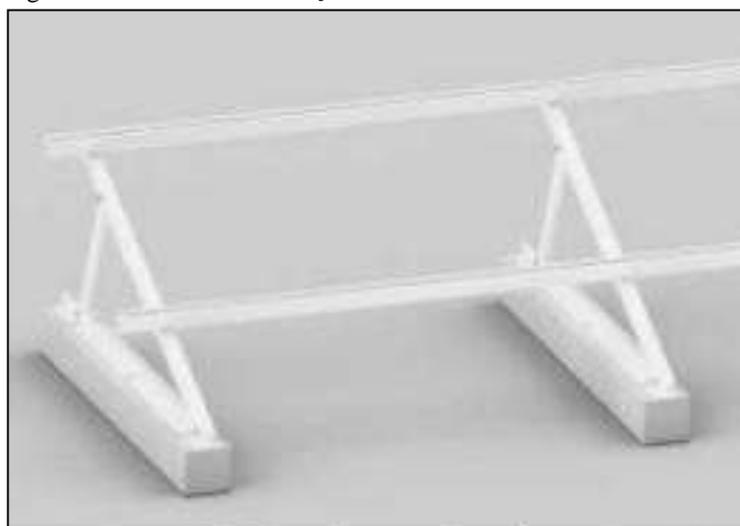
FDI do Inversor	107,20 %	
Sistema	MPPT 01	MPPT 02
FDI	107,20 %	107,20 %
Nº de módulos	8	8
Nº de strings	1	1
Módulos por string	8	8
Vccmax(inv)	550 V	550 V
Voc (5°C)	385,33 V	385,33 V
Vmpptmax(inv)	500 V	500 V
Vmaxpot (5°C)	304,80 V	304,80 V
Vmaxpot (75°C)	304,80 V	304,80 V
Vmpptmín(inv)	80 V	80 V
Vstart(inv)	80 V	80 V
Isc(inv)	16 A	16 A
Isc (75°C)	9,56 A	9,56 A
Iccmax(inv)	12,5 A	12,5 A
Imp (75°C)	9,08 A	9,08 A
Potência por MPPT	2,68 kW	2,68 kW
Área por MPPT	15,81 m²	15,81 m²
Energia Gerada por MPPT	4178,1 kWh	4178,1 kWh

Fonte: SolarGroup (2020)

4.5 Estrutura de Fixação

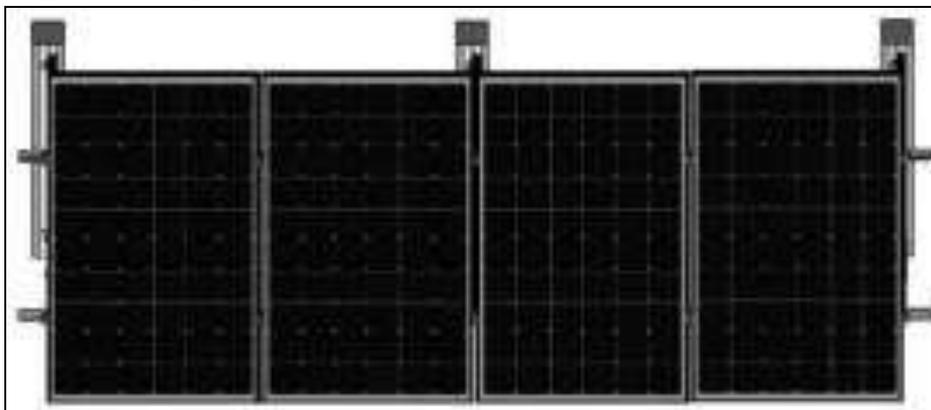
A cobertura do cliente é formada por laje impermeabilizada com manta asfáltica, sendo as estruturas de suporte fixadas através de parabolts em lastros de concreto chumbadas quimicamente na laje do cliente. Todas as partes da estrutura de fixação são de alumínio 6060-T5 e os parafusos e porcas de aço inox 304, de forma que a estrutura de fixação resiste ao tempo e às intempéries. Abaixo um esquema ilustrativo de como é feita a fixação dos painéis na cobertura:

Figura 25 – Estrutura de fixação em Alumínio 6060-T5



Fonte: SolarGroup (2020)

Figura 26 – Kit para 4 módulos



Fonte: SolarGroup (2020)

O inversor projetado possui duas MPPTs, sendo cada uma delas com um par de entrada CC. O sistema projetado é composto por 16 módulos fotovoltaicos, divididos em 2 strings de 8 painéis, uma em cada MPPT. O SFVCR é composto então por 1 string box para proteção em corrente contínua, conforme ilustrações na figura 28:

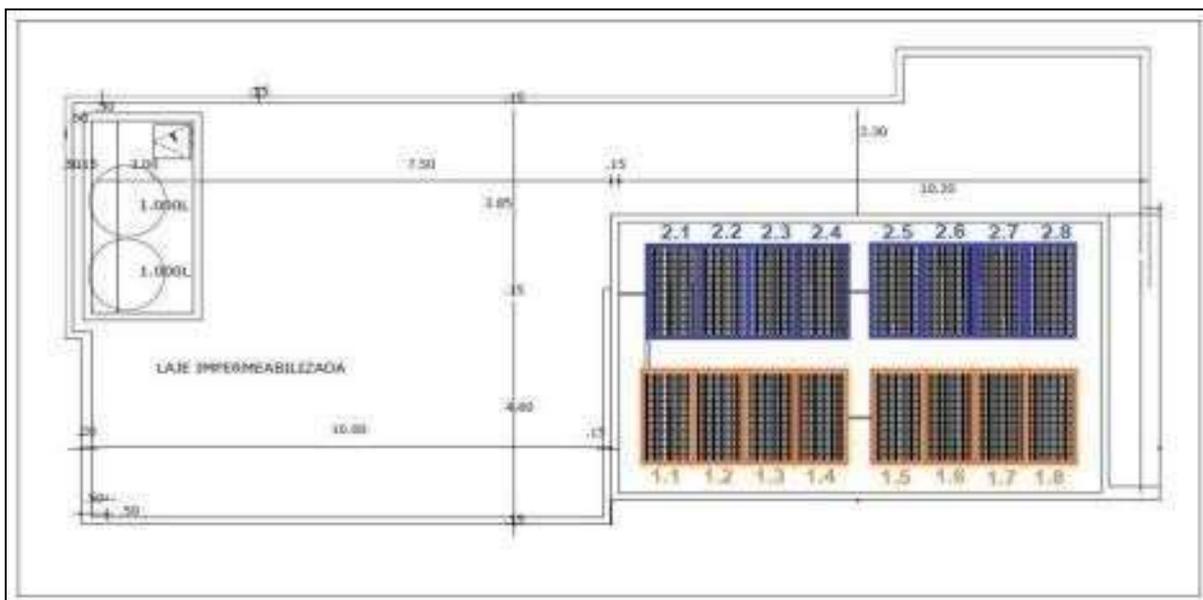
4.6 Layout

A cobertura da residência em estudo possui amplo espaço disponível para instalação dos módulos, com duas lajes existentes, uma superior com pé direito duplo e uma inferior com pé direito convencional. Para a instalação foi considerado a laje com pé direito duplo, por não ter nenhum tipo de sombreamento artificial que possa influenciar na geração do sistema, já que a laje inferior em determinados horários possui sombreamento devido a laje com pé direito duplo.

A laje superior possui 63 m^2 (9×7), espaço suficiente para instalar 16 módulos de aproximadamente 2 m^2 cada (32 m^2). Como os fabricantes recomendam que os módulos estejam a no mínimo 50cm das bordas da edificação para evitar o repuxo do ar, a área real disponível será de 48 m^2 (8×6).

O layout foi configurado em duas strings, a primeira fileira com 8 módulos (1.1 – 1.8), e a segunda fileira também com 8 módulos (2. 1- 2.8), ilustrado na figura 27.

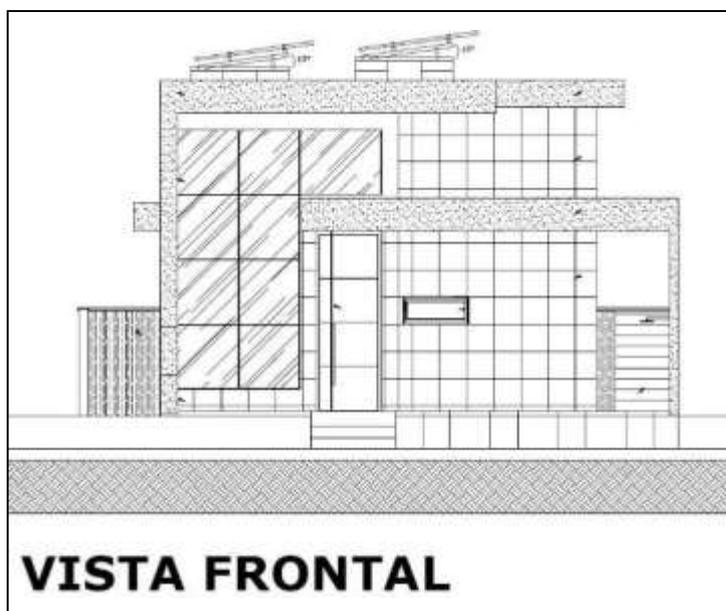
Figura 27 – Layout das Strings



Fonte: Próprio Autor (2020)

Na figura 28 é ilustrado a vista frontal do projeto, com a duas fileiras, sendo a fileira da direita (2.1-2.8) com lastros de dimensões verticalmente maiores em 10cm, evitando que a fileira da esquerda (1.1-1.8) faça sombra na fileira da direita, devido ao curto espaço disponível, onde a distância entre as fileiras será de apenas 1 metro, o que não é suficiente para evitar sombreamento entre fileiras. Dessa forma, foi dimensionado lastros maiores para prevenir qualquer tipo de sombra artificial e maximizar o rendimento do sistema.

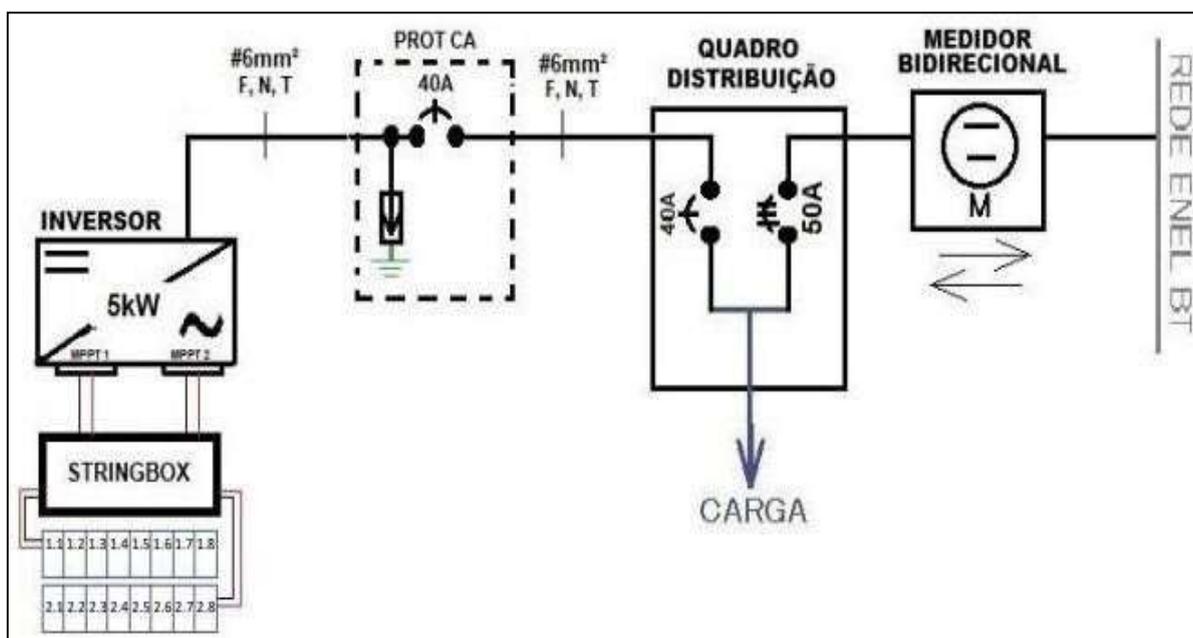
Figura 28 – Vista Frontal da residência



Fonte: Próprio Autor (2020)

Na figura 29, é apresentado um esquema unifilar do sistema fotovoltaico instalado, ilustrando todo encaminhamento que a energia gerada passa até a rede pública da concessionária local.

Figura 29 – Esquema Unifilar



Fonte: Próprio Autor (2020)

4.7 Dimensionamento dos condutores e proteção

O cabeamento elétrico será feito por meio de cabos condutores isolados, conforme a descrição abaixo:

- Seção do condutor de cobre calculado de acordo com a norma IEC / NBR;
- Cabo tipo FG21, se a passagem de cabos for externa ou FG27 se a instalação for subterrânea;
- Tipo N07V-k se a instalação for para dutos em edifícios.
- Os cabos também estarão de acordo com as normas IEC, com código e cores conforme a norma UNEL / NBR. Para não comprometer a segurança dos trabalhadores durante a instalação, verificação ou manutenção, os condutores seguirão a tabela de cores conforme abaixo:
- Cabos de proteção: Amarelo-Verde (Obrigatório);
- Cabos de neutro: Azul claro (Obrigatório);

- Cabos de fase: Cinza/Marrom/Preto;
- Cabos de circuito c.c.: Com indicação específica de (+) para positivo e (-) para negativo.

Como pudemos notar a especificação exposta acima, a seção do condutor do sistema fotovoltaico é superdimensionado, com referimento a corrente e as distâncias limitadas. Com este dimensionamento, a queda de potencial está na faixa de 2% do valor medido a partir de qualquer módulo para o grupo de conversão.

4.7.1 Dos módulos até a *Stringbox*

Os condutores utilizados para a ligação dos módulos em série e para conectar os arranjos a stringbox, distando 4 m, foram do tipo cabo flexível, unipolar, com isolamento duplo, classe de tensão de 1000 V e seção nominal de 4 mm², conforme ilustrado no quadro 1:

Figura 30 – Trecho corrente contínua – Módulos a Stringbox

DESCRIÇÃO	VALOR
Circuitos nas proximidades:	1
Temperatura ambiente:	30°
Tabela:	ABNT NBR 5410 (PVC/EPR)
Instalação:	3(B1) - Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede
Instalações:	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado
Tipo de cabo:	Unipolar
Material:	Cobre
Designação:	N1VV-K
Tipo de isolamento:	PVC
Formação:	2x(1x6)
Nº condutores positivos/fase:	1
Seção positivo / fase:	4 mm ²
Nº condutores negativo/neutro:	1
Seção negativo/neutro:	4 mm ²
Nº condutores PE:	1
Seção PE:	4 mm ²
Tensão nominal:	MPPT1: 341,22V – MPPT2: 389,97V
Corrente de funcionamento:	8,79 A
Corrente de curto-circuito dos módulos:	9,25 A

Fonte: Próprio Autor (2020)

4.7.2 Da *Stringbox* até o Inversor

Os condutores utilizados para conectar a stringbox até o inversor GROWATT, distando 25 m, foram do tipo cabo flexível, multipolar, com isolamento duplo, classe de tensão de 1000 V e seção nominal de 4 mm², conforme ilustrado no quadro 2:

Figura 31 – Trecho corrente continua – stringbox ao inversor

DESCRIÇÃO	VALOR
Circuitos nas proximidades:	1
Temperatura ambiente:	30°
Tabela:	ABNT NBR 5410 (PVC/EPR)
Instalação:	4(B2) - Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede
Instalações:	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado
Tipo de cabo:	Unipolar
Material:	Cobre
Designação:	N1VV-K
Tipo de isolamento:	PVC
Formação:	2x(1x6)
Nº condutores positivos/fase:	1
Seção positivo / fase:	4 mm ²
Nº condutores negativo/neutro:	1
Seção negativo/neutro:	4 mm ²
Nº condutores PE:	1
Seção PE:	4 mm ²
Tensão nominal:	389,97V
Corrente de funcionamento:	8,79 A
Corrente de curto-circuito dos módulos:	9,25 A

Fonte: Próprio Autor (2020)

4.7.3 Inversor ao quadro geral

Os condutores utilizados para a conexão do inversor GROWATT com o QPG, em corrente alternada, para uma fase, um neutro e um terra, são flexíveis, unipolares, com isolamento simples, classe de tensão de 220 V e seção nominal de 6 mm². A residência em estudo possui uma ligação do tipo trifásico, na qual o condutor pode ser conectado em qualquer fase da residência. Na figura 30 é ilustrado a descrição do condutor no trecho.

Figura 32 – Trecho em corrente alternada – Inversor ao quadro geral

DESCRIÇÃO	VALOR
Circuitos nas proximidades:	1
Temperatura ambiente:	30°
Tabela:	ABNT NBR 5410 (PVC/EPR)
Instalação:	4(B2) - Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede
Instalações:	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado
Tipo de cabo:	Multipolar
Material:	Cobre
Designação:	FG70H2R 0.6/1 kV
Tipo de isolamento:	PVC
Formação:	1x(3x6)
Nº condutores fase:	1
Seção fase:	6 mm ²
Nº condutores neutro:	1
Seção neutro:	6 mm ²
Nº condutores PE:	1
Seção PE:	6 mm ²
Tensão nominal:	220V
Corrente de funcionamento:	27,72 A

Fonte: Próprio Autor (2020)

4.8 Quadros Elétricos

O quadro elétrico de proteção em corrente contínua CC (*stringbox*) para conexões em paralelo das strings dos módulos, medições e controle dos dados de entrada e saída do gerador fotovoltaico.

Para a proteção em corrente contínua foram instalados um de par de fusíveis em corrente contínua, dimensionados a partir da corrente de cada string. As duas MPPT's possuem uma string com 8 painéis em série, cada uma com corrente nominal de 8,79A. Portanto, foram instalados a proteção CC com fusíveis CC 15A – 600V.

Foi também instalado um DPS Fotovoltaico, Classe II, 750Vcc, 20kA e uma chave seccionadora para seccionamento do circuito em CC. Quadro elétrico de proteção em corrente alternada – foi instalado um quadro de proteção CA, localizado logo após o inversor, para realização da medição e controle dos dados de saída do inversor.

O quadro de proteção é composto por DPS CA Classe II, 175Vca, 5kA e disjuntor monopolar de 40A. Quadro de distribuição da residência em estudo, existente, com disjuntor geral de alimentação monopolar de 50A, no qual foi instalado um disjuntor monopolar de 40A para alimentação do circuito do sistema de energia solar fotovoltaico.

4.8.1 Isolação Galvânica e Aterramento

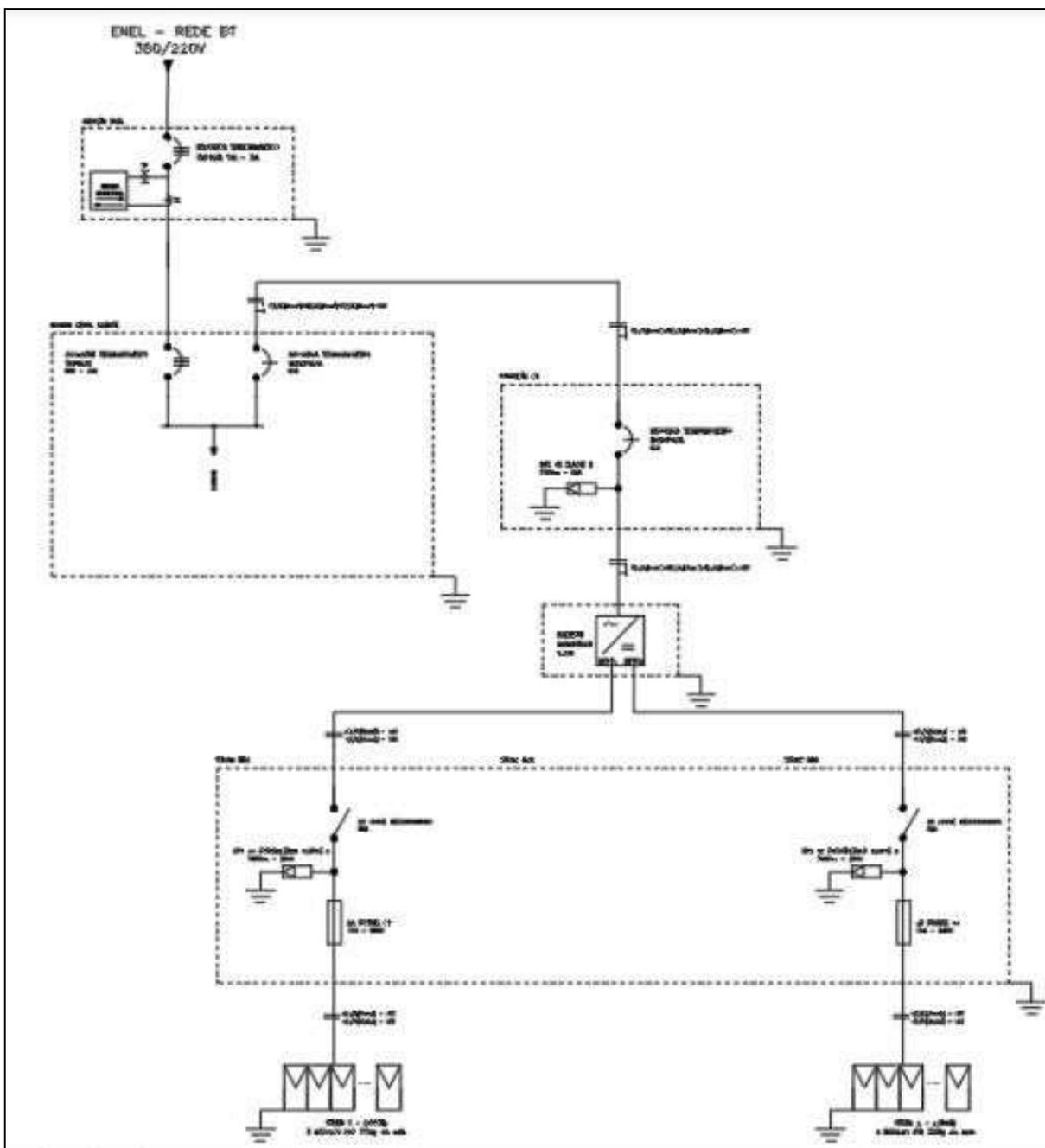
É previsto o isolamento galvânico entre a corrente contínua do sistema fotovoltaico e a rede. Soluções técnicas diversas podem ser utilizadas e são aceitáveis desde que respeitem as normas vigentes e de boas práticas. O sistema fotovoltaico será supervisionado por um sistema IT, sem o polo aterrado.

Os conjuntos dos módulos serão apresentados pelo número de módulos fotovoltaicos individualmente desligáveis; o sistema possui diodos de bloqueio e proteção contra surtos. Por razões de segurança, se alguma parte da rede não suportar uma maior intensidade de corrente, esses sistemas devem ser protegidos individualmente. A estrutura de suporte será aterrada.

4.9 Diagrama Unifilar

A figura abaixo apresenta o diagrama unifilar do sistema fotovoltaico, composto por DPS fotovoltaico, disjuntores termomagnéticos, aterramento entre outros.

Figura 33 – Diagrama Unifilar Geral



Fonte: Próprio Autor (2020)

4.10 Resumo do Gerador

O gerador é composto por 16 módulos fotovoltaicos de silício monocristalino com uma vida útil estimada de mais de 25 anos e degradação da produção devido ao envelhecimento de 0,8 % ao ano. Foi considerada uma taxa de performance do sistema (performance ratio) de 75%. Na figura 34 e 35 é ilustrado o resumo do sistema, desde a área utilizada a energia gerada, como também, algumas especificações dos módulos.

Figura 34 – Resumo dos Sistemas

Resumo dos Sistemas	
Número de Módulos	16
Área utilizada	31,68 m ²
Potência de Módulos	5,36 kW
Potência de Inversores	5,0 kW
Energia Gerada	8.356,27 kWh
Energia Consumida	8.400,00 kWh
Geração / Consumo	99,48 %
<i>Performance Ratio</i>	75%

Fonte: Próprio Autor (2020)

Figura 35 – Especificações módulos

Módulos				
Modelo do Módulo	BYD 335-PHK-36 335Wp			
Potência	335,00 Wp	Rendimento	17 %	
Corrente de curto circuito - I _{sc}	9,25 A	Tensão de circuito aberto - Voc	45,44 V	
Corrente de máxima potência - I _{maxp}	8,79 A	Tensão de máxima potência - V _{maxp}	38,10 V	
γ (P _{max})	-0,37 %/°C	α (I _{sc})	0,066 %/°C	
β (Voc)	-0,3 %/°C	Peso:	22,2kg	
Comprimento	1992 mm	Largura	992 mm	Espessura 35 mm

Fonte: Próprio Autor (2020)

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor. Os módulos devem estar conectados ao aterramento entre si e na stringbox, protegidos por DPS Fotovoltaico Classe II, com indicação ótica de fora de serviço.

Resumo geral do Sistema:

- 16 módulos fotovoltaicos BYD PHK-36-SERIES-5BB de 335Wp;
- kits de montagem para 4 painéis em laje;
- Cabo solar #4mm² Prysmian ou similar na cor vermelha;
- Cabo solar #4mm² Prysmian ou similar na cor preta;
- 1 quadro de proteção em c.c. (string box);
- 1 Inversor GROWATT Modelo MIN-5000-TL de 5,0kW;

Cabo Flexível 1kV #6mm² do inversor até o quadro de proteção CA e deste até o

quadro de distribuição geral do cliente.

5.0 RESULTADOS

5.1 Dados do Monitoramento

O sistema fotovoltaico da Empresa X foi instalado entre os dias 10 de Setembro e 16 de setembro de 2020. As informações de geração de energia diária do inversor são informadas pelo aplicativo da fabricante. Como o sistema possui pouco tempo de instalação, serão utilizados para o cálculo dos resultados a geração do dia 20/09 até o dia 13/11, como é mostrado na tabela 1:

Tabela 1 – Geração Diária

GERAÇÃO DIÁRIA (kWh) - 2020			
DIA	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO
1	-	21,7	29
2	-	31,6	29,2
3	-	30,9	18,3
4	-	31,9	26,9
5	-	28,6	29,8
6	-	30	30,4
7	-	29,3	29,8
8	-	29,7	29,6
9	-	30	28,8
10	Instalação	32,4	25,6
11	Instalação	31	26
12	Instalação	30,9	27,3
13	Instalação	30,9	29,2
14	Instalação	30	-
15	Instalação	31,2	-
16	Instalação	31,8	-
17	-	31,2	-
18	-	33,4	-
	Troca do		
19		31,2	-
20	1,4	29,4	-
21	1	31,4	-
22	22,8	20,4	-
23	30,5	30	-
24	31,1	26	-
25	31,9	26,2	-

26	28,1	29,5	-
27	30,3	30,4	-
28	24,1	30	-
29	31,6	29,2	-
30	31,6	29,2	-
31	-	31,1	-
Total	264,4	920,5	359,9

Fonte: Próprio Autor (2020)

No primeiro mês de geração, pode se observar que o sistema só começou a produção de energia a parti do dia 20 de setembro, mas devido a queda de energia da rede pública na região, a geração foi interrompida pela manhã nos dois primeiros dias, gerando um valor irrisório em comparação aos demais dias. No dia 22/11 o sistema gerou 23kWh.

No mês de outubro, o sistema gerou um total de 920,50kWh, com valor máximo de 33,4kWh no dia 18 de outubro. Uma média na geração de 29,69kWh/dia.

5.2 Estimativa de geração

Para o estudo, iremos utilizar como parâmetro a Performance Rácio (PR), que contabiliza todas as perdas envolvidas no sistema, como perdas por temperatura, queda de tensão, eficiência do inversor, sombra, sujeira, posicionamento dos módulos, entre outras.

O PR irá avaliar a geração real do projeto em relação a sua geração teórica máxima possível, e é comumente utilizado no valor de 75%, ou seja, o sistema possui uma perda de geração na ordem de 25%. Para análise do estudo, será encontrado um novo valor de PR e utilizado para prever a geração futura do sistema, o PR é entrado pela seguinte formula

$$PR = \frac{\text{energia gerada}}{\text{energia teórica}}$$

Para encontrar a Energia teórica máxima, é necessário utilizar a seguinte expressão:

$$\text{Energia teórica} = I \times t \times A \times R$$

Onde:

- I é a Irradiação Horizontal Global do local em kWh/m² por dia;
- T é tempo de análise em dias;

- A Área em m² ocupada pelos módulos do sistema de geração fotovoltaico;
- R é Rendimento do módulo (dividido por 100);

Tabela 2 – Geração teórica máxima possível

Geração teórica máxima possível	
Irradiação (kWh/m ² .dia	6,37
Área total (m ²)	31,68
Tempo (dias)	31
rendimento do módulo	17%
Geração Teórica	1029,19

Fonte: Próprio Autor (2020)

Para o cálculo da estimativa, será usado como exemplo apenas o mês de outubro, único mês que possui dados diários completos. Os meses com poucos dias válidos de produção, como setembro e novembro, pode ocasionar problemas no cálculo de geração média diária por mês devido ao curto período a ser analisado.

Tabela 3 – Novo Performance Rácio

PR - out/2020	
Energia Gerada	920,5
Energia Teórica	1029,19
Novo PR	89,44%

Fonte: Próprio Autor (2020)

Como não é possível estimar com exatidão as possíveis perdas do sistema, os fabricantes recomendam utilizar o valor de PR entre 75% a 85%, ficando a critério do projetista utilizar, de acordo com as características do local, o valor mais provável para o correto dimensionamento. No estudo, utilizaremos o valor máximo recomendado de 85%, visando atender as recomendações das fabricantes internacionais, e muito próximo do valor calculado. Na tabela 4 apresenta a geração no primeiro ano, ainda desconsiderando a degradação por envelhecimento anual.

Tabela 4 – Geração com PR atualizada

Período	Irradiação (kWh/m².dia)	DIA S	PFV (potência do sistema)	PR	GERAÇÃO (kWh)
OUT	6,37	31	5,36	0,85	899,67

NOV	6,37	30	5,36	0,85	870,65
DEZ	5,97	31	5,36	0,85	843,18
JAN	5,72	31	5,36	0,85	807,87
FEV	5,81	28	5,36	0,85	741,17
MAR	5,61	31	5,36	0,85	792,33
ABR	4,9	30	5,36	0,85	669,73
MAI	5,21	31	5,36	0,85	735,84
JUN	5,24	30	5,36	0,85	716,20
JUL	5,44	31	5,36	0,85	768,32
AGO	5,95	31	5,36	0,85	840,35
SET	6,18	30	5,36	0,85	844,68
				TOTAL	9530,01

Fonte: Próprio Autor (2020)

Será considerado também a degradação da produção devido ao envelhecimento do sistema de 0,8 % ao ano, valor fornecido pela fabricante, estimando a geração aos longos dos 25 anos de garantia de eficiência que o módulo possui.

Tabela 5 – Estimativa de Geração

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO		
Degradação da Produção devido ao envelhecimento de 0,8 % ao ano		
0	Out/Ano	Geração (kWh)
1	2021	9453,77
2	2022	9378,14
3	2023	9303,12
4	2024	9228,69
5	2025	9154,86
6	2026	9081,62
7	2027	9008,97
8	2028	8936,90
9	2029	8865,40
10	2030	8794,48
11	2031	8724,13
12	2032	8654,33
13	2033	8585,10
14	2034	8516,42
15	2035	8448,29
16	2036	8380,70
17	2037	8313,65
18	2038	8247,14

19

2039

8181,17

20	2040	8115,72
21	2041	8050,79
22	2042	7986,39
23	2043	7922,49
24	2044	7859,11
25	2045	7796,24
	TOTAL	214987,6
	L	4

Fonte: Próprio Autor (2020)

O sistema irá gerar, ao longo dos 25 anos de eficiência garantida, um valor acumulado de 214987,64kWh, uma diferença de 17,53% do primeiro ao último ano.

Para entender melhor a diferença que o PR pode ocasionar na geração de energia do sistema, foi elaborado uma tabela apresentando os valores de geração com os diferentes PR's.

Tabela 6 – Comparação entre as gerações com diferentes PR's

PR	Dimensionado	Real	Utilizado
	75%	89,44%	85%
1	8341,56	9947,59	9453,77
2	8274,83	9868,01	9378,14
3	8208,63	9789,07	9303,12
4	8142,96	9710,76	9228,69
5	8077,82	9633,07	9154,86
6	8013,2	9556,01	9081,62
7	7949,09	9479,56	9008,97
8	7885,5	9403,72	8936,90
9	7822,42	9328,49	8865,40
10	7759,84	9253,86	8794,48
11	7697,76	9179,83	8724,13
12	7636,18	9106,39	8654,33
13	7575,09	9033,54	8585,10
14	7514,49	8961,27	8516,42
15	7454,37	8889,58	8448,29
16	7394,73	8818,47	8380,70
17	7335,58	8747,92	8313,65
18	7276,89	8677,94	8247,14
19	7218,68	8608,51	8181,17
20	7160,93	8539,64	8115,72
21	7103,64	8471,33	8050,79
22	7046,81	8403,56	7986,39
23	6990,44	8336,33	7922,49
24	6934,51	8269,64	7859,11
25	6879,04	8203,48	7796,24

Total	189694,97	226217,58	214987,64
--------------	------------------	------------------	------------------

Fonte: Próprio Autor (2020)

Como pode ser visto na tabela 03, os valores de geração variam de acordo com o PR utilizado. A diferença entre o gerado e o dimensionado é de 36.522,61kWh, ou em valores atuais, R\$ 28.147,61. Para análise do estudo, o PR utilizado de 85% mostra uma redução em comparação com o real de 11.229,94 kWh, ou seja, R\$8.554,80.

5.3 Valor Presente Líquido (VPL)

O valor total do investimento no sistema fotovoltaico da residência X, foi de R\$ 22.500,00 (Vinte e Dois Mil e Quinhentos Reais) conforme o ANEXO H. O valor foi pago a visto e não teve nenhum espécie de juros que altere o valor do investimento. A conta de energia do mês de Maio de 2020 da residência X, ver ANEXO G, fornece o valor de R\$ 0,77069 por quilowatt-hora (kWh) consumido.

Para o cálculo do Valor Presente Líquido, foram consideradas alguma informações, como manutenção de 1% do valor da obra ao ano e a tarifa energética.

Tabela 7 – Valor Presente Líquido

ANO	Geração (kWh)	Valor (reais)	Manutenção (R\$)	Valor final
2021	9453,77	R\$ 7.285,93	R\$ 225,00	R\$ 7.060,93
2022	9378,14	R\$ 7.227,64	R\$ 225,00	R\$ 7.002,64
2023	9303,11	R\$ 7.169,82	R\$ 225,00	R\$ 6.944,82
2024	9228,69	R\$ 7.112,46	R\$ 225,00	R\$ 6.887,46
2025	9154,86	R\$ 7.055,56	R\$ 225,00	R\$ 6.830,56
2026	9081,62	R\$ 6.999,11	R\$ 225,00	R\$ 6.774,11
2027	9008,97	R\$ 6.943,12	R\$ 225,00	R\$ 6.718,12
2028	8936,90	R\$ 6.887,58	R\$ 225,00	R\$ 6.662,58
2029	8865,40	R\$ 6.832,48	R\$ 225,00	R\$ 6.607,48
2030	8794,48	R\$ 6.777,82	R\$ 225,00	R\$ 6.552,82
2031	8724,12	R\$ 6.723,59	R\$ 225,00	R\$ 6.498,59
2032	8654,33	R\$ 6.669,81	R\$ 225,00	R\$ 6.444,81
2033	8585,09	R\$ 6.616,45	R\$ 225,00	R\$ 6.391,45
2034	8516,41	R\$ 6.563,52	R\$ 225,00	R\$ 6.338,52
2035	8448,28	R\$ 6.511,01	R\$ 225,00	R\$ 6.286,01
2036	8380,70	R\$ 6.458,92	R\$ 225,00	R\$ 6.233,92
2037	8313,65	R\$ 6.407,25	R\$ 225,00	R\$ 6.182,25
2038	8247,14	R\$ 6.355,99	R\$ 225,00	R\$ 6.130,99
2039	8181,16	R\$ 6.305,14	R\$ 225,00	R\$ 6.080,14
2040	8115,72	R\$ 6.254,70	R\$ 225,00	R\$ 6.029,70

2041	8050,79	R\$ 6.204,66	R\$ 225,00	R\$ 5.979,66
2042	7986,38	R\$ 6.155,03	R\$ 225,00	R\$ 5.930,03
2043	7922,49	R\$ 6.105,79	R\$ 225,00	R\$ 5.880,79
2044	7859,11	R\$ 6.056,94	R\$ 225,00	R\$ 5.831,94
2045	7796,24	R\$ 6.008,48	R\$ 225,00	R\$ 5.783,48
TOTAL	214987,57	R\$ 165.688,77	R\$ 5.625,00	R\$ 160.063,77
			Investimento	-R\$ 22.500,00
			VPL	R\$ 137.563,77

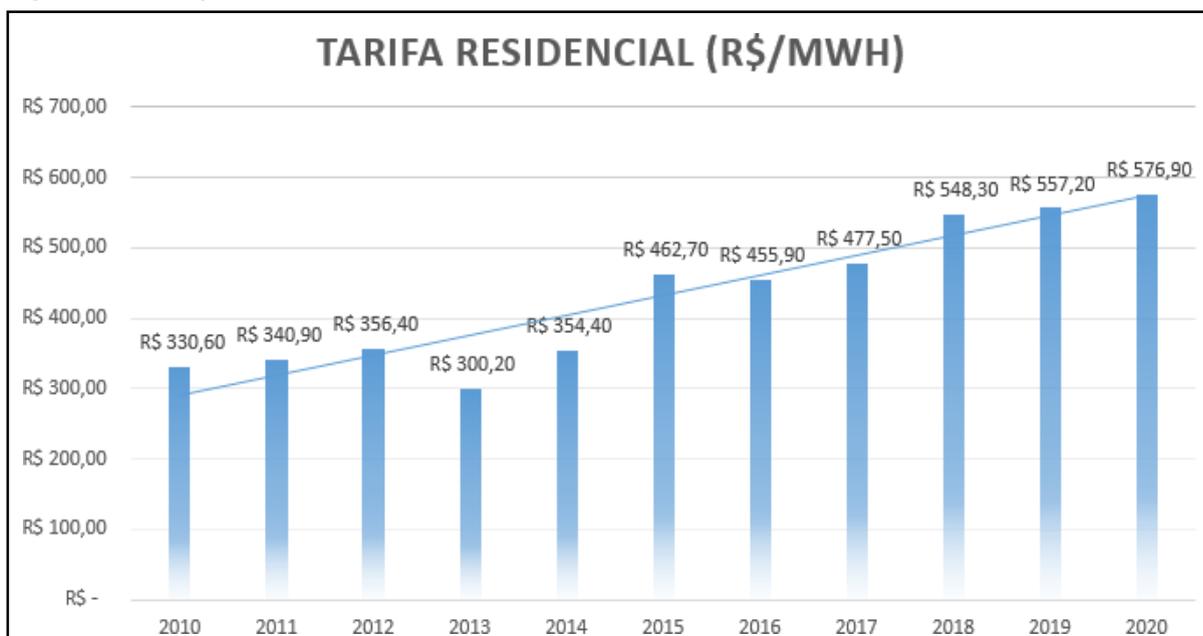
Fonte: Próprio Autor (2020)

Se desconsiderarmos o aumento da tarifa energética, o valor acumulado subtraindo o investimento obtem-se um montante na ordem de R\$ 137.563,77, com um tempo de retorno de aproximadamente 3,22 anos, ou seja, 3 anos e 2 meses e meio.

5.4 Payback

Para encontrar o valor do payback mais próximo da realidade, é necessário considerar todas as variáveis existentes, dentre elas a mais importante está o reajuste anual da tarifa energética, que influencia diretamente na economia gerada pelo sistema fotovoltaico. Na tabela abaixo, estão listados as variações do reajuste dos últimos 10 anos, do qual será realizada uma média para que seja utilizado no cálculo do *payback* final. (ANEEL,2020)

Figura 30 – Variação da tarifa residencial nos últimos 10 anos



Fonte: Próprio Autor (2020)

Nos últimos 10 anos a tarifa residencial, determinada em R\$/MWh, oscilou em reduções e aumentos, mas comparando entre os anos de 2010 e 2020, a tarifa obteve um aumento de 42,7%, uma média de 4,27% ao ano, com a variação máxima localizada entre os anos de 2014 e 2015, com um aumento de 24,22% em apenas um ano.

Na tabela 8, o cálculo

Tabela 8 – Fluxo de Caixa Acumulado do Investimento

Ano	Geração (kWh)	Valor (R\$/Ano)	Manutenção (R\$)	Valor Tarifa Normal (R\$/Ano)	Valor Tarifa Reajustada (R\$/Ano)	Valor Acumulativo (R\$/Ano)
0	0	0	0	0	0	-R\$ 22.500,00
2021	9453,77	R\$ 7.285,93	R\$ 225,00	R\$ 7.060,93	R\$ 7.060,93	-R\$ 15.439,07
2022	9378,14	R\$ 7.227,64	R\$ 225,00	R\$ 7.002,64	R\$ 7.305,94	-R\$ 8.133,13
2023	9303,11	R\$ 7.169,82	R\$ 225,00	R\$ 6.944,82	R\$ 7.559,46	-R\$ 573,68
2024	9228,69	R\$ 7.112,46	R\$ 225,00	R\$ 6.887,46	R\$ 7.821,77	R\$ 7.248,09
2025	9154,86	R\$ 7.055,56	R\$ 225,00	R\$ 6.830,56	R\$ 8.093,18	R\$ 15.341,28
2026	9081,62	R\$ 6.999,11	R\$ 225,00	R\$ 6.774,11	R\$ 8.374,02	R\$ 23.715,29
2027	9008,97	R\$ 6.943,12	R\$ 225,00	R\$ 6.718,12	R\$ 8.664,60	R\$ 32.379,89
2028	8936,90	R\$ 6.887,58	R\$ 225,00	R\$ 6.662,58	R\$ 8.965,26	R\$ 41.345,15
2029	8865,40	R\$ 6.832,48	R\$ 225,00	R\$ 6.607,48	R\$ 9.276,35	R\$ 50.621,50
2030	8794,48	R\$ 6.777,82	R\$ 225,00	R\$ 6.552,82	R\$ 9.598,24	R\$ 60.219,74
2031	8724,12	R\$ 6.723,59	R\$ 225,00	R\$ 6.498,59	R\$ 9.931,30	R\$ 70.151,05
2032	8654,33	R\$ 6.669,81	R\$ 225,00	R\$ 6.444,81	R\$ 10.275,92	R\$ 80.426,96
2033	8585,09	R\$ 6.616,45	R\$ 225,00	R\$ 6.391,45	R\$ 10.632,49	R\$ 91.059,45
2034	8516,41	R\$ 6.563,52	R\$ 225,00	R\$ 6.338,52	R\$ 11.001,44	R\$ 102.060,89
2035	8448,28	R\$ 6.511,01	R\$ 225,00	R\$ 6.286,01	R\$ 11.383,19	R\$ 113.444,08
2036	8380,70	R\$ 6.458,92	R\$ 225,00	R\$ 6.233,92	R\$ 11.778,19	R\$ 125.222,27
2037	8313,65	R\$ 6.407,25	R\$ 225,00	R\$ 6.182,25	R\$ 12.186,89	R\$ 137.409,16
2038	8247,14	R\$ 6.355,99	R\$ 225,00	R\$ 6.130,99	R\$ 12.609,77	R\$ 150.018,93
2039	8181,16	R\$ 6.305,14	R\$ 225,00	R\$ 6.080,14	R\$ 13.047,33	R\$ 163.066,26
2040	8115,72	R\$ 6.254,70	R\$ 225,00	R\$ 6.029,70	R\$ 13.500,08	R\$ 176.566,34
2041	8050,79	R\$ 6.204,66	R\$ 225,00	R\$ 5.979,66	R\$ 13.968,53	R\$ 190.534,87
2042	7986,38	R\$ 6.155,03	R\$ 225,00	R\$ 5.930,03	R\$ 14.453,24	R\$ 204.988,10
2043	7922,49	R\$ 6.105,79	R\$ 225,00	R\$ 5.880,79	R\$ 14.954,76	R\$ 219.942,87
2044	7859,11	R\$ 6.056,94	R\$ 225,00	R\$ 5.831,94	R\$ 15.473,69	R\$ 235.416,56
2045	7796,24	R\$ 6.008,48	R\$ 225,00	R\$ 5.783,48	R\$ 16.010,63	R\$ 251.427,19

Fonte: Próprio Autor (2020)

O Fluxo de Caixa Acumulado do Investimento (FCAI) deixa de ser negativo entre o

terceito e quarto ano, porém, para encontrar o tempo de retorno do investimento (*payback*) é necessário que o fluxo de caixa acumulado se torne zero no decorrer do tempo. No momento em que o fluxo de caixa se tornar zero, o investimento deixa de ser negativo e passa a ser positivo, apenas dividindo o valor a ser investido pela economia gerada anualmente, vemos que em menos de 3 anos e 1 mês, o investimento já traria retorno.

Em comparação com o *payback* calculado, desconsiderando o reajuste tarifário, houve uma redução de 2 meses no tempo de retorno. Na figura abaixo apresenta o fluxo de caixa acumulado do investimento no decorrer dos 25 anos de garantia de eficiência dos módulos fotovoltaicos.

Figura 29 – Fluxo de caixa acumulado do sistema



Fonte: Próprio Autor (2020)

Ao longo dos 25 anos o sistema começa negativo com o valor do investimento de R\$ 22.500,00, e finaliza com um valor acumulado na ordem de R\$ 251.427,19.

5.5 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é usada para avaliar a atratividade de um projeto ou investimento, assim, se a TIR de um projeto exceder a taxa mínima de atratividade, nesse caso considerada igual a

SELIC, que normalmente é um ativo livre de risco de uma economia que pode ser utilizado para este fim, considerando como 10%, ignorando as recentes baixas desse indicador. (ABREU FILHO, 2018)

$$VPL = 0 = \sum_{t=1}^n \frac{F_{c_t}}{(1+i)^t} - Investimento\ inicial \quad (1)$$

$$TIR = i = 0,3466 \text{ ou } TIR = 34,66\% \quad (2)$$

Para esse caso, como a TIR é maior que a TMA (SELIC) considera-se que o projeto é viável.

5.6 Taxa de retorno sobre o investimento (ROI)

A taxa de retorno sobre o investimento, ou em inglês, *Return On Investment* (ROI), é um parâmetro que demonstra a qualidade do investimento, ou seja, quanto maior o ROI, maior será retorno do investimento, identificando se será vantajoso ou não.

O ROI é calculado da seguinte maneira:

$$ROI = \frac{R\$ 251.427,19 - R\$ 22.500,00}{R\$ 22.500,00} = \frac{R\$ 228.927,19}{R\$ 22.500,00}$$

$$ROI = 10,1745 \approx 1017,45\%$$

O ROI foi de 10,17 vezes o investimento inicial, multiplicando por 100 para obter o valor percentual, encontra-se o investimento com 1017% de retorno.

5.7 Sustentabilidade

Como o sistema fotovoltaico gera a energia elétrica sem qualquer tipo de emissão de poluentes o ganho ambiental passa a ser grande quando se utiliza a energia solar ao invés da energia convencional. pode-se calcular a redução de CO² emitido na atmosfera, como também a equivalência do plantio de arvores de acordo com as seguintes formulas:

$$\begin{aligned} \text{Redução (Kg. CO}^2\text{)} &= \text{Coeficiente de Redução (Kg. } \frac{\text{CO}^2}{\text{kWh}}\text{)} \\ &= x \text{ Geração Total (kWh)} \end{aligned}$$

$$0,5317 \times 214.987,57 = 114.308,89 \text{Kg. CO}^2$$

Na fórmula abaixo, apresenta a equivalência do plantio de árvores:

$$1 \text{ Árvore} = 140 \text{kg. CO}^2$$

$$\frac{114.308,89}{140} = 816,5 \text{ árvores} \approx 817 \text{ árvores}$$

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi realizado com o objetivo de apresentar um sistema fotovoltaico específico, analisando a sua capacidade de geração anual, considerando todas as premissas que afetam o rendimento do sistema e consequentemente a viabilidade econômica do investimento. Tomando como referência o sistema de 5,36kWp da residência, conectado a rede de baixa tensão da concessionária elétrica ENEL, o estudo demonstrou a facilidade e a viabilidade técnica da instalação do SFCR, mesmo não existindo, até o momento da publicação deste trabalho, uma norma brasileira específica para sistemas de geração de energia conectados a rede de distribuição.

As normas existentes, tais como, NBR 5410:2008, NBR 5419:200, NBR 13570:1996, NBR 14639:2001, 14039:2005, Norma Técnica NT-BR 010 e o módulo 3 do PRODIST conferem aos projetos de SFCR segurança e confiabilidade para unidades consumidoras e distribuidoras de energia. Através dos resultados apresentados é evidente o alto desempenho da instalação.

A arquitetura do empreendimento contribuiu significativamente para o rendimento do sistema, os módulos ficaram dispostos na orientação e também na inclinação consideradas ideias para maximização da geração, comprovado no cálculo do novo PR (89,44%), onde o rendimento mostrou-se superior ao utilizado no cálculo de projeto (75%).

Apesar do estudo ter utilizado apenas o mês de outubro como mês válido, este foi considerado nos cálculos para encontrar os valores das perdas mais próximos da realidade, e

foi comprovado com os cálculos que o sistema poderá ser mais eficiente que o calculado em projeto. A metodologia aplicada serve como estimativa de geração futura, entretanto, as incertezas quanto aos dados meteorológicos futuros são de difícil previsão, portanto as gerações estimadas por dados históricos para sistemas nas melhores condições de instalações apresentarão variações. Entre as premissas apresentadas para o tempo de retorno do investimento se pode considerar que o cálculo foi feito sob perspectiva conservadora.

O ganho sustentável é bem alto, com uma equivalência a um plantio com mais de 800 árvores, tal contribuição é considerada elevada em relação ao tamanho da residência em estudo, gerando um impacto positivo ao meio ambiente.

A redução de potência do sistema foi utilizada de acordo com as recomendações máximas que o fabricante informa, os gastos com a manutenção do sistema, sendo neste incluso uma parte para substituição do inversor a cada 10 anos, não considera a redução do preço dos produtos fotovoltaicos ao decorrer dos anos, a tarifa de energia não considera as bandeiras tarifárias, todas essas premissas tornam a análise uma estimativa conservadora do payback.

O resultado da análise é extremamente satisfatório, como mostrado nos cálculos do fluxo de caixa acumulado, o sistema começará a dar resultados positivos em apenas 3 anos e 1 mês, ou seja, o sistema ainda terá quase 22 anos de funcionamento lucrativo. Avaliando a atratividade do projeto, comparando com a SELIC, o sistema é quase 3,5 vezes o valor considerado o mínimo para que um investimento seja considerado vantajoso.

A metodologia aplicada serve como estimativa de geração futura, entretanto, as incertezas quanto aos dados meteorológicos futuros são de difícil previsão, logo até as gerações estimadas por dados históricos para sistemas nas melhores condições de instalações apresentarão variações.

7. REFERÊNCIAS

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de conversores estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. 2007. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007

RUTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligadas à Rede Elétrica Pública no Brasil**. 1 ed. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

MAMEDE, Daniel R; MAMEDE FILHO, João. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. Rio de Janeiro, 2011.

ABREU FILHO, José Carlos Franco de; CURY, Marcus Vinícius Quintella; GONÇALVES, Danilo Amerio; SOUZA, Cristóvão Pereira de. **Finanças Corporativas**. Rio de Janeiro, 2008.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios da Administração Financeira - 12ª edição**. São Paulo, 2010.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília: ANEEL, 2008.

ANEEL. **BANDEIRAS TARIFÁRIAS**. SITE, 2017a DISPONÍVEL EM: <<http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>> Acesso em: 20 abril. 2020.

BLUESOL, **Energia solar: Como funciona? Tipos de células fotovoltaicas**. Site, 2012. Disponível em: <<http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funcionatiposde-celulas-fotovoltaicas>>. Acesso em: 20 maio. 2020

Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESSSEB). SITE 2008 disponível em: <http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=321>, acesso em: 19 maio 2020.

DOROCHE, Marcos Roberto; ANSCHAU, Cleusa Teresinha. **OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**. Revista Tecnológica / ISSN 2358-9221, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 402-414, mar. 2015. ISSN 2358-9221. Disponível em: <<https://uceff.edu.br/revista/index.php/revista/article/view/45>>. Acesso em: 20 maio 2020.

REIS, L. B. D.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável** Ed. Manole. 2005.

JARDIM, C. S.. **A Inserção da Geração Solar Fotovoltaica em Alimentadores Urbanos Enfocando a Redução do Pico de Demanda Diurno**. Tese. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, p. 149-200, 2012.

GREEN M. A. **Crystalline and Thin Film Silicon Solar Cells: State of the Art and Future Potential**. Solar Energy, n.74, p. 181-192, 2003.

GOMEZ, J.M. Rodríguez et al . **A irradiância solar: conceitos básicos**. Rev. Bras. Ensino Fís., São Paulo , v. 40, n.3, e3312, 2018 disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S180611172018000300412&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 maio 2020.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011.

BEZERRA, Saul Carvalho. **Viabilidade técnica e econômica de solução integrada com uso de banco de capacitores para correção dos excedentes reativos e geradores de energia elétrica, 2018**.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva**. Novos estud. - CEBRAP, São Paulo, n. 79, p. 47-69, nov. 2007. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 Maio 2020.

ANEEL. **Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024**. Nota Técnica n° 0056/2017SRD/ANEEL, 24 de maio de 2017. .

ANEEL. **GERAÇÃO DISTRIBÍDA**. SITE, 2017b DISPONÍVEL EM: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Distribuidora.asp> Acesso em: 18 maio 2020.

CRESESB – Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. 2000. Disponível em: < <http://cresesb.cepel.br/index.php#data>>, acesso em: 20 maio 2020.

BLUESOL, **Energia solar: impactos ambientais**. Site, 2019. Disponível em: < <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-impactos-ambientais/> >. Acesso em: 20 maio. 2020

Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB). SITE, 2016 disponível em: < <http://cresesb.cepel.br/index.php#data>>, acesso em: 20 maio 2020.

ANEEL. Resolução Normativa ANEEL n. **414**, de 9 de setembro de 2010.

ANEEL. Resolução Normativa ANEEL n. **482**, de 17 de abril de 2012.

ANEEL. Resolução Normativa ANEEL n. **687**, de 24 de novembro de 2015.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília: ANEEL, 2008.

ANEEL. **PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Módulo 3: acesso ao sistema de distribuição**. Brasília - DF, 2008.

FLANDOLI, Fabio, **Conceitos: tipos de estruturas e fixação**. Site, 2018. Disponível em: <<http://www.eletricistaconsciente.com.br/pontue/fasciculos/7-estruturas-para-fixacao-para-sistemas-fotovoltaicos/estruturas-de-fixacao-para-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 20 maio. 2020

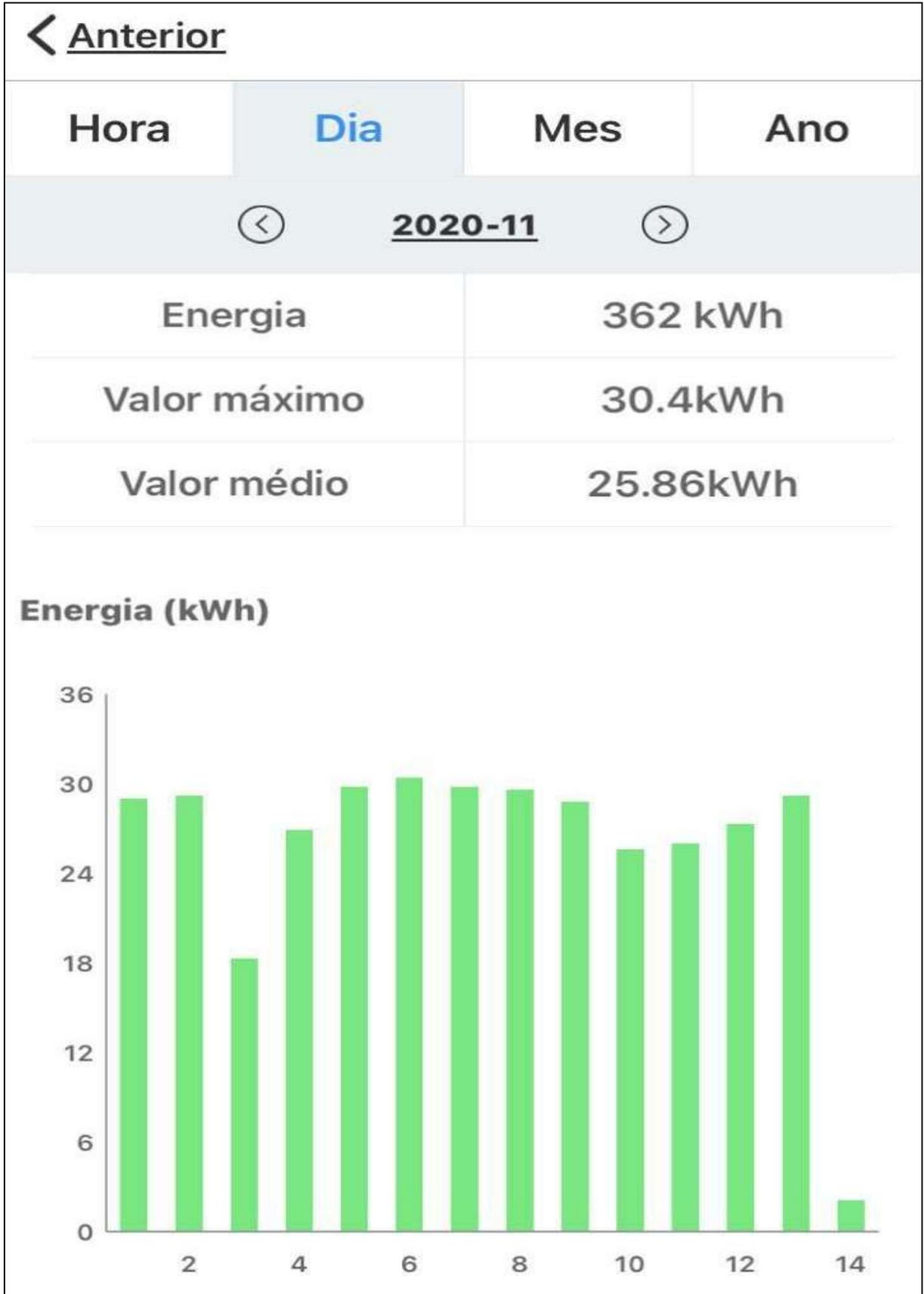
SOLIS, **como funciona o medidor bidirecional da energia solar**. Site, 2019. Disponível em: <<https://solisenergia.com.br/como-funciona-o-medidor-bidirecional-da-energia-solar/>> Acesso em: 20 maio. 2020

WEILLER, Filipe, **quanto custa a manutenção do sistema solar fotovoltaico?** Site, 2019. Disponível em: <<http://energonbrasil.com.br/quanto-custa-a-manutencao-no-sistema-solar-fotovoltaico/>> acesso em: 20 maio. 2020.

Ministério da ciência, Tecnologia e Inovações, **Fator médio – inventários corporativos?** Site, 2020. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html> acesso em: 22 maio. 2020.

APÊNDICE A – Gráficos de Geração









ANEXO A – Conta de energia sem SFCR da residência em estudo

Nº do Cliente: [REDACTED]

A Tarifa Social de Energia Elétrica foi criada pela Lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002

Companhia Energética do Ceará
 Rua Padre Valdevino, 150
 CEP 60135 040 | Fortaleza CE
 CNPJ 07.047.251/0001-70 | CGF 06.105.848-3

Para agilizar seu atendimento, utilize o nº acima sempre que entrar em contato conosco.

CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA GRUPO B | SÉRIE ÚNICA | Nº [REDACTED]

Rota **EB417U06 - 49500** Referência **05/2020**

Nome [REDACTED]
 Endereço [REDACTED] **60000000, EUSEBIO**

Classificação **Residencial Pleno**
 Modalidade Tarifária **B1 RESIDENCIAL**
 Ligação **Trifásico**

Emissão **25/05/2020**
 Medidor [REDACTED]

AREA RESERVADA AO FISCO
 7F85EB50834287CAE70EA333566C4B5F

ACOMPANHAMENTO DE CONSUMO (kWh)

DATAS DE LEITURA P.F.: 31 dias
 Anterior: 24/04/2020 | Atual: 25/05/2020 | Próxima prevista: 24/06/2020

DADOS DA MEDIÇÃO

Posto	Leit. Atual	Leit. Anterior	Const.	Consumo Mês (kWh)	Consumo Incl. (kWh)	Consumo Fat. (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Valor (R\$)
FP	1.523	1.220	1,00	403	00	403	0,77069	310,59

DADOS DO FATURAMENTO

CIP - ILUM PUB PREF MUNIC
 CONSUMO

TARIFA	VALOR (R\$)
0,77069	76,24
	310,59

ANEXO B – Datasheet inversor Growatt MIN5000TL-X



MIN3000TL-X MIN5000TL-X MIN6000TL-X



O inversor inteligente com rede mais atualizado para aplicações aplicação residencial em fase. Antena inovadora, capa de material, aparência elegante e 45% mais leve. A tela OLED e o design do botão de toque traz mais operação conveniente, levando alta eficiência, garante altos rendimentos de energia de um sistema doméstico.

- Eficiência máxima 98,4%
- Duplo MPPT
- SPD tipo II no lado CC
- Suporta controle de exportação
- Tecla sensível ao toque e display OLED

	MIN -3000TL-X	MIN -5000TL-X	MIN -6000TL-X
Dados de entrada			
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para o módulo SEI)	4200W	7000W	8100W
Máxima tensão CC	500V	550V	550V
Tensão de partida	100V	100V	100V
Faixa de tensão de MPPT / tensão nominal de MPPT	80V-500V/360V	80V-550V/360V	80V-550V/360V
Corrente máxima de entrada	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A
Máx. corrente de curto-circuito	16A/16A	16A/16A	16A/16A
Número de MPPT / strings por MPPT	2/1	2/1	2/1
Saída (CA)			
Potência nominal de saída CA	3000W	5000W	6000W
Potência aparente máxima de CA	3000VA	5000VA	6000VA
Corrente máxima de saída	13.6A	22.7A	27.2A
Tensão nominal de saída	230V(160V-300V)	230V(160V-300V)	230V(160V-300V)
Frequência de rede CA ; Falta	50/60Hz ± 5Hz	50/60Hz ± 5Hz	50/60Hz ± 5Hz
Fator de potência ajustável	0.8-0.8c	0.8-0.8c	0.8-0.8c
THDi	<3%	<3%	<3%
Conexão CA	Fase única	Fase única	Fase única
Efficiência			
Máxima eficiência	98.2%	98.4%	98.4%
Efficiência europeia	97.1%	97.5%	97.5%
Efficiência MPPT	99.9%	99.9%	99.9%
Dispositivos de proteção			
Proteção de polaridade reversa de CC	sim	sim	sim
Interruptor CC	sim	sim	sim
Proteção sobretensão CC	Tipol	Tipol	Tipol
Proteção de sobre corrente de saída	sim	sim	sim
Proteção de sobretensão CA	sim	sim	sim
Monitoramento de falta à terra	sim	sim	sim
Monitoramento de grade	sim	sim	sim
Unidade de monitoramento de corrente de vazamento sensível a todos os pólos integrada	sim	sim	sim
Dados Gerais			
Dimensões (L/A/P) em mm	375/350/160	375/350/160	375/350/160
Peso	10.8KG	10.8KG	10.8KG
Faixa de temperatura operacional	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C
Emissão de ruído (típico)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)
Altitude	4000m	4000m	4000m
Auto-consumo à noite	< 1W	< 1W	< 1W
Topologia	Sem transformador	Sem transformador	Sem transformador
Resfriamento	Resfriamento Natural	Resfriamento Natural	Resfriamento Natural
Grau de Proteção Ambiental	IP65	IP65	IP65
Humidade relativa	100%	100%	100%
Características			
Conexão CC	H4 / MC4	H4 / MC4	H4 / MC4
Conexão CA	Conector	Conector	Conector
Exibição	OLED+LED	OLED+LED	OLED+LED
Interfaces: RS485 / USB / Wi-Fi	sim/sim/sim	sim/sim/sim	sim/sim/sim
Garantia: 5 anos	Sim	Sim	Sim

CE, IEC62109, G98, G99, VDE0126-1-1, AS4777, AS/NZS 3100, VDE-AR-N4105, C6C, IEC61683, IEC60868, IEC61727, IEC62116, IMA/PRO

ANEXO C – Datasheet módulo BYD PHK-36-SERIES-5BB

PHK-36-SERIES-5BB




- 18.8%

Potência máxima de 340W
Eficiência celular média de até 18.8%
EVA de alta transmitância até 92%
- \$
Custo

Geração de energia até 3% maior
comparado aos módulos convencionais
- 10
Anos

10 anos para o produto
25 anos de garantia linear
- Grid

Sistemas em telhados residenciais
Sistemas comerciais On e Off-grid
Sistemas utilitários On e Off-grid
- ALTA
Durabilidade

Sem degradação induzida por potencial (PID)
Sem descoloração associada às microfissuras
Resistência de 5400Pa para neve
Resistência de 2400Pa para ventos
Menor temperatura de ponto quente (hot spot)
Meia célula é adotada para reduzir a perda
por incompatibilidade de potência
- Certificações

IEC 61215, IEC 61730, UL1701
ISO9001:2008, ISO14001:2004

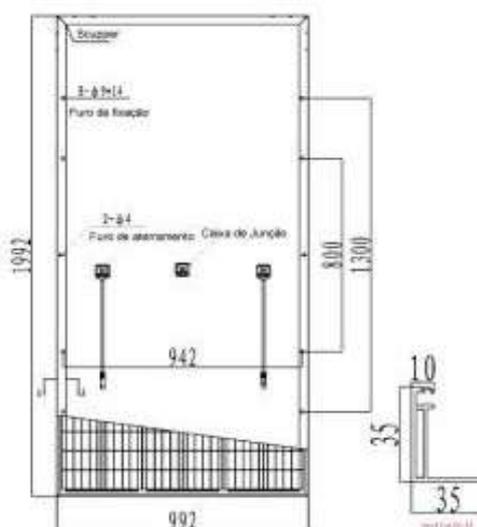
Garantia linear de 25 anos do módulo BYD

SOBRE A BYD

BYD (HK:1211), uma das melhores fabricantes de FV do mundo, produz desde o wafer até o módulo, comprometida com produtos sustentáveis de qualidade e melhoria contínua. A integração de Veículos Elétricos e Tecnologia de Armazenamento de Energia em Baterias faz da BYD a líder mundial em soluções desde a geração de energia até o armazenamento e consumo.

PHK-36-SERIES-5BB

325-340W



ESPECIFICAÇÕES MECÂNICAS

Célula	5 Bus Bar meia célula 156.75x78.375mm
No. de Células	144 (6 × 24) pcs
Dimensões do módulo	1992 mm × 992 mm × 35 mm / 78.43 pol. × 39.06 pol. × 1.38 pol.
Peso	22.2 kg / 48.84 lbs
Vidro Frontal	3.2 mm vidro temperado com revestimento AR
Moldura	Liga de Alumínio Anodizado
Caixa de Junção	ZH011-B-5, TS03-13B
Plug Conector	IP67
Diodos de Bypass	3 pcs
Tipo de Conector	Compatível com MC4
Corrente Máxima do Fusível	15 A
Área da Seção do Cabo	4 mm ² / 0.0062 pol ²
Comprimento do Cabo	2×450 mm / 2×17.72 pol.

COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Temperatura de Operação Nominal (NOCT)	43°C ± 2°C
Coefficiente da Temperatura da CC	0.066%/°C
Coefficiente da Temperatura da CC	-0.30%/°C
Coefficiente de Temperatura no Pico de Potência	-0.37%/°C

ESPECIFICAÇÃO ELÉTRICA

Tipo de Módulo	325PHK-36	330PHK-36	335PHK-36	340PHK-36
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	44.94 V	45.19 V	45.44 V	45.69 V
Tensão Máxima de Operação (Vmp)	37.57 V	37.83 V	38.10 V	38.36 V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9.14 A	9.2 A	9.25 A	9.31 A
Corrente Máxima de Operação (Imp)	8.65 A	8.72 A	8.79 A	8.86 A
Potência Máxima em STC (Pmax)	325 Wp	330 Wp	335 Wp	340 Wp
Eficiência do Módulo	16.4 %	16.7 %	17.0 %	17.2 %
Temperatura de Operação	-40°C-85°C			
Tensão Máxima do Sistema	1500 Vcc			

STC: IRRADIÇÃO: 1000W/m² Temperatura do Módulo 35°C, AM=1.5

INFORMAÇÕES DA EMBALAGEM

Embalagem	40HC
Pcs / Pallet	30
Pallet / Container	22
Pcs / Container	660



BYD SOLAR

ANEXO D – ESTRUTURA SOLAR GROUP



LISTA DE MATERIAIS

Todos os componentes listados a seguir são essenciais para a instalação do sistema de laje com triângulos. A quantidade de peças é calculada de acordo com cada projeto.

Triângulo desmontado:



- **Materiais:** alumínio 6060-T5;
- **Uso:** para montagem de módulos em retrato em lajes.
- **Inclinação:** 25° (com marcação para furos e cortes à cada 2,5°);
- **Distância entre parafusos-cabeça de martelo:** 80cm;
- **Comprimento da base:** 1,42m.

Perfil suporte do módulo reforçado Thunder:



- **Material:** alumínio 6060-T5;
- **Dimensões disponíveis:** 6,30m - 4,50m - 4,20m - 3,15m - 2,25m - 2,10m.

Parafuso cabeça-martelo:



- **Material:** aço inox 304;
- **Dimensões:** M10x25mm.

Porca:



- **Material:** aço inox 304;
- **Dimensão:** M10;
- **Obs:** flangeada e serrilhada.



Junção:

- **Material:** alumínio 6060-T5;
- **Obs:** acompanha dois parafusos cabeça-martelo.

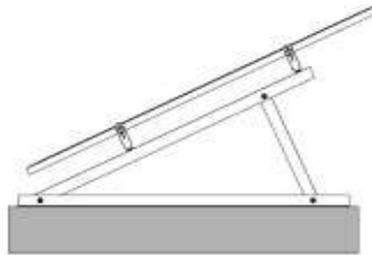
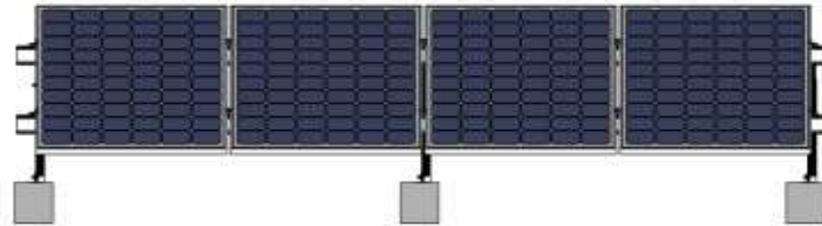
Grampo Intermediário Thunder:

- **Material:** alumínio 6060-T5;
- **Uso:** atende módulos de 35mm e 40mm;
- **Torque recomendado:** 10N.m;
- **Espaçamento entre módulos:** 16mm;
- **Obs:** acompanha clip para aterramento de módulos em aço inox 304.

Grampo final Thunder:

- **Material:** alumínio 6060-T5;
- **Uso:** atende módulos de 30mm, 35mm ou 40mm;
- **Torque recomendado:** 10N.m.





ANEXO E – STRINGBOX PROAUTO & DEHN

PROAUTO & DEHN

ALTO PADRÃO EM TECNOLOGIA
PARA SEU SISTEMA FOTOVOLTAICO



Vantagens da Stringbox PROAUTO & DEHN:

- ✓ Tecnologia Alemã Patentada
- ✓ Proteção contra Raios UV e Água
- ✓ Atende às normas de segurança:
NBR 5410, NBR IEC 61439, NBR IEC 60529
- ✓ Projetos Personalizados

TECNOLOGIA ALEMÃ!

A String Box da PROAUTO é montada com alto padrão de qualidade com os DPSs da DEHN, empresa Alemã com **108 anos** de existência, dona de mais de 1000 patentes e a **maior fabricante** de DPS do mundo!

As caixas possuem **proteção UV** conforme norma **IEC 60529** além de conter grau de proteção **IP65**.

Confiança, qualidade e certeza que suas instalações não serão mais as mesmas com as Stringbox da PROAUTO & DEHN!

PROTEÇÃO DE VERDADE PARA SEU SISTEMA FOTOVOLTAICO



PROAUTO & DEHN 4E - 2S

Dados do produto

Modelo:
Tensão nominal (V): 1000
Capacidade de saída:
Aquecimento:
Tensão nominal (tensão de trabalho) (V):
Sistema de aterramento (D):
Proteção de surto:

Entradas

Número de Entradas DC:
Fusíveis AC:

Saídas

Número de saídas DC:

Monitoramento

Método de proteção de surto:

Outros

Normas em conformidade:

Caixa

Material:
Dimensões (LxAxP) (mm):

Operação

Nível de proteção:
Acabamento de Fixação (terrestre):
Sistema de Ligação:

SB-4E-2S-1000V

1000DC

2SA

Chave Seccionadora

8kV

Positivo e Negativo Totalmente

(900550 - DGHVSEB000 - DEHN)

14

1

2

Identificação visual:

IEC 61439

ABS

400x10x150

IP55

Fixação direta no ponto desejado

Conforme o Projeto Elétrico

Acessórios Inclusos nas caixas



Prensa Cabos



Buchas para
Fixação em
Alvenaria

Suporte e Assistência Técnica no Brasil:
solar@proautomacao.com.br
www.proautomacao.com.br
(15)3031-7400