



**UNIVERSIDADE DE
TAUBATÉ**

Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

**MATHEUS AGOSTINHO DE SALES
RAFAEL FERNANDES COELHO**

Estudo de Viabilidade Econômica entre Telha Fotovoltaica x Módulo Fotovoltaico

Taubaté - SP
2020



**UNIVERSIDADE DE
TAUBATÉ**

Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

**Matheus Agostinho De Sales
Rafael Fernandes Coelho**

Estudo de Viabilidade Econômica entre Telha Fotovoltaica x Módulo Fotovoltaico

Trabalho de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Faria Neto

Taubaté - SP
2020

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBi
Universidade de Taubaté - Unitau**

S163e Sales, Matheus Agostinho de
Estudo de viabilidade econômica de painéis e telhas solares / Matheus Agostinho de Sales, Rafael Fernandes Coelho. -- 2020.
89 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Antonio Faria Neto, Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Energia renovável. 2. Geração de energia fotovoltaica. 3. Estudos de Viabilidade. I.Coelho, Rafael Fernandes II. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica. Curso de Engenharia Elétrica e Eletrônica. III. Título.

CDD – 333.79



Universidade de Taubaté
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22


Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE TELHA FOTOVOLTAICA X MÓDULO FOTOVOLTAICO


**MATHEUS AGOSTINHO DE SALES
RAFAEL FERNANDES COELHO**

**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA”**

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. ANTONIO FARIA NETO
Orientador/UNITAU-DEE


Prof. Esp. THOMAZ BARONE JUNIOR
UNITAU-DEE


Eng. Ms. SANDRO BOTOSSÍ DOS SANTOS
UNITAU-DEE

dezembro de 2020



**UNIVERSIDADE DE
TAUBATÉ**

Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, pelas nossas vidas, e por nos ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso;

As nossas famílias por toda a dedicação, paciência, por todo apoio e compreensão;

Ao nosso orientador Prof. Dr. Antônio Faria Neto pelo incentivo e presteza no auxílio às atividades;

Ao campus de engenharia da Universidade de Taubaté – UNITAU;

Aos nossos amigos e colegas, que contribuíram diretamente e indiretamente, sintam-se todos abraçados e que Deus proteja, ilumine e guie sempre os nossos caminhos.



**UNIVERSIDADE DE
TAUBATÉ**

Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

SALES, M. A. de; COELHO, R. F. **Estudo de viabilidade econômica de painéis e telhas solares.** 2020. 91 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Taubaté, Taubaté, 2016.

RESUMO

Buscar alternativas de energia tornou-se uma necessidade tanto ambiental quanto econômica, levando ao desenvolvimento de tecnologias que possam captar da natureza e converter, como no caso deste estudo, energia solar em energia elétrica, não sobrecarregando o uso de energia gerada por usinas poluentes. Durante vários anos o predomínio da tecnologia fotovoltaica foram as células solares de silício cristalino, no entanto, outros tipos de células foram desenvolvidos, os quais podem competir, tanto em termos de redução de custos de produção, quanto em termos de maior eficiência. Diante de novos produtos no mercado para captar e transformar a energia solar em energia elétrica, recentemente no Brasil passou-se a produzir e comercializar, além de módulos, as telhas fotovoltaicas. Este estudo desenvolveu-se utilizando a metodologia de revisão bibliográfica para dar subsídios a definição e entendimento da geração de energia fotovoltaica, e com apresentação de um estudo de caso, executando a simulação de instalação dos sistemas, que, O objetivo deste estudo é apresentar projeto de viabilidade financeira para captação de energia solar, fazendo um comparativo com a instalação de módulos fotovoltaicas e com a instalação de telhas solares. Para isso realizou-se a simulação da instalação dos sistemas com telha solar – *green tile* + inversor *string*; módulo solar + inversor *string*; telha solar – *green tile* + microinversor e módulo solar + microinversor analisando financeiramente dos quatro sistemas. Os resultados da análise desta pesquisa mostraram que o estudo e uso da tecnologia estão em ascensão e podem desempenhar um papel importante no atendimento a uma alta demanda energética em todo o mundo, e quanto a viabilidade financeira, apesar de o uso de telhas solares apresentar uma TIR inferior a TMA, concluímos que, do ponto de vista econômico, o uso de módulos apresenta uma melhor viabilidade financeira.

PALAVRAS-CHAVE: Energia limpa. Energia renovável. Sistema fotovoltaico. Geração de energia.



**UNIVERSIDADE DE
TAUBATÉ**

Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

SALES, M. A. de; COELHO, R. F. **Estudo de viabilidade econômica de painéis e telhas solares.** 2020. 91 f. Graduate Work in Electrical Engineering - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Taubaté, Taubaté, 2020.

ABSTRACT

Searching for energy alternatives has become an environmental as well as an economic necessity, leading to the development of technologies that can capture from nature and convert, as in the case of this study, solar energy into electrical energy, without overloading the use of energy generated by polluting plants. For several years the predominance of photovoltaic technology has been crystalline silicon solar cells, however, other types of cells have been developed, which can compete, both in terms of reducing production costs and in terms of greater efficiency. Faced with new products on the market to capture and transform solar energy into electrical energy, recently in Brazil, photovoltaic tiles started to be produced and sold, in addition to modules. This study was developed using the bibliographic review methodology to support the definition and understanding of the generation of photovoltaic energy, and with the presentation of a case study, running the simulation of the installation of the systems, which, The objective of this study is to present a project financial feasibility to capture solar energy, making a comparison with the installation of photovoltaic modules and the installation of solar tiles. For this, the installation simulation of the systems with solar tile was carried out - green tile + string inverter; solar module + string inverter; solar tile - green tile + micro inverter and solar module + micro inverter financially analyzing the four systems. The results of the analysis of this research showed that the study and use of technology are on the rise and can play an important role in meeting a high energy demand worldwide, and in terms of financial viability, despite the use of solar shingles. IRR lower than TMA, we conclude that, from an economic point of view, the use of modules presents a better financial viability.

KEYWORDS: Clean energy. Renewable energy. Photovoltaic system. Power generation.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escala de cores e valores adotada nos mapas de irradiação elaborados com as estimativas do modelo BRASIL-SR.....	19
Figura 2 - Irradiação solar no Brasil – total diário da irradiação no plano inclinado na latitude – média anual.....	20
Figura 3 - Aproveitamento da radiação solar (abaixo da atmosfera) por células fotovoltaicas	24
Figura 4 - Ângulo azimutal de uma superfície	25
Figura 5 - Estrutura de uma célula HIT	28
Figura 6 - Célula solar orgânica	30
Figura 7 - Telha da Eternit Solar	32
Figura 8 - Diagrama de energia de um semicondutor e fundamento básicos da conversão fotovoltaica	33
Figura 9 - Estrutura de bandas de energia	34
Figura 10 - Esquema representando fio de guia e fio de barramento de uma célula fotovoltaica	35
Figura 11 - Gráfico de sombreamento.....	39
Figura 12 - Gráfico de radiação solar	40



LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Gerador.....	39
Quadro 2 - Guia de cores para cabeamento	42
Quadro 3 - Características gerador / técnicas das telhas / elétricas / dimensões	43
Quadro 4 - Dados técnicos do inversor	44
Quadro 5 - Inversor 1.....	45
Quadro 6 - Gerador.....	46
Quadro 7 - Perdas de potência obtida.....	46
Quadro 8 - Análise Financeiro – <i>Payback</i> Simples e Descontado	48
Quadro 9 - Características gerador / técnicas dos módulos / elétricas / dimensões	50
Quadro 10 - Dados técnicos do inversor	51
Quadro 11 - Inversor 1.....	51
Quadro 12 - Gerador.....	52
Quadro 13 - Perda de potência	52
Quadro 14 - Análise Financeiro – <i>Payback</i> Simples e Descontado	54
Quadro 15 - Características gerador / técnicas dos módulos / elétricas / dimensões	56
Quadro 16 - Dados técnicas do micro-inversor.....	57
Quadro 17 - Microinversor 1	57
Quadro 18 - Microinversor 2.....	57
Quadro 19 - Microinversor 3.....	58
Quadro 20 - Gerador.....	59
Quadro 21 - Perdas	59
Quadro 22 - Análise Financeiro – <i>Payback</i> Simples e Descontado	61
Quadro 23 - Características gerador / técnicas dos módulos / elétricas / dimensões	63
Quadro 24 - Dados técnicos do micro conversor	64
Quadro 25 - Inversor 1.....	64
Quadro 26 - Inversor 2.....	64
Quadro 27 - Inversor 3.....	65
Quadro 28 - Gerador.....	65
Quadro 29 - Perda de potência obtida	66



**UNIVERSIDADE DE
TAUBATÉ**

UNITAU

Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

Quadro 30 - Análise Financeiro – <i>Payback</i> Simples e Descontado	68
Quadro 31 - Comparativo de produção de energia entre inversor string x microinversor	69



**UNIVERSIDADE DE
TAUBATÉ**

Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Radiação solar na horizontal	38
Tabela 2 - Radiação solar	40
Tabela 3 - Produção de energia em 1 ano utilizando telha solar – <i>green tile</i> + inversor <i>string</i>	43
Tabela 4 - Perdas por sombreamento de obstáculos*	46
Tabela 5 - Produção de energia em 1 ano utilizando módulo solar + inversor <i>string</i>	49
Tabela 6 - Perdas por sombreamento de obstáculos.....	52
Tabela 7 - Produção de energia em 1 ano utilizando Telha Solar – <i>Green Tile</i> + Microinversor	55
Tabela 8 - Perdas por sombreamento de obstáculos.....	59
Tabela 9 - Produção de energia em 1 ano utilizando Telha Solar + Microinversor	62
Tabela 10 - Perdas por sombreamento de obstáculos.....	66



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO	15
1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	15
1.3 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	16
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1 ENERGIA SOLAR.....	18
2.2 POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR BRASILEIRO	18
2.2.1 Incentivos governamentais.....	21
2.3 EFEITO FOTOVOLTAICO.....	24
2.3.1 Células fotovoltaicas	25
2.3.2 Telhas fotovoltaicas	31
2.4 FUNCIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	32
3 METODOLOGIA	36
3.1 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	36
4 ESTUDO DE CASO.....	37
4.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO	37
4.2 DADOS GERAIS PARA TODAS SIMULAÇÕES	39
4.2.1 Simulação Telha Solar – <i>Green Tile</i> + Inversor <i>String</i>.....	43
4.2.2 Simulação módulo Solar + Inversor <i>String</i>	49
4.2.3 Simulação telha solar – <i>green tile</i> + microinversor.....	55
4.2.4 Simulação módulo solar + microinversor.....	62
4.3 DISCUSSÃO	69
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
REFERÊNCIAS	75



**UNIVERSIDADE DE
TAUBATÉ**

UNITAU

Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

APÊNDICE A – TELHA GREEN TILE + MICROINVERSOR.....	80
APÊNDICE B – TELHA GREEN TILE + INVERSOR STRING	81
APÊNDICE C – MOLDULO SOLAR + MICROINVERSOR.....	82
APÊNDICE D – MOLDULO SOLAR + INVERSOR STRING	83
APÊNDICE E – DIAGRAMA MULTIFILAR - TELHA + INVERSOR STRING	84
APÊNDICE F – DIAGRAMA UNIFILAR - TELHA GREEN TILE + INVERSOR STRING.....	85
APÊNDICE G – DIAGRAMA MULTIFILAR - MÓDULO + INVERSOR STRING	86
APÊNDICE H – DIAGRAMA UNIFILAR - MÓDULO + INVERSOR STRING	87
APÊNDICE I – DIAGRAMA MULTIFILAR - TELHA GREEN TILE + MICROINVERSOR.....	88
APÊNDICE J –DIAGRAMA UNIFILAR - TELHA GREEN TILE + MICROINVERSOR.....	89
APÊNDICE K – DIAGRAMA MULTIFILAR - MÓDULO + MICROINVERSOR.....	90
APÊNDICE L – DIAGRAMA UNIFILAR - MÓDULO SOLAR + MICROINVERSOR.....	91



1 INTRODUÇÃO

Desde o ano de 2014 o uso da energia elétrica, administrado pelo governo, vem sofrendo aumento de preços e tarifas, o que afeta diretamente o bolso do consumidor, onerando seus compromissos. Em 2015, ocorreram aumentos tarifários em diferentes percentuais, que foram de acordo com a região do país e das distribuidoras. O registro efetuado pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC) pontuou um percentual de 49%, sendo esse o maior índice registrado entre janeiro e outubro de 2015. A justificativa do governo foi necessidade de cobrir os prejuízos que as distribuidoras estavam enfrentando, ou seja, a falta de chuva, que elevou o uso de termoeletricas, e os preços repassados no ano anterior. Também no ano de 2015 o governo instituiu bandeiras tarifárias (verde, amarela e vermelha), e acréscimo de R\$5,50 a cada 100Kw horas de consumo, que foram repassados aos consumidores, chegando até a aumentos de 70% nas contas de energia (ANDRÉ, 2017).

Buscar fontes alternativas de energia é uma necessidade em decorrência de diversos fatores, dentre eles: a entrada do mundo na Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, na qual os equipamentos estão ligados e se conectam, requerendo energia elétrica para tornar essa conexão possível (ALMEIDA; CAGNIN, 2019); expansão do uso de equipamento elétricos tanto em residências quanto nos processos de produção industrial (COSTA *et al.* 2020); busca constante pela sustentabilidade e redução da degradação do meio ambiente (ROMEIRO, 2012).

Assim, devido ao consumo de energia crescente no Brasil, resultante dos fatores citados por André (2017), do desenvolvimento econômico do país, e do aumento da qualidade de vida dos habitantes, levou o governo a intensificar incentivos para o desenvolvimento de tecnologias capazes de gerar energia de forma sustentável.

A geração de energia elétrica pode ocorrer a partir dos raios solares, nas formas conhecidas como fotovoltaica e heliotérmica. “A heliotérmica utiliza espelhos e lentes para concentrar os raios solares em um ponto específico, aquecendo uma solução que gera vapor e aciona uma turbina que é utilizada para produzir eletricidade.” (DANTAS; POMPERMAYER, 2018, p. 7). A geração por meio de materiais semicondutores apresentam o efeito fotovoltaico, que é um fenômeno químico/físico e que ocorre com a formação de tensão elétrica ou corrente em um material que é exposto à luz.



A energia solar fotovoltaica apresenta-se como sendo uma alternativa à geração de energia elétrica convencional, capaz de suprir o consumo energético da população de forma limpa, renovável e econômica, sendo portanto, como afirmam Dassi *et al.* (2015, p. 14), uma “[...] alternativa para redução de custos e de diversificação energética [...]” E, quando comparada com as principais formas de geração de energia atual, pode-se destacar diversos benefícios, tais como modularidade do sistema, mínimo impacto ambiental, baixo índice de manutenção e baixas perdas de transmissão, uma vez que possibilita a instalação de um gerador no meio urbano próximo aos consumidores, além de que, trata-se de uma fonte de energia inesgotável (LOSEKANN; HALLACK, 2018).

A esse respeito, segundo Zomer e Rüther (2018, p.1) “a tecnologia fotovoltaica gera energia de forma silenciosa e pode ser instalada de forma modular, ou seja, desde baixas potências, como em calculadoras, até grandes potências, como são os casos em usinas solares.” Mas, o maior diferencial deste tipo de captação energética, é poder integrar-se as edificações, ao meio ambiente, na composição da cidade, abrigando e produzindo energia, e, quando integrada desta forma, outras características são ressaltadas: a geração de energia junto ao ponto de consumo, reduzindo perdas e transmissão e distribuição (ATTIA; HERDE, 2010).

Vale citar, corroborando com as vantagens citadas, que o governo brasileiro, em 16 de julho de 2020, publicou a Resolução nº 69 no Diário Oficial, que até final do ano de 2021 os equipamentos utilizados na captação de energia solar terão seus impostos de importação zerados (BRASIL, 2020). Antes mesmo da Resolução n. 69, o crescimento do setor já se mostrava promissor, sendo um dos que mais cresceu no Brasil devido a fatores como: aumento de eficiência dos equipamentos, queda de preços dos equipamentos, incentivos fiscais e possibilidade de financiamento do sistema.

Ao se citar eficiência energética, Ribeiro (2005, p. 4) define como sendo: “[...] conjunto de práticas que reduza os custos com energia e/ou aumente a quantidade de energia oferecida sem alteração da geração” sendo que estão incluso políticas que possuem como objetivos reduzir os custos da energia oferecida, sem que afete e altere a qualidade, são elas: planejamento integrado, eficiência na geração, transmissão, distribuição e pôr fim a eficiência no uso final da energia. Logo, a energia não gasta é decorrente do consumo evitado, resultando no consumo líquido de energia menor.



Assim, “as recentes ações regulatórias possibilitam compensação da energia excedente produzida por sistemas de pequeno porte, [promovendo] um grande crescimento da geração distribuída de energia no Brasil.” (SCHNEIDER; SORGATO, RÜTHER, 2018, p. 1).

Conforme Didoné, Wagner e Pereira (2014) há uma grande variedade de módulos FV no mercado, e com a vantagem de que seus custos estão diminuindo, oportunizando sua utilização não apenas para geração de energia, mas também por motivos estéticos.

Incorporando ainda mais o setor, recentemente, as telhas solares ganharam protagonismo no cenário, despertando interesse dos consumidores e profissionais, por serem apresentadas, a princípio, como uma solução mais estética em relação a utilização de módulos, e segundo Pinheiro, Menezes e Carvalho (2017, p. 1131) compõem um equilíbrio visual agradável, em relação a instalação com placas, “que tanto rebusca e oprime a implementação destes sistemas de fontes de energias renováveis,” e, contando agora com a aprovação do Inmetro para fabricação e comercialização no Brasil (SOUSA, 2020). Diante desse novo produto no mercado nacional, levanta-se dúvidas sobre sua utilização, tais como: funcionamento e instalação, custo-benefício, além da escolha de que tipo de tecnologia considerar na instalação: telhas solares ou placas solares.

1.1 OBJETIVO

Objetivo desse estudo é apresentar projeto de viabilidade financeira para captação de energia solar, fazendo um comparativo com a instalação de módulos fotovoltaicos e com a instalação de telhas solares.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

No setor industrial, com a utilização de processos cada vez mais automatizados, o consumo de energia tem ocorrido cada vez mais intensamente (MELO, 2008; MELO; CAVALCANTI, 2008). Mas, além do uso industrial, a crescente utilização de equipamentos tecnológicos, tanto a nível comercial, residencial, em consonância com as exigências do novo modelo do setor elétrico brasileiro, contribuem para o consumo maior. Assim, como grandes justificativas para a utilização de energia fotovoltaica tem-se a redução de custos mensais de



consumo de energia elétrica, busca da eficiência energética e conscientização ambiental (ZOMER; RÜTHER, 2018).

Os módulos fotovoltaicos, até pouco tempo, representavam a fração maior nos custos do sistema, no entanto, passaram a corresponder a 12% do custo total do sistema, redução esta que impacta na forma de utilização dos módulos, podendo estes, serem utilizados mesmo em situações não ideais, ou seja, situação de sombreamento parcial, e ainda assim continuando a serem justificáveis. (ZOMER; RÜTHER, 2018). Esses fatores têm levado a um aumento de demanda para instalação de sistemas solares.

O presente trabalho visa elucidar aos profissionais e consumidores sobre as diferenças das características técnicas e econômicas da instalação de painéis solares e telhas solares, esta última sendo um produto novo no mercado nacional, que tem despertado grande interesse do público.

Essa demanda justifica o estudo, que busca analisar as variáveis tangentes aos sistemas geradores, de forma a buscar o gerador solar fotovoltaico que apresente um maior rendimento e melhor custo benefício.

1.3 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Trata-se de um estudo de revisão bibliográfica. Este tipo de pesquisa dá subsídios para a redação do tema, utilizando como fonte artigos e livros sobre o tema, e de estudo de caso, com base em documentos técnicos fornecidos pelos fabricantes e simulações com *software* de dimensionamento solar fotovoltaico, SOLergo.

Serão considerados quatro projetos similares. Sendo o primeiro e o segundo utilizando telha solar com Inversor *String* e Microinversor, e os demais, utilizando os módulos solares fotovoltaicos, possibilitando fornecer resultados extraídos a partir de uma análise técnica e econômica, oriunda de uma simulação por *software* comparando um projeto de microgeração que visa atender uma residência, utilizando equipamentos de captação e conversão de energia diferentes, módulos e telhas, além de contrapor a tecnologia entre Inversor *String* e Microinversor, apresentando qual a tecnologia mais eficiente e eficaz.

O trabalho está dividido em seis seções, nesta primeira, tratando-se da introdução, trazendo objetivos, justificativa do tema; na segunda seção compõe a revisão de literatura, abrangendo definição de energia solar, potencial energético brasileiro e incentivos do governo,



definição de efeito fotovoltaico, como funciona e como são constituídas as células fotovoltaicas, funcionamento dos módulos, apresentação das telhas solares, e viabilidade econômica no uso dos sistemas. Na terceira seção apresenta a metodologia do trabalho, e descreve os caminhos percorridos no estudo de caso, que é apresentado na quarta seção. Finaliza com as considerações finais e com as referências que deram subsídios para redação do estudo.



2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta segunda seção busca-se apresentar os módulos fotovoltaicos, desde um entendimento sobre a captação da energia solar, o panorama brasileiro para utilização desta tecnologia, construção e funcionamento básico das células fotovoltaicas e viabilidade econômica dos sistemas.

2.1 ENERGIA SOLAR

A maioria das energias aproveitadas na terra derivam do sol, ou seja, as fontes de energia, em sua maioria, são derivadas da energia do sol (PINHO; GALDINO, 2014), trata-se de uma energia renovável, e que pode ser utilizada no aquecimento de um fluido em processos de troca de calor (conversão termossolar) ou ser convertida em energia elétrica (COSTA *et al.*, 2013), e o aproveitamento artificial de energia solar pode ser feito de três modos: Arquitetura Bioclimática; Efeito Fototérmico; e Efeito Fotovoltaico (SOUZA, 2016).

A Arquitetura Bioclimática utiliza a luz natural do sol, por meio do planejamento das construções de forma a utilizar essa luz, economizando outras formas de energia. O efeito fototérmico capta a irradiação solar aproveitando o calor que ela contém, ou seja, é a energia térmica. A energia termossolar ou energia solar concentrada, são sistemas que produzem energia elétrica através, inicialmente da geração de calor, por meio de um sistema de espelhos (ou concentradores) que concentram a radiação solar. Porém, é um método de geração de alto custo e complexidade, o que o leva a ser pouco difundido (SOUZA, 2016). Já o efeito fotovoltaico, que leva ao propósito deste estudo, será abordado na seção 2.3.

2.2 POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR BRASILEIRO

O Brasil possui um grande potencial de geração de eletricidade a partir do sol. Mesmo em locais menos ensolarados, gera mais eletricidade solar que alguns países. A nível de comparação, o Brasil tem potencial energético de média anual entre 1.500 kWh/m² e 2.500 kWh/m², índice alto comparado com a Alemanha que recebe 40% menos radiação, mas que tem uma tecnologia fotovoltaica em estágio muito mais avançado em pesquisas e em instalações (MOREIRA JÚNIOR; SOUZA, 2017). Segundo autores, o Brasil e Alemanha, no ano de 2008 assinaram um acordo de cooperação no setor de energia com o foco em Energias



Renováveis e Eficiência Energética, e promulgado em 2012, pelo Decreto Nº 7.685/ 2012. Nesse acordo ambos os países corroboram sobre a necessidade de estímulo ao desenvolvimento e execução de atividades de programas no âmbito do crescimento limpo (MOREIRA JÚNIOR; SOUZA, 2017).

Conforme publicado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o território brasileiro recebe mais de 2.200 horas anuais de insolação, o que equivale a 15 trilhões de megawatts, e, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, diariamente incide entre 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m² (PEREIRA *et al.*, 2017).

O Plano Nacional de Energia 2030 reproduz dados do Atlas Solarimétrico do Brasil e registra que essa radiação varia de 8 a 22 MJ (megajoules) por metro quadrado (m²) durante o dia, sendo que as menores variações ocorrem nos meses de maio a julho, variando de 8 a 18 MJ/m². [...] o Nordeste possui radiação comparável às melhores regiões do mundo nessa variável, como a cidade de Dongola, no deserto do Sudão, e a região de Dagget, no Deserto de Mojave, Califórnia. (ANELL, 2008, p . 85).

Segundo Bezerra (2020), o Nordeste com seu potencial para geração de energia solar é um grande candidato a projetos de investimentos em geração elétrica. Essa uniformidade de potencial energético fotovoltaico é uma das grandes vantagens, sendo que, “a irradiação solar captada de forma inclinada em todas as capitais brasileiras apresenta valores que variam entre 4,9kWh/m²/dia e 6kWh/m²/dia, o que representa uma alta uniformidade de irradiação solar no território nacional.” (MOREIRA JÚNIOR; SOUZA, 2017, p. 1).

Nas localidades onde concentram-se a maior parte das atividades econômicas, distantes do linha do Equador, regiões Sul e Sudeste o mesmo não ocorre, havendo uma variação, da radiação solar. Para melhor visualização, a Figura 1, expõe a escala de cores e valores adotada nos mapas de irradiação elaborados com as estimativas do modelo BRASIL-SR.

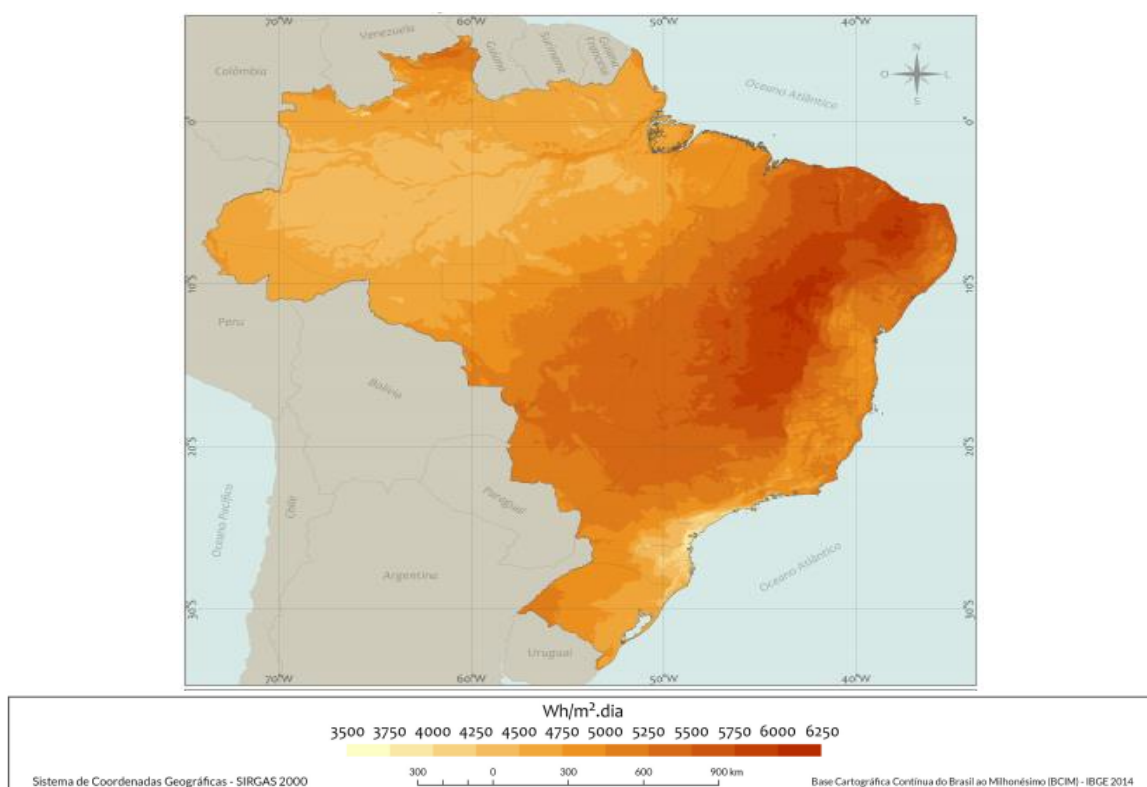
Figura 1 - Escala de cores e valores adotada nos mapas de irradiação elaborados com as estimativas do modelo BRASIL-SR.



Fonte: Pereira *et al.* (2017, p. 35).

Conforme mostra a Figura 2, que ilustra a média anual de irradiação solar diária considerando o plano inclinado de acordo com a latitude local, sendo possível observar o maior nível de irradiação no plano inclinado (média anual de 5,52 kWh/m².dia) e menor variabilidade interanual durante o ano. Isso representa um potencial a ser explorado, forma de diversificar a matriz energética nacional, e assim diminuir construção de barragens hidrelétricas, de usinas nucleares, conforme sugerem Rodrigues e Matajs (2004).

Figura 2 - Irradiação solar no Brasil – total diário da irradiação no plano inclinado na latitude – média anual



Fonte: Pereira *et al.* (2017, p. 40).

Olhando para o panorama nacional dos índices de incidência da luz solar podemos perceber que os estados que possuem os maiores índices são, Minas Gerais, Goiás, Tocantins e boa parte do Nordeste. E, essas condições altamente favoráveis chamam a atenção diante a baixa utilização da energia solar (NASCIMENTO, 2017).

Segundo Pereira *et al.* (2017), nos meses de dezembro a março, ocorre um geração máxima nos estados do extremo sul e sudeste do país, coincidindo com os máximos de demanda registradas pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) para essas regiões.



Portanto, a geração solar fotovoltaica contribui para redução de picos de demanda dos sistemas de transmissão do Sistema Interligado Nacional (SIN). E, resultado do avanço tecnológico, que vem possibilitando a redução de custos, tem favorecido a adição em grande escala do uso da tecnologia fotovoltaica.

Recentemente grandes esforços têm sido direcionados ao aproveitamento da energia solar no Brasil, particularmente por meio de sistemas fotovoltaicos de geração de eletricidade, visando ao atendimento de comunidades isoladas da rede de energia elétrica e ao desenvolvimento regional. Devidamente contemplados pela nova ótica da política energética nacional, esses projetos têm levado eletricidade a milhares de comunidades e domicílios brasileiros (PEREIRA *et al.*, 2017).

Aliado ao potencial solar no território brasileiro, tem-se ainda uma das maiores reservas de silício do mundo, fazendo com que o país seja um local ideal para o desenvolvimento do setor solar fotovoltaico. Cabe ressaltar também, a queda de preço médio do módulo fotovoltaico importado, que pontua em 72% entre os anos de 2012 e 2019, o que tem impulsionado o aumento da competitividade da fonte solar.

2.2.1 Incentivos governamentais

Bezerra (2020, p. 4) afirma que a participação brasileira na geração solar ainda é pouco expressiva, com apenas 0,5% da capacidade instalada mundial em geração fotovoltaica, e requer “adoção de políticas para consolidar no país um parque industrial competitivo de produtos fotovoltaicos, diminuindo assim as importações do setor, que já ultrapassam 1 bilhão de dólares por ano.” A respeito das importações de módulos fotovoltaicos em sua maioria (98,6%) são provenientes da china.

Referente a essa redução de preços, Esposito e Fuchs (2013), afirmam que em mercados desenvolvidos a demanda se deu por conta do desenvolvimento tecnológico, que viabilizou a expansão do uso dessa fonte de energia limpa.

A respeito da ainda tímida participação brasileira nesse mercado, para se ter uma noção do panorama no setor solar fotovoltaico até 2010, pouco mais de 30 projetos de instalações fotovoltaicas estavam conectadas à rede. Nascimento (2017) relacionando dados do Ministério de Minas e Energia (MME) do final do ano de 2016, constava que o Brasil possuía apenas 81 MW de energia solar fotovoltaica instalados, sendo 24 MWp (*watt peak* ou *watt-*



pico) de geração centralizada e 57 MWp de geração distribuída (GD). Esses dados demonstrava o país está aquém de demais países, já que todos os vinte maiores líderes têm capacidade instalada superior a 1 GWp. No entanto, segundo dados do Conselho de Administração da ABSOLAR (*apud* ROSA, 2019a), em 2010 ocorreram três fatores que impulsionaram o crescimento da microgeração e minigeração distribuída solar fotovoltaica: (1) a redução de mais de 83% no preço da energia solar fotovoltaica; (2) aumento nas tarifas de energia elétrica dos consumidores brasileiros, onerando orçamentos de famílias e empresas; e (3) aumento no protagonismo e na responsabilidade socioambiental dos consumidores, que buscam a preservação do meio ambiente (ROSA, 2019a), a esse respeito, “a energia fotovoltaica é uma das alternativas que fazem parte do contexto da diminuição de gases do efeito estufa.” (MOREIRA JUNIOR. SOUZA, 2017, p. 2).

Esses fatores relacionados por Rosa (2019a), resultaram em quase 50 mil sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede: “o Brasil possuía até final do ano de 2019, 49.177 sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede, trazendo economia e sustentabilidade ambiental a 60.090 unidades consumidoras, somando mais de R\$ 2,6 bilhões [...]” (ROSA, 2019a, p. 1), sendo esses distribuídos ao redor de todas as regiões do país. Conforme Moreira Junior e Souza (2017, p. 3), “a grande maioria das conexões de geração distribuída permanece nas residências, sendo que 79,5% das conexões de geração distribuída atendem essa classe de consumo. Já o comércio é responsável por 15% adesões.” Vazquez, Hallack e Queiroz (2016 *apud* LOSEKANN; HALLACK (2018, p. 646) alertam que apesar de a tecnologia de painéis fotovoltaicos de C-Si representarem 90% dos painéis solares comercializados no ano de 2015, é preciso estar atento a diversidade de “tecnologias em desenvolvimento e com potencial de ganharem espaço no mercado – como os painéis solares de filme fino, painel solar de telureto de cadmio e células fotovoltaicas orgânicas.” A esse respeito, Losekann e Hallack (2018, p. 647) ressaltam que “[...] a tecnologia que é a comercialmente dominante possui forte economia de escala, pequenos custos de transporte e forte concentração em alguns países [...]”

Apesar dos dados promissores, para Nascimento (2017), a inércia em avançar no uso da fonte solar, se dá por conta do país, diferente do demais países, ser matriz energética com base principalmente em combustíveis fósseis, predominantemente renovável, com acentuada presença hidráulica, o que pode ser a causa de pouco apoio às políticas de incentivo à fonte de energia solar.



Ainda assim, apesar da constatação de Nascimento (2017), no estudo de Silva (2015) e de Moreira Junior e Souza (2017) pode ser verificado uma relação de diversos incentivos partindo do governo para o aproveitamento da fonte solar, sendo alguns aplicados para outras fontes renováveis de geração de energia elétrica. Incentivos esses, que têm impulsionado, ainda que vagarosamente, se comparado com outros países, no desenvolvimento da geração solar fotovoltaica. Dentre esses incentivos pode-se citar:

- publicação da Resolução Normativa 482 em abril de 2012, pela ANEEL e sua revisão, a REN 687/2015, ampliando possibilidades, introduzindo o sistema *net metering* no Brasil, mais conhecido com Sistema de Compensação de Energia, reduzindo as barreiras para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede de distribuição como a exigência de que as distribuidoras disponibilizem em um processo *online* de solicitação da instalação junto à empresa, além do aumento do prazo para utilização dos créditos dos consumidores referente ao excedente da fatura – de 36 meses para 60 meses;

- Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), em dezembro de 2015, prevendo investimentos de R\$ 100 bilhões até 2030, possibilitando que 2,7 milhões de unidades consumidoras (residência, comércio, indústrias e no setor agrícola) gerem energia por elas mesmas (MOREIRA JUNIOR; SOUZA, 2017; NASCIMENTO, 2017; SILVA, 2015).

Outros incentivos estão inclusos em: Chamada Pública (CP) ANEEL – entre 2014 a 2016 entraram em operação as plantas FV da CP nº 013/2011 - Projetos Estratégicos: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira” (24,6 MW contratados, ao custo de R\$ 396 milhões); a isenção de IPI promovida pelo Decreto nº 7.212, de 15/06/2010; desconto na TUST/TUSD, desconto na tarifa de uso do sistema de transmissão/distribuição; a isenção de ICMS, PIS e Cofins na Geração Distribuída; Inclusão no programa “Mais Alimentos”, possibilita financiamentos a juros mais baixos pelo BNDES para os projetos de geração distribuída em hospitais e escolas públicas; Plano Inova Energia - Fundo de R\$ 3 bilhões, criado em 2013, pelo BNDES, Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ANEEL (MOREIRA JUNIOR; SOUZA, 2017).

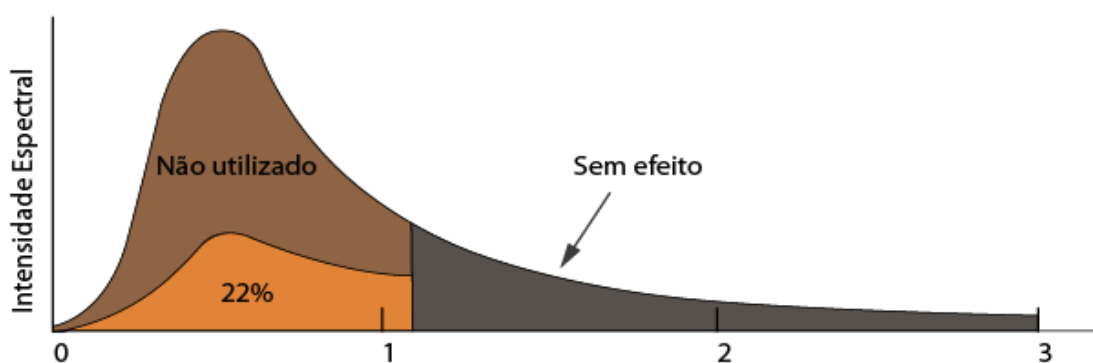
2.3 EFEITO FOTOVOLTAICO

Quando se dá a transformação da energia solar em energia elétrica, este fenômeno é denominado efeito fotovoltaico, e foi descoberto pela primeira vez, em 1839, pelo físico francês Edmond Becquerel, que observou uma pequena geração de corrente elétrica quando certos materiais eram expostos à luz solar (FERREIRA, 1993). Nos anos de 1880, Charles Fritts desenvolveu os primeiros painéis solares que foram instalados em um telhado na cidade de Nova York, porém somente em 1940, Russel Ohl aperfeiçoou e patenteou painéis solares utilizando junções p-n de silício, viabilizando sua utilização prática (LIMA *et al.*, 2020).

Conforme Lima *et al.* (2020), a luz solar é convertida em calor ou em energia elétrica por meio de alguns materiais e dispositivos, sendo a célula fotovoltaica um dispositivo capaz dessa conversão, através da produção de uma tensão e uma corrente elétrica sob iluminação.

Segundo esclarecem Villalva e Gazoli (2018), conhecer como ocorre a radiação solar e o movimento do sol é um requisito importante para instalação e orientação de módulos fotovoltaicos, possibilitando seu melhor aproveitamento. Assim, no processo de conversão da energia solar em energia elétrica é utilizada apenas uma pequena faixa do espectro da radiação solar (Figura 3), do ponto de vista prático, para aproveitamento da energia solar fotovoltaica a faixa de maior interesse é luz visível (fótons).

Figura 3 - Aproveitamento da radiação solar (abaixo da atmosfera) por células fotovoltaicas



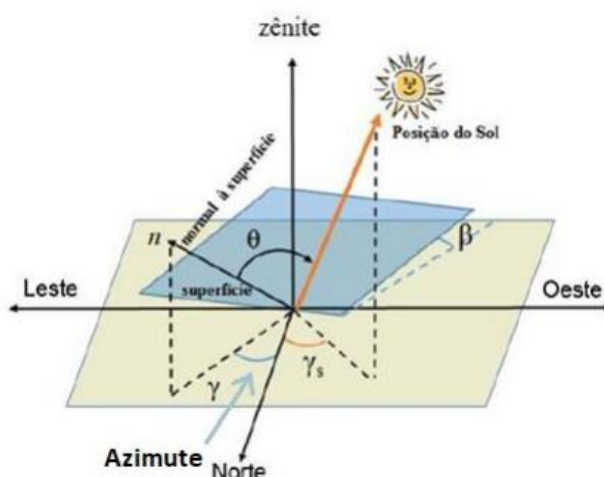
Fonte: Di Souza (2016, p. 1).

Conforme entendimento da Figura 2, algumas regras devem ser seguidas na instalação de módulos solares, dentre os quais: Orientação dos módulos fotovoltaicos para o norte geográfico (em países do hemisfério sul), possibilitando maximização da produção média

diária de energia; ajuste do ângulo de inclinação do módulo em relação ao plano horizontal, otimizando a geração de energia ao longo do ano (VILLALVA; GAZOLI, 2018).

Segundo Ragnini (2018), para receber um sistema fotovoltaico é desejável um telhado com o ângulo de azimute da superfície com menor inclinação possível. A Figura 4 demonstra o ângulo de azimute de uma superfície.

Figura 4 - Ângulo azimutal de uma superfície



Fonte: Pinho e Galdino (2014, p. 73).

Segundo Ragnini (2018, p. 35), “O ângulo de azimute se define como o ângulo entre a projeção do eixo normal da superfície e a direção norte-sul, usando o norte geográfico como ponto de partida (0°), ele é representado pela sigla γ (gamma).”

2.3.1 Células fotovoltaicas

Referente aos materiais utilizados na fabricação de dispositivos fotovoltaico, esses são escolhidos levando em conta a equivalência de suas características de absorção com o espectro solar, do custo de fabricação e dos impactos ambientais causados da deposição do material.

Lima *et al.* (2020, p. 10) descrevem que nas “células encontram-se os dispositivos fabricados com silício, semicondutores orgânicos, telureto de cádmio (CdTe), pontos quânticos, perovskitas e outros” sendo que a escolha desse material é feita conforma



características de coeficiente de absorção, *band gap*, toxicidade, estabilidade e disponibilidade.

Semicondutores comumente utilizados são aqueles que apresentam *band gap* entre 1,1 e 1,7 eV, com o intuito de respeitar o limite de Shockley-Queisser [70], que prevê máxima eficiência de 44% para um valor de $E_g/(kBT_s) \approx 2$, onde E_g é o valor do *gap* e T_s a temperatura de corpo negro do corpo radiante (aqui é relevante o sol, $T_s \approx 6000K$). Todavia, semicondutores com *band gaps* maiores também são utilizados. (LIMA *et al.*, 2020, p. 10).

Lima *et al.* (2020) ao relacionarem os principais tipos de células fotovoltaicas e materiais empregados, especificam que cada tipo possui aplicações e *performance* distintas, ainda que ocorra a identificação do nome das células, conforme o semicondutor selecionado para a aplicação nos dispositivos. Sampaio e Gonzáles (2017) descrevem três gerações, e essas são categorizadas conforme o material empregado, métodos de processamento adotados e nível de maturidade comercial.

- Primeira geração: células solares baseadas em *wafers* de silício. Representam 90% do mercado dos dispositivos fotovoltaicos, boa estabilidade e não toxicidade, e um *band gap* em torno de 1,12 eV, tornando o material ideal para utilização em células solares, e como vantagens a boa eficiência e desempenho em longo prazo. Podem ser monocristalinos (eficiências de conversão entre 17% e 27%), e policristalinos (redução da eficiência, de 12% a 20%, quando comparados à células de Si monocristalino). Ainda que utilize tecnologia mais antiga de fotovoltaicos, é a mais popular por conta da alta eficiência de conversão (SAMPAIO; GONZÁLES, 2017);

- Segunda geração: utiliza filmes finos (Silício Amorfo, Telureto de Cádmio, CIGS) na confecção dos painéis, gerando maior economia de material, e fornece flexibilidade, é de fácil instalação, tem tempo de vida médio de 25 anos, e custo baixo de processamento, porém apresenta baixa eficiência. As camadas de luz são em torno de 1µm. Essas células, de filme fino, podem ser obtidas com materiais como Si amorfo, CdTe e composições dos elementos cobre, índio, gálio e selênio (CIGS) (SAMPAIO; GONZÁLES, 2017);

Terceira geração: compreende painéis solares que utilizam novas tecnológicas, que estão sendo desenvolvidas e que ainda não se encontram em escala industrial. Nesta geração empregam-se células de nanocristais, células solares orgânicas (caracterizadas por sua aplicação a partir de um ramo eletrônico orgânico, normalmente utilizada em sistemas de



baixo custo como residências e comércios de pequeno porte), células híbridas, células sensibilizadas por corantes (DSSC), células de perovskita. Exibem ainda baixa eficiência se comparadas as tecnologias anteriores, mas a vantagem é a flexibilidade mecânica, baixo custo e facilidade de processamento.

Em sua maioria, as células fotovoltaicas, são produzidas com lâminas de silício, mono e multicristalino, com área entre 50 cm² e 150 cm², com espessura entre 0,2mm e 0,3mm. Quanto a aparência externa da célula fotovoltaica, segundo descreve Zilles *et al.* (2012, p. 18), “[...] é a de uma lâmina circular ou quadrada, com tonalidade entre azul-escuro e preto.” Sua parte superior apresenta raias, no tom cinza, constituídas de material condutor, que coletam cargas elétricas geradas pela luz solar.

Na indústria e dispositivos de conversão fotovoltaica os elementos semicondutores mais empregados são: silício (Si) monocristalino, policristalino e amorfo; arseneto de gálio (GaAs); disseleneto de cobre, gálio e índio (CuInGaSe₂); e telureto de cádmio (CdTe) (ZILLES *et al.*, 2012).

Quanto aos elementos semicondutores, relacionados por Zilles *et al.* (2012), caracterizando cada um, tem-se:

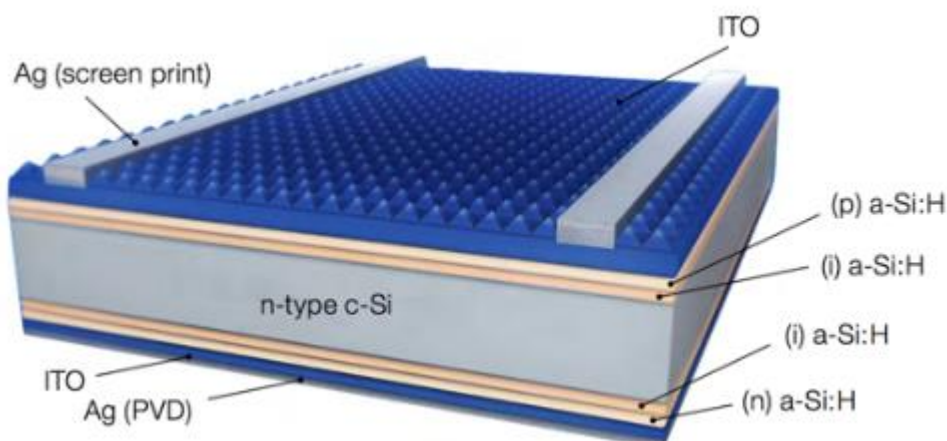
- Célula de silício monocristalino (mono-Si): utiliza o silício monocristalino puro, em sua construção, que possui uma estrutura única de treliça de cristal continua quase sem defeitos. Possuem um formato como um octógono por serem cortadas a partir de lingotes cilíndricos. Conforme dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB), o processo de fabricação da célula de Si tem início com a extração do cristal de dióxido de silício, material este desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado, em um processo que atinge de 98 e 99% em grau de pureza (PINHO; GALDINO, 2014). Para que este Si, seja utilizado como células fotovoltaicas requer de outros dispositivos semicondutores e de um grau de pureza maior devendo chegar na faixa de 99,9999%. Devido a esta característica possui uma alta média de eficiência em torno de 15% e 21%, considerada a mais eficiente, porém devido à complexidade da produção desse produto seu custo costuma ser consideravelmente mais alto. Cabe citar que, “a definição de eficiência de uma célula solar é a relação entre a potência elétrica produzida e a potência de energia incidente. Portanto, a capacidade de geração máxima entre células de silício está entre 150Wp e 210Wp por m².” (RAGNINI, 2018, p. 21)

- Célula de Silício policristalino (multi-Si): também utilizam o silício purificado, que ocorre por processo um de fundição é diferente, ou seja, em grandes blocos. Neste caso o processo de preparação das células não possui grande rigorosidade de controle, e apesar de apresentar uma boa eficiência não consegue se equiparar a eficiência apresentada pelas células monocristalinas. E, por possuir um custo consideravelmente inferior que a tecnologia citada anterior, e possuir níveis de eficiência próximos, grande parte dos módulos solares fotovoltaicos comercializados possuem tal tecnologia.

- Célula solar de silício amorfo (a-Si): difere das tecnologias anteriormente citadas. As células de silício amorfo apresentam altos graus de desordem em suas estruturas dos átomos. Pode ser fabricado por meio de deposição de diversos tipos de substratos e apresenta uma absorção da radiação solar na faixa do visível. Normalmente empregado em sistemas de baixo custo, não representa uma fatia grande de geração de energia possuindo baixos índices de eficiência e uma degradação logo nos primeiros meses de operação.

- Célula fotovoltaica híbrida (Heterojunção - HJT): esta tecnologia integra duas das tecnologias acima citadas, silício monocristalino e silício amorfo. No processo de fabricação é adicionado uma fina camada de silício amorfo sobre os *wafers* de silício monocristalino, processo este que resulta no aumento em 20% da eficiência das células. Como vantagem tem-se a redução do coeficiente de temperatura das células (VILLALVA, 2019). O esquema da Figura 5 ilustra a estrutura de uma célula HIT.

Figura 5 - Estrutura de uma célula HIT



Fonte: Empresa Meyer Burger *apud* Villalva (2019).



Conforme Figura 5, na parte inferior uma camada de metalização com prata (Ag) utilizando um processo de deposição denominado *physical vapor deposition* (PVD), acima, uma camada de óxido de índio e estanho (ITO), material transparente e condutor elétrico e, uma camada de silício amorfo (a-Si) do tipo (n) sobreposta por uma fina camada de silício amorfo (a-Si) intrínseco (i); na sequência uma camada de silício cristalino (c-Si) do tipo (n), sobreposta por duas outras camadas de silício amorfo (a-Si) intrínseco (i) e silício amorfo (a-Si) do tipo (p). Na parte superior, uma camada condutiva de ITO junto aos trilhos metálicos (*bus bars*) de prata (Ag) (VILLALVA, 2019).

Os módulos HIT produzem mais energia em locais quentes do que os módulos que empregam células cristalinas convencionais, isso equivale dizer que um menor coeficiente térmico (da ordem de $-0,26\%/^{\circ}\text{C}$) favorece que a eficiência do módulo fotovoltaico sofrer menos influência do aumento da temperatura, ou seja, os módulos HIT produzem mais energia em locais quentes do que os módulos que empregam células cristalinas convencionais (VILLALVA, 2019).

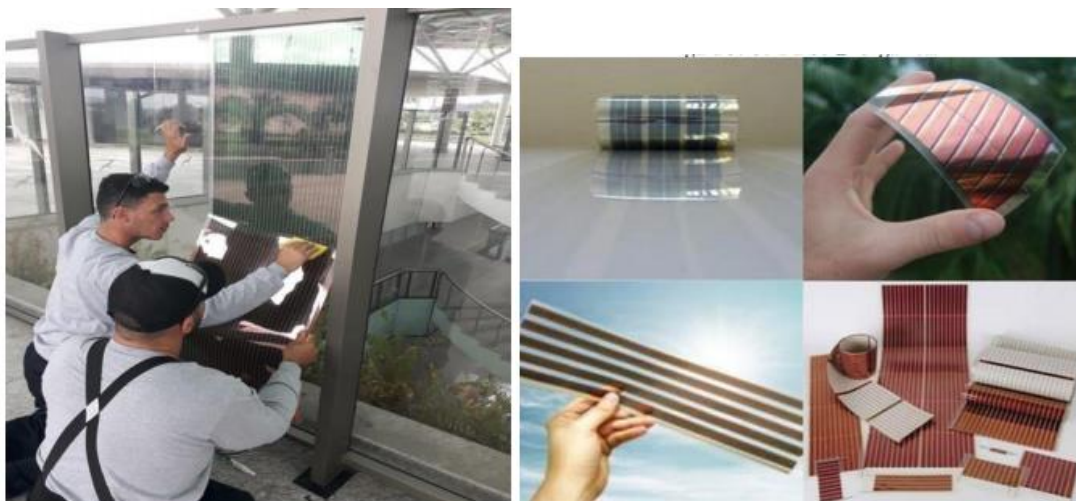
Além da utilização de silício, pode-se construir células fotovoltaicas adotando Telureto de cádmio (CdTe) e Seleneto de cobre gálio índio (CIGS). Ambos os elementos e o silício amorfo (a-Si) pode ser utilizado na produção da tecnologia de filme fino, os quais possuem uma eficiência de conversão em torno de 2-3 pontos percentuais mais baixos do que o silício cristalino, utilizado em aplicações que demandam pequenas células como no caso de calculadora de escritório (ZILLES *et al.* 2012). Apesar dos processos de fabricação serem parecidos, este tipo de tecnologia utiliza mais produtos químicos tóxicos em relação a tecnologia mono e poli cristalinas. Ademais possuem um gasto de eletricidade menor para serem fabricados e na maior parte é aplicado em soluções flexíveis como “lonas fotovoltaicas” para fazer coberturas. Possuem tecnologias que utilizam elementos como cobre índio e gálio (CIGS) porém, não possuem uma boa aderência do mercado por baixa eficiência em relação as outras tecnologias e se tratar de um material toxico.

Conforme afirma Lima *et al.* (2020), é preciso que os materiais adotados tenham bons coeficientes de absorção, o que conseqüentemente trará melhor eficiência na conversão da luz solar em energia elétrica, além de ser essencial levar em conta as características de cada tecnologia utilizada e as condições ambientais de onde serão expostos os dispositivos.

Segundo Souza *et al.* (2020), o sistema fotovoltaico apresenta diversas vantagens, são silenciosos, modulares, utilizam combustível gratuito e possuem baixo custo operacional e de

manutenção, no entanto, a instalação de painéis de silício monocristalinos e policristalinos, apresentam algumas restrições, ainda que ofereçam maior eficiência de conversão de luz. Os autores ressaltam que as placas pesam entre 18 kg e 25 kg, inviabilizando seu uso em algumas situações, e apresentam o *Organic Photovoltaics* (OPV), que atende a instalação em claraboias de *shoppings* ou fachadas de prédios, sendo um produto nacional (*startup* mineira SUNEW). A Figura 6, expõe a célula solar orgânica e a facilidade de aplicação.

Figura 6 - Célula solar orgânica



Fonte: SUNEW (2020).

O OPV faz parte da terceira geração de energia solar, utilizando filmes semitransparentes, finos e flexíveis, que possibilitam geração de energia através da luz, artificial ou natural, ou seja, a geração ocorre enquanto houver luz no ambiente, o que difere das tecnologias de primeira geração, que requer que se angule as placas na direção norte e tem a geração calculada pela incidência solar no horário de pico, ou seja, o OPV rompe as restrições da primeira geração (SOUZA *et al.*, 2020).

As tecnologias de filmes finos são promissoras para o futuro da aplicação em larga escala da energia solar fotovoltaica ao entorno construído por demandarem pouca energia e matérias primas na sua fabricação e pelo seu grande potencial de redução de custos se produzidos em grande escala. Aspectos estéticos também são melhor atendidos pelas tecnologias fotovoltaicas de filmes finos, razão pela qual poderão vir a dominar as aplicações integradas ao entorno construído no Brasil no futuro próximo. (RÜTHER, 2004, p. 78).



Tem capacidade de geração energética média de até 35 Wp/m², com índice variante de acordo com a intensidade da tinta aplicada no substrato plástico. O OPV tem na composição da tinta polímeros de carbono, “que em contato com a radiação solar, cria o sistema que libera elétrons e forma a corrente elétrica ligada à rede do usuário.” (SOUZA *et al.*, 2020, p. 52959). Por ser uma tecnologia que se adapta a um tipo diferente de aplicação, não há como comparar com os módulos solares que atendem a outra aplicação, pois na prática os filmes podem ser aplicados em, além das claraboias já citadas, vidros (carros, janelas) de prédios até em mochilas e capas de *tablets*.

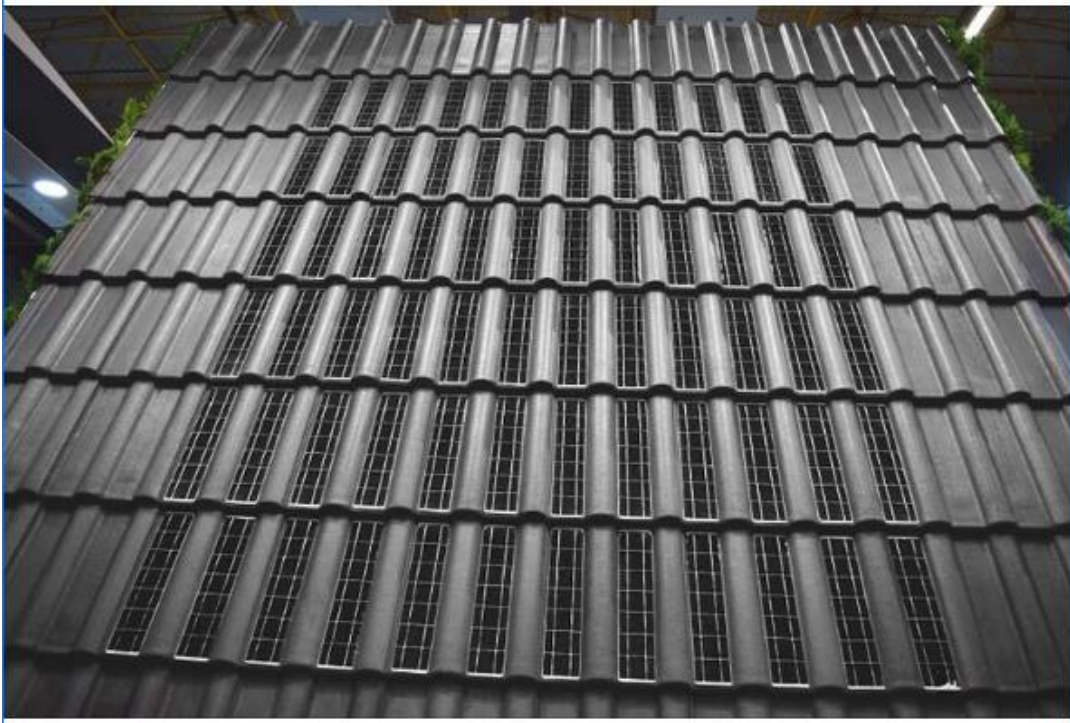
Quanto as vantagens do OPV pode-se relacionar: possibilidade de diferentes aplicações e *design* customizado; conforto térmico e economia de energia com climatização; facilidade de instalação; produção de energia solar limpa; produção em alta escala; bloqueia radiação infravermelha e ultravioleta; utiliza material reciclável. No entanto, também apresenta como desvantagens: menor custo das placas, mas exigem uma grande quantidade de espaço; menos eficiência por área se comparado às placas de silício; degradação maior quando não se utiliza o encapsulamento, reduzindo tempo de vida útil (SOUZA *et al.* 2020).

2.3.2 Telhas fotovoltaicas

A telha fotovoltaica é uma opção para gerar eletricidade e atuar como elemento arquitetônico em telhados (RUTHER, 2004), e são fabricadas a partir de um composto polimérico, por um processo denominado *casting*, sua composição é determinada a partir da variação do polímero base e de aditivos, como cargas, estabilizantes, protetores de radiação UVA., entre outros resultando em um material como propriedades mecânicas e resistência química ao intemperismo (FREITAS *et al.*, 2012) esse processo permite a confecção de uma variedade de formas de telhas solares.

Acompanhando essa tendência, a empresa Eternit apresentou na Feira Intersolar, no Expo Center Norte-SP, em agosto de 2019 a 1ª telha fotovoltaica (Figura 7) do país aprovada pelo Inmetro, sendo que cada telha, com dimensão de 365 x 475 mm produz 9,16 watts. Com capacidade mensal de produzir em uma única telha 1,15 kwh/mês. A capacidade de produção média mensal de uma única telha é de 1,15 Kilowatts hora por mês (kwh/mês), e um retorno sobre o investimento em um período relativamente curto, de 3 a 5 anos, dependendo do sistema (ROSA, 2019b).

Figura 7 - Telha da Eternit Solar



Fonte: Rosa (2019b).

Segundo desenvolvedores.

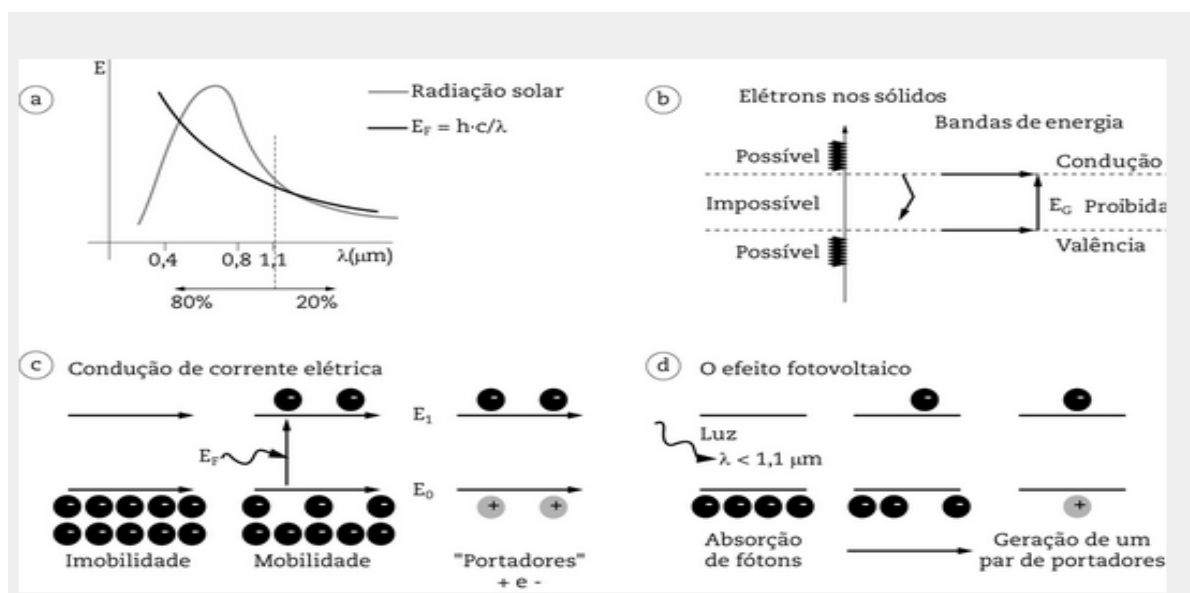
Uma residência pequena pode ter em torno de 100 a 150 telhas fotovoltaicas de concreto. Casas de médio e alto padrão, de 300 a 600 unidades ou mais. O restante do telhado é feito com telhas comuns, complementadas com acabamentos como cumeeiras, laterais, espigão do mesmo modelo, com mesmo material e encaixes perfeitos, garantindo a melhor estética do telhado. (BARBOSA *apud* ROSA, 2019b, p. 1)

2.4 FUNCIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Quanto ao funcionamento dos módulos, os materiais utilizados na conversão fotovoltaica são semicondutores, cuja estrutura de bandas de energia é obtida mediante a aplicação das leis da mecânica quântica a qual afirma que qualquer tipo de radiação eletromagnética é formado de partículas, denominadas de fótons, que carregam certa quantidade de energia (E_F). Sendo que para descrever um dispositivo fotovoltaico são ainda necessárias as equações de Maxwell do eletromagnetismo (LIMA *et al.* 2020). As bandas são compostas por números de valores discretos, permitidos de energia próximos, essa proximidade leva muitas vezes a serem considerados contínuos (PINHO; GALDINO, 2014).

Zilles *et al.* (2012) afirmam que a energia em um fóton está diretamente relacionada às características espectrais de sua fonte e varia inversamente com o comprimento de onda da emissão eletromagnética, conforme representa a Figura 8.

Figura 8 - Diagrama de energia de um semiconductor e fundamento básicos da conversão fotovoltaica



Fonte: Zilles *et al.* (2012, p. 14).

A Figura 8 (a) ilustra o espectro da radiação solar e da energia contida em cada fóton em função do comprimento de onda; em (b) pode-se observar a disposição dos elétrons nos sólidos – bandas de energia; em (c) na condução de corrente elétrica, ocorre a demonstração da absorção de energia do fóton e liberação da banda de valência; e em (d), o efeito fotovoltaico, onde a geração do par elétron-lacuna para o ciclo monocristalino.

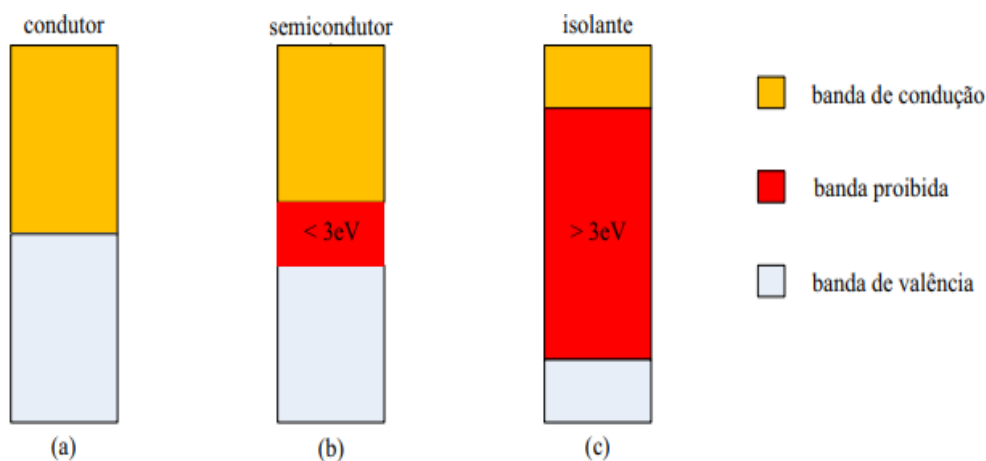
Diante do exposto na Figura 8, pode se afirmar que o princípio básico de funcionamento de uma célula fotovoltaica é a reação do material semiconductor, quando este é exposto a incidência dos raios solares, o que resulta na liberação de elétrons, os quais são conduzidos para um circuito dentro de um painel solar, gerando assim energia elétrica (PINHO; GALDINO, 2014).

A construção das células é realizada com utilização de elementos semicondutores que possuem como característica, de natureza, uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução vazia (sem elétrons) na temperatura do zero absoluto (0K).

e, a partir do zero absoluto, tem-se uma banda de condução com um número n de elétrons e uma banda de valência com uma lacuna proporcional a este número de elétrons. No caso do SI o valor de n , é de $1,45 * 10^{10} \text{ cm}^3$ na temperatura de 300K (PINHO; GALDINO, 2014).

Quando da separação da banda proibida (*band gap*, ou simplesmente *gap*) entre as duas bandas de energia permitidas dos materiais semicondutores, representada por E_g , está pode atingir até 3eV (elétron-volt), diferenciando estes materiais dos materiais considerados isolantes, onde a banda proibida supera este valor (PINHO; GALDINO, 2014). A Figura 9 representa a estrutura de separação de bandas de energia para condutores, semicondutores e isolantes.

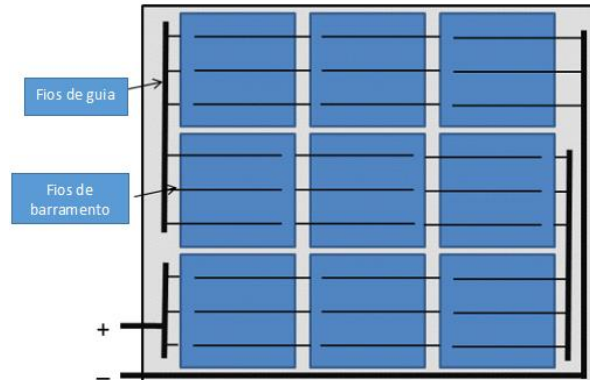
Figura 9 - Estrutura de bandas de energia



Fonte: Pinho e Galdino (2014, p. 105).

Conforme Figura 9, em (a) condutor, (b) semicondutor e (c) isolante, sendo que, o semicondutor apresenta um aumento e condutividade com a temperatura. Segundo Pinho e Galdino (2014) no interior das células ocorre uma associação entre os semicondutores, a princípio em série, elevando as tensões, conexão está, denominada de *cell fingers*, ou dedos de células solares. Esses “barramentos” impressos na superfície da célula são denominados de serigrafia. Em um segundo momento, os conjuntos em série conectam entre si paralelamente, para elevar as correntes elétricas, e essa conexão é realizada por barramentos conhecidos como *Busbar* (barramentos). Na Figura 10 é possível observar as conexões.

Figura 10 - Esquema representando fio de guia e fio de barramento de uma célula fotovoltaica



Fonte: Traduzido de DS New Energy (2019).

Os fios de barramento podem ser construídos com o mesmo material do fio de guia, podendo ser de fio de cobre redondo. Atualmente é comum células 2 BB (dois barramentos ou barramento *busbar*), 3BB ou 4BB, sendo que, quanto mais *busbar* menor será a resistência encontrada, que conseqüentemente elevará a eficiência da célula.



3 METODOLOGIA

A pesquisa se delineou com base em documentos. A abordagem metodológica adotada é qualitativa e exploratória, sendo um estudo de caso, cujo instrumento utilizado foi a simulação de instalação de painéis e telhas fotovoltaicas.

A pesquisa bibliográfica, segundo Gil (2008), traz como principal vantagem permitir a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que se pesquisar diretamente, pois tem a abrangência de dados e informações já registradas. No entanto, requer fontes confiáveis para assegurar a credibilidade dos documentos selecionados.

A pesquisa exploratória, Gil (2008) afirma ser uma forma de proporcionar familiarização com o problema, explicitando-o, ou seja, a leitura dos textos proporcionou um melhor entendimento sobre sistemas fotovoltaicos. Para autores como Denzin e Lincoln (2006), na abordagem qualitativa é possível uma análise interpretativa do mundo, que leva a entender que o pesquisador estuda as coisas em seus cenários naturais, buscando a compreensão dos fenômenos.

Já Vieira e Zouain (2005) defendem que a natureza qualitativa confere importância aos depoimentos dos envolvidos, aos discursos e ao que é transmitido por eles, o que leva ao entendimento que esse tipo de pesquisa considera os detalhes dos fenômenos e dos elementos que o envolvem.

3.1 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

A realização do levantamento de custos de materiais do projeto foi sintetizada com base nos diagramas unifilares e multifilares referentes a cada um dos sistemas, para que fosse possível a definição da lista de material (Apêndice A, B, C e D). Para tal, foi adotado preços de materiais e equipamentos fornecidos pelos fabricantes e ou fornecedores.

Em relação a metragem de cabeamento foi considerado de acordo com as dimensões levantadas no local no dia do levantamento técnico, porém, como se trata de um projeto privado não é possível a divulgação dos diagramas que envolvem a parte da construção civil da residência.

O custo de instalação foi estipulado com base em uma média encontrada entre os integradores de sistemas solares fotovoltaicos atuantes na região do Vale do Paraíba.



4 ESTUDO DE CASO

Neste trabalho será realizado um estudo de caso que será composto por analisar a viabilidade econômica da instalação de telhas solares em relação a módulos solares fotovoltaicos em um projeto de energia solar fotovoltaica On-Grid. Inicialmente apresenta-se os resultados das simulações de instalação de painéis e telhas fotovoltaicas, e na sequência, a discussão desses resultados buscando comparar com os estudos similares encontrados na literatura.

4.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO

SITUADO NA CIDADE DE - São Bento do Sapucaí

Rua Treze de Maio, nº 150 - 12490-000

Este projeto diz respeito à construção de um sistema de produção de eletricidade através da conversão fotovoltaica.

LOCAL DE INSTALAÇÃO

O sistema tem as seguintes características:

DADOS DA LOCALIZAÇÃO

Localidade: São Bento do Sapucaí 12490-000, Rua Treze de Maio, nº 150

Latitude: 022°41'25"S

Longitude: 045°44'06"W

Altitude: 901 m

Fonte dados climáticos: ATLAS BRAS. 2017

Albedo: 0 %

DIMENSIONAMENTO

A quantidade de energia produzida é calculada com base nos dados radiométricos, conforme a fonte ATLAS BRAS. 2017 e o Atlas Solarimétrico do Brasil, utilizando os métodos de cálculo descritos nas normas.



As instalações atenderão 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 alternada e a energia ou a potência produzida em corrente alternada é (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), pelo menos, maior do que 0,78, no caso de utilização de conversores de potência até 20 kWp, e 0,8 no caso de utilização de inversores de maior potência, 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*.

RADIAÇÃO SOLAR

A avaliação do recurso solar disponível foi realizada de acordo com a fonte ATLAS BRAS. 2017 e o Atlas Solari métrico do Brasil, tendo como referência o local com os dados históricos e de radiação solar nas imediações de São Bento do Sapucaí.

Tabela 1 - Radiação solar na horizontal

Mês	Total diário [MJ/m ²]	Total mensal [MJ/m ²]
Janeiro	18,82	583,42
Fevereiro	20,16	584,64
Março	17,34	537,54
Abril	16	480
Maio	13,47	417,57
Junho	12,57	377,1
Julho	13,33	413,23
Agosto	16,75	519,25
Setembro	17,24	517,2
Outubro	18,91	586,21
Novembro	19,01	570,3
Dezembro	20,51	635,81

Fonte: Autores (2020).

4.2 DADOS GERAIS PARA TODAS SIMULAÇÕES

EXPOSIÇÕES

O sistema fotovoltaico é composto por 1 gerador distribuído em 1 exposições, conforme tabela abaixo:

Quadro 1 - Gerador

Descrição	Tipo de instalação	Orientação	Inclinação	Sombreamento
Noroeste	Ângulo fixo	135°	30°	0 %

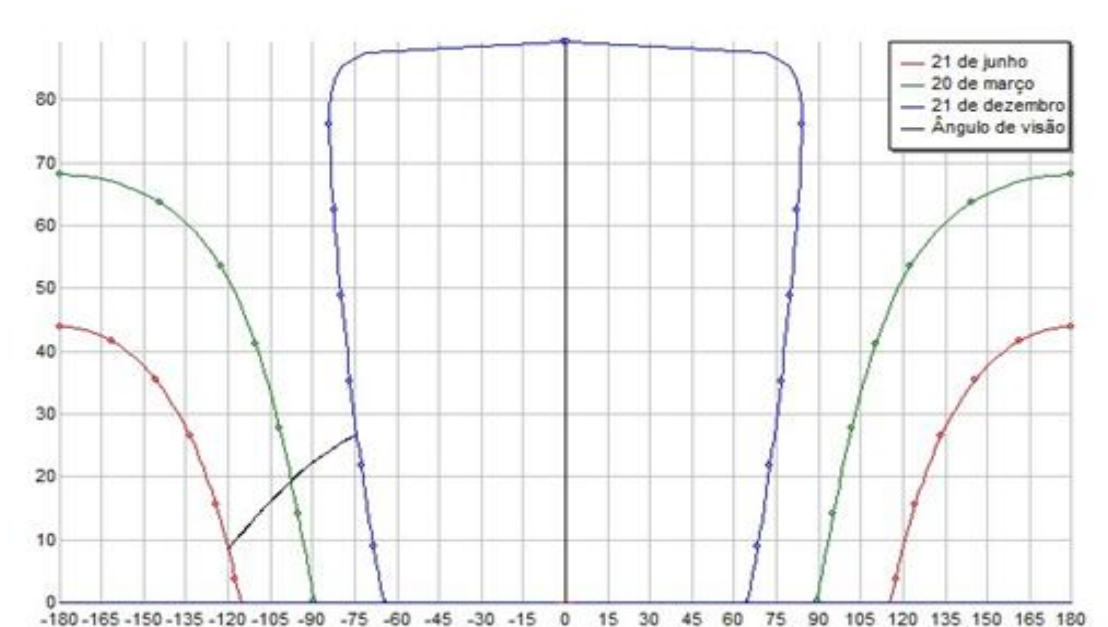
Fonte: Autores (2020).

ORIENTAÇÃO DO TELHADO: NOROESTE

Noroeste será exposto com uma orientação de 135,00° (azimute) em relação ao sul, e terá uma inclinação horizontal de 30,00°.

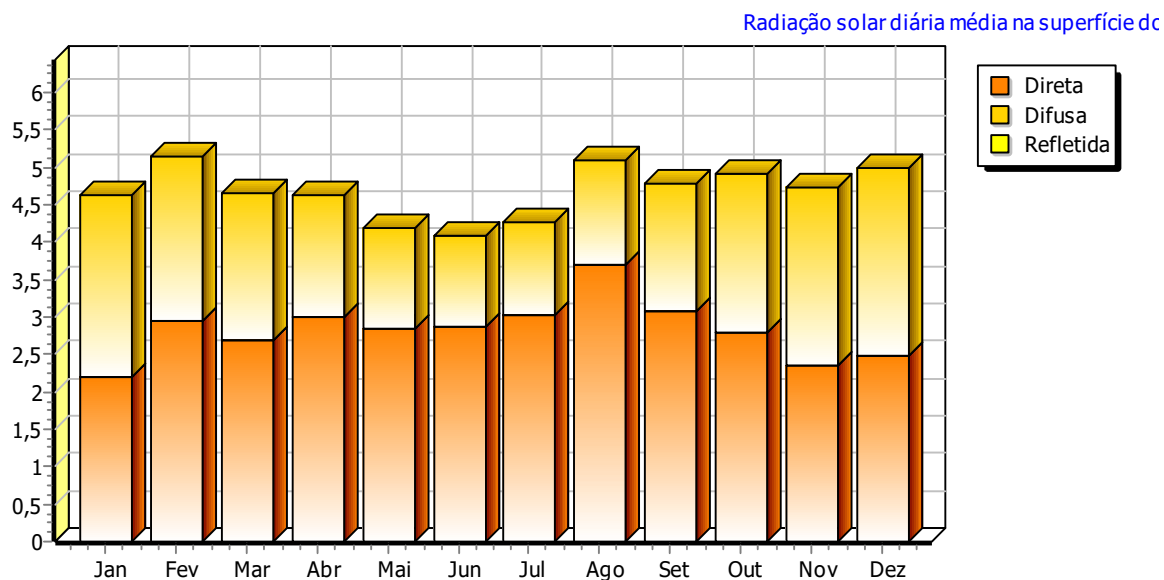
A produção de energia da exposição Noroeste é condicionada por alguns fatores que determinam uma redução de radiação solar de sombreamento para a valor de 0 %.

Figura 11 - Gráfico de sombreamento



Fonte: Autores (2020).

Figura 12 - Gráfico de radiação solar



Fonte: Autores (2020).

Tabela 2 - Radiação solar

Mês	Radiação direta [kWh/m²]	Radiação difusa [kWh/m²]	Radiação refletida [kWh/m²]	Total das diárias [kWh/m²]	Total mensal [kWh/m²]
Janeiro	2,198	2,441	0	4,639	143,811
Fevereiro	2,956	2,18	0	5,135	148,927
Março	2,687	1,972	0	4,659	144,442
Abril	3,008	1,628	0	4,636	139,073
Maio	2,847	1,343	0	4,189	129,864
Junho	2,867	1,21	0	4,077	122,314
Julho	3,034	1,236	0	4,27	132,369
Agosto	3,694	1,387	0	5,081	157,506
Setembro	3,067	1,718	0	4,785	143,551
Outubro	2,799	2,102	0	4,901	151,923
Novembro	2,365	2,353	0	4,718	141,551
Dezembro	2,478	2,517	0	4,994	154,822

Fonte: Autores (2020).



ESTRUTURAS DE APOIO

Os módulos serão montados em suportes de aço galvanizado aderentes a cobertura, todos terão a mesma exposição. Os sistemas de fixação da estrutura deverão resistir a rajadas de vento, com velocidade de até 120 km / h.

INVERSOR SOLAR

O sistema de conversão é composto por um conjunto de conversores estáticos (inversores). O conversor CC/CA utiliza um sistema idôneo de transferência de potência a rede de distribuição, em conformidade aos requisitos técnicos e normas de segurança. 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 grupo conversor são:

- Inversor de comutação forçada com *Pulse-width modulation* (PWM), sem *clock* e/ou tensão de referência ou de corrente, semelhante a um sistema não idôneo a suportar a tensão e frequência de intervalo normal. Este sistema está em conformidade com as normas da ABNT e com o sistema de rastreamento de potência máxima MPPT;
- Entrada do gerador cc gerenciado com polos não ligados ao terra;
- Conforme as normas gerais de limitação de Emissões EMF e RF: Conformidade IEC 110-1, IEC 110-6, IEC 110-8;
- 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.



CABEAMENTO ELÉTRICO

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.

Os cabos também estarão de acordo com as normas IEC, com código e cores conforme a norma IEC / NBR.

Para não comprometer a segurança dos trabalhadores durante a instalação, verificação ou manutenção, os condutores seguirão a tabela de cores conforme quadro 1.

Quadro 2 - Guia de cores para cabeamento

Cabos de proteção	Amarelo-Verde (Obrigatório)
Cabos de neutro	Azul claro (Obrigatório)
Cabos de fase	Cinza/Marrom/Preto
Cabos de circuito (CC)	Com indicação específica de (+) para positivo e (-) para negativo.

Fonte: Autores (2020).

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 estas seções, a queda de potencial está contida dentro 2% do valor medido a partir de qualquer módulo para o grupo de conversão.

QUADRO ELÉTRICO

- Quadro de campo lado corrente contínua: Será prevista a instalação de um quadro de CC em cada conversor para conexões em paralelo dos módulos, medições e controle dos dados de entrada e saída em cada gerador fotovoltaico;
- Quadro de paralelo lado corrente alternada: Será prevista a instalação de um quadro de paralelo em alternada localizado depois dos conversores estáticos, para realização da medição e controle dos dados de saída do inversor. Dentro será adicionado o sistema de interface com a rede e o medidor da sociedade distribuidora.

4.2.1 Simulação Telha Solar – *Green Tile* + Inversor *String*

O sistema fotovoltaico é composto de 1 gerador fotovoltaicos compostos de nº 256 telhas fotovoltaicos e 1 inversor. A potência de pico é de 3,85 kWp para uma produção de 5.400,6 kWh por ano, distribuídos em uma área de 35,84 m². Modalidade de conexão à rede de alimentação Baixa Tensão em Bifásico (2F + N) com tensão de fornecimento 220 V.

A tabela 3 apresenta a produção de energia em 1 ano utilizando telha solar – *green tile* + inversor *string*.

Tabela 3 - Produção de energia em 1 ano utilizando telha solar – *green tile* + inversor *string*

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	14,65	454,149
Fevereiro	16,217	470,306
Março	14,714	456,142
Abril	14,64	439,188
Mai	13,229	410,106
Junho	12,875	386,264
Julho	13,484	418,017
Agosto	16,045	497,397
Setembro	15,111	453,329
Outubro	15,476	479,766
Novembro	14,9	447,015
Dezembro	15,772	488,923

Fonte: Autores (2020).

GERADOR (TELHA)

O gerador é composto de 256 telhas fotovoltaicos com uma vida útil estimada de mais de 25 anos e degradação da produção devido ao envelhecimento de 0,8 % ao ano. A tabela 4 demonstra essas características.

Quadro 3 - Características gerador / técnicas das telhas / elétricas / dimensões

Características do gerador fotovoltaico	
Número de telhas:	256
Número de inversores:	1

Potência nominal:	3,853 kW
Potência de pico:	3,853 kWp
<i>Performance ratio</i> :	82 %
Características técnicas das telhas	
Fabricante:	GREEN TILE
Modelo:	GT GT-15
Tecnologia de const.:	Silício monocristalino
Características elétricas	
Potência máxima:	15,1 Wp
Rendimento:	10,8 %
Tensão nominal:	2 V
Tensão em aberto:	2,5 V
Corrente nominal:	7,5 A
Corr. de curto-circuito:	8 A
Taxa de eficiência bifacial:	0 %
Dimensões	
Dimensões:	330 mm x 420 mm
Peso:	1,7 kg

Fonte: Autores (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.

A linha elétrica proveniente dos módulos fotovoltaicos é posta a terra mediante descarregadores de sobretensão com indicação ótica de fora de serviço.

INVERSOR SOLAR

A unidade de conversão consiste no uso de 1 inversor. O quadros 4 e 5 demonstram os dados técnicos do inversor.

Quadro 4 - Dados técnicos do inversor

Dados técnicos do inversor	
Fabricante	WEG
Modelo	SIW300H SIW300H-M040 (60Hz) (2020)
Entrada para rastreador	1
Características elétricas	
Potência nominal	4 kW

Potência máxima	4,1 kW
Potência máxima por rastreador	2 kW
Tensão nominal	380 V
Tensão máxima	600 V
Tensão mínima por rastreador	90 V
Tensão máxima por rastreador	600 V
Tensão máxima de saída	220 Vac
Corrente nominal	30 A
Corrente máxima	30 A
Corrente máxima por rastreador	15 A
Rendimento	0,99

Fonte: Autores (2020).

Quadro 5 - Inversor 1

Inversor 1	MPPT 1	MPPT 2
Módulos em série	64	64
Conjunto de módulos em paralelos	2	2
Exposições	Noroeste	Noroeste
Tensão MPPT (<i>Standard Test Condition - STC</i>)	128 V	128 V
Número de módulos	128	128

Fonte: Autores (2020).

DIMENSIONAMENTO

Potência de pico do gerador:

$$P = P \text{ módulos} * N^{\circ} \text{ telhas} = 15,1 \text{ Wp} * 256 = 3,853 \text{ kWp} \quad (1)$$

O cálculo da energia total produzida pelo sistema nas condições normais de STC (radiação de 1000 W/m², temperatura de 25°C), é calculado como:

$$E = E_n * (1 - \text{Perd}) = 5400,6 \text{ kWh.} \quad (2)$$



Quadro 6 - Gerador

Exposição	Nº telhas	Radiação solar [kWh/m ²]	Energia [kWh]
Noroeste	256	1.710,15	6.588,87

Fonte: Autores (2020).

Quadro 7 - Perdas de potência obtida

Perda por sombreamento totais:	0,0 %
Perda por aumento de temperatura:	6,5 %
Perdas por descasamento:	5,0 %
Perdas de corrente continua:	1,5 %
Outras perdas:	5,0 %
Perdas na conversão:	1,4 %
Perdas totais:	18,0 %

Fonte: Autores (2020).

Tabela 4 - Perdas por sombreamento de obstáculos*

Mês	Sem obstáculos [kWh]	Produção efetiva [kWh]	Perdas [kWh]
Janeiro	454,1	454,1	0,0 %
Fevereiro	470,3	470,3	0,0 %
Março	456,1	456,1	0,0 %
Abril	439,2	439,2	0,0 %
Mai	410,1	410,1	0,0 %
Junho	386,3	386,3	0,0 %
Julho	418,0	418,0	0,0 %
Agosto	497,4	497,4	0,0 %
Setembro	453,3	453,3	0,0 %
Outubro	479,8	479,8	0,0 %
Novembro	447,0	447,0	0,0 %
Dezembro	488,9	488,9	0,0 %
Ano	5400,6	5400,6	0,0 %

Fonte: Autores (2020).

* Não há local de sombreamento, portanto não terá perda por este motivo.

Os diagramas unifilar e multifilar desta simulação se encontram nos Apêndices E e F .



ANÁLISE FINANCEIRA

Para analisarmos financeiramente os projetos foi realizado os principais cálculos matemáticos utilizados para validação de orçamentos como *Payback* Simples, *Payback* Descontado, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

O *payback* é um índice financeiro que indica em quanto tempo o projeto leva para “se pagar”, ou seja, a partir de quanto tempo o mesmo retorna o investimento e passa a gerar lucros. Este índice pode ser calculado de duas formas: o simples, que não considera o valor do dinheiro no tempo; e, o descontado, que é um indicador mais complexo que usa os valores descontados para o presente por meio de uma taxa de juros. (GONÇALVES, 2018).

Normalmente, o *payback* descontado é calculado a partir da TMA, que pode ser a taxa de juros básica do mercado ou outro indicador que represente a rentabilidade mínima esperada. Neste caso, compomos a TMA a partir de três fatores, Risco de Oportunidade, Risco de Negócio e Prêmio pela Liquidez. E a partir da análise desses fatores foi definido como TMA 9%. Definido a TMA, é possível utilizar a métrica do VPL que permite trazer os valores futuros para o valor presente, sendo considerado um cálculo extremamente necessário, devido ao fato de que o dinheiro que receberemos no futuro não terá o mesmo valor que o dinheiro possui no tempo presente (BONA, 2019; CAMARGO, 2017).

No caso da Taxa Interna de Retorno, é uma métrica usada para avaliar qual o percentual de retorno de um projeto para a empresa. Ao encontrar essa taxa, geralmente ela será comparada à TMA para que se decida se o projeto deve ou não ser aceito. Se a TIR for maior que a TMA, o investimento deve ser aceito (geralmente não se baseia apenas em um indicador), caso contrário será rejeitado. Em geral, as empresas darão preferência aos projetos que possuem a maior diferença entre a taxa requerida e a taxa interna de retorno.

Após efetuar a análise da simulação com Telha Solar – *Green Tile* + Inversor *String*, temos:

Valor da energia – R\$0,73

Geração prospectada anual = 5400,6 kWh

Valor do investimento = R\$103.222,75

Contribuição de Iluminação pública (CIP) = 12,12 TMA = 9%

No quadro 8, é possível verificar o retorno financeiro na projeção dos 25 Anos.



Quadro 8 - Análise Financeiro – *Payback* Simples e Descontado

Ano	Rendimento anual dos módulos FV	Geração anual de energia do sistema	Geração acumulada de energia	Reajuste mínimo anual da energia	Valor de energia com o reajuste anual	Geração Anual em R\$ do sistema	Valor da Tarifa mínima bifásica anual + CIP	Fluxo de Caixa	Payback Simples	Fluxo de Caixa (VP)	Payback Descontado
1	99,30%	5.363	5.363	12%	R\$ 0,81	R\$ 4.357,96	R\$ 633,02	R\$ 3.724,94	-R\$ 99.497,81	R\$ 3.417,38	-R\$ 99.805,37
2	98,60%	5.325	10.688	12%	R\$ 0,91	R\$ 4.830,93	R\$ 689,77	R\$ 4.141,15	-R\$ 95.356,66	R\$ 3.485,53	-R\$ 96.319,85
3	97,90%	5.287	15.975	12%	R\$ 1,01	R\$ 5.354,96	R\$ 753,13	R\$ 4.601,83	-R\$ 90.754,83	R\$ 3.553,45	-R\$ 92.766,39
4	97,20%	5.249	21.224	12%	R\$ 1,13	R\$ 5.935,53	R\$ 823,87	R\$ 5.111,66	-R\$ 85.643,17	R\$ 3.621,23	-R\$ 89.145,16
5	96,50%	5.212	26.436	12%	R\$ 1,26	R\$ 6.578,70	R\$ 902,83	R\$ 5.675,87	-R\$ 79.967,30	R\$ 3.688,92	-R\$ 85.456,24
6	95,80%	5.174	31.610	12%	R\$ 1,41	R\$ 7.291,19	R\$ 991,00	R\$ 6.300,19	-R\$ 73.667,11	R\$ 3.756,60	-R\$ 81.699,64
7	95,10%	5.136	36.746	12%	R\$ 1,57	R\$ 8.080,40	R\$ 1.089,42	R\$ 6.990,99	-R\$ 66.676,13	R\$ 3.824,31	-R\$ 77.875,33
8	94,40%	5.098	41.844	12%	R\$ 1,76	R\$ 8.954,56	R\$ 1.199,30	R\$ 7.755,27	-R\$ 58.920,86	R\$ 3.892,11	-R\$ 73.983,23
9	93,70%	5.060	46.904	12%	R\$ 1,96	R\$ 9.922,74	R\$ 1.321,97	R\$ 8.600,78	-R\$ 50.320,08	R\$ 3.960,04	-R\$ 70.023,19
10	93,00%	5.023	51.927	12%	R\$ 2,19	R\$ 10.994,99	R\$ 1.458,91	R\$ 9.536,08	-R\$ 40.784,00	R\$ 4.028,14	-R\$ 65.995,05
11	92,30%	4.985	56.912	12%	R\$ 2,44	R\$ 12.182,42	R\$ 1.611,80	R\$ 10.570,62	-R\$ 30.213,38	R\$ 4.096,46	-R\$ 61.898,59
12	91,60%	4.947	61.858	12%	R\$ 2,73	R\$ 13.497,31	R\$ 1.782,49	R\$ 11.714,82	-R\$ 18.498,56	R\$ 4.165,03	-R\$ 57.733,56
13	90,90%	4.909	66.768	12%	R\$ 3,05	R\$ 14.953,24	R\$ 1.973,04	R\$ 12.980,20	-R\$ 5.518,36	R\$ 4.233,87	-R\$ 53.499,69
14	90,20%	4.871	71.639	12%	R\$ 3,40	R\$ 16.565,24	R\$ 2.185,77	R\$ 14.379,47	R\$ 8.861,12	R\$ 4.303,01	-R\$ 49.196,69
15	89,50%	4.834	76.472	12%	R\$ 3,80	R\$ 18.349,92	R\$ 2.423,27	R\$ 15.926,66	R\$ 24.787,77	R\$ 4.372,47	-R\$ 44.824,21
16	88,80%	4.796	81.268	12%	R\$ 4,24	R\$ 20.325,63	R\$ 2.688,40	R\$ 17.637,22	R\$ 42.424,99	R\$ 4.442,28	-R\$ 40.381,93
17	88,10%	4.758	86.026	12%	R\$ 4,73	R\$ 22.512,65	R\$ 2.984,41	R\$ 19.528,25	R\$ 61.953,24	R\$ 4.512,45	-R\$ 35.869,48
18	87,40%	4.720	90.746	12%	R\$ 5,28	R\$ 24.933,43	R\$ 3.314,86	R\$ 21.618,57	R\$ 83.571,81	R\$ 4.583,00	-R\$ 31.286,47
19	86,70%	4.682	95.429	12%	R\$ 5,90	R\$ 27.612,74	R\$ 3.683,78	R\$ 23.928,96	R\$ 107.500,78	R\$ 4.653,94	-R\$ 26.632,54
20	86,00%	4.645	100.073	12%	R\$ 6,58	R\$ 30.577,98	R\$ 4.095,64	R\$ 26.482,33	R\$ 133.983,11	R\$ 4.725,27	-R\$ 21.907,27
21	85,30%	4.607	104.680	12%	R\$ 7,35	R\$ 33.859,39	R\$ 4.555,45	R\$ 29.303,94	R\$ 163.287,05	R\$ 4.797,00	-R\$ 17.110,27
22	84,60%	4.569	109.249	12%	R\$ 8,21	R\$ 37.490,42	R\$ 5.068,77	R\$ 32.421,65	R\$ 195.708,70	R\$ 4.869,14	-R\$ 12.241,14
23	83,90%	4.531	113.780	12%	R\$ 9,16	R\$ 41.507,99	R\$ 5.641,85	R\$ 35.866,14	R\$ 231.574,84	R\$ 4.941,69	-R\$ 7.299,45
24	83,20%	4.493	118.273	12%	R\$ 10,23	R\$ 45.952,90	R\$ 6.281,63	R\$ 39.671,27	R\$ 271.246,11	R\$ 5.014,64	-R\$ 2.284,80
25	82,50%	4.455	122.729	12%	R\$ 11,42	R\$ 50.870,19	R\$ 6.995,88	R\$ 43.874,31	R\$ 315.120,42	R\$ 5.088,01	R\$ 2.803,20

Fonte: Autores (2020).

Assim: VPL = R\$2.803,20; TIR = 9,21%; *Payback* simples = 13,38 (13 anos e 5 meses); *Payback* descontado = 24, 45 (24 anos e 6 meses).

4.2.2 Simulação módulo Solar + Inversor *String*

O sistema fotovoltaico é composto de 1 gerador fotovoltaico compostos de 10 módulos fotovoltaicos e 1 inversor. A potência de pico é de 4 kWp para uma produção de 5.644,9 kWh por ano, distribuídos em uma área de 20,3 m². Modalidade de conexão à rede de alimentação Baixa Tensão em Bifásico (2F + N) com tensão fornecimento 220 V.

A Tabela 5 apresenta a produção energia em 1 ano utilizando módulo solar – inversor *string*.

Tabela 5 - Produção de energia em 1 ano utilizando módulo solar + inversor *string*

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	15,313	474,692
Fevereiro	16,951	491,581
Março	15,38	476,775
Abril	15,302	459,055
Mai	13,828	428,657
Junho	13,458	403,736
Julho	14,094	436,926
Agosto	16,771	519,897
Setembro	15,795	473,836
Outubro	16,176	501,469
Novembro	15,575	467,235
Dezembro	16,485	511,039

Fonte: Autores (2020).

GERADOR

O gerador é composto de 10 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.

Quadro 9 - Características gerador / técnicas dos módulos / elétricas / dimensões

Características do gerador fotovoltaico	
Número de módulos:	10
Número de inversores:	1
Potência nominal:	4 kW
Potência de pico:	4 kWp
Performance ratio:	82,5 %
Características técnicas dos módulos	
Fabricante:	TRINASOLAR
Modelo:	TALLMAX TSM-DE15H(II)-400
Tecnologia de const.:	Silício monocristalino
Características elétricas	
Potência máxima:	400 Wp
Rendimento:	19,7 %
Tensão nominal:	41,1 V
Tensão em aberto:	50,4 V
Corrente nominal:	9,7 A
Corr. de curto-circuito:	10,2 A
Taxa de eficiência bifacial:	0 %
Dimensões	
Dimensões:	1004 mm x 2024 mm
Peso:	26,4 kg

Fonte: Autores (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.

A linha elétrica proveniente dos módulos fotovoltaicos é posta a terra mediante descarregadores de sobre tensão com indicação ótica de fora de serviço.

INVERSOR SOLAR

A unidade de conversão consiste no uso de 1 inversores.

Quadro 10 - Dados técnicos do inversor

Dados técnicos do inversor	
Fabricante:	WEG
Modelo:	SIW300H SIW300H-M040 (60Hz) (2020)
Número de rastreadores:	2
Entrada para rastreador:	1
Características elétricas	
Potência nominal:	4 kW
Potência máxima:	4,1 kW
Potência máxima por rastreador:	2 kW
Tensão nominal:	380 V
Tensão máxima:	600 V
Tensão mínima por rastreador:	90 V
Tensão máxima por rastreador:	600 V
Tensão máxima de saída:	220 Vac
Corrente nominal:	30 A
Corrente máxima:	30 A
Corrente máxima por rastreador:	15 A
Rendimento:	0,99

Fonte: Autores (2020).

Quadro 11 - Inversor 1

Inversor 1	MPPT 1	MPPT 2
Módulos em série:	5	5
Conjunto de módulos em paralelos:	1	1
Exposições:	Noroeste	Noroeste
Tensão MPPT (STC):	205,5 V	205,5 V
Número de módulos:	5	5

Fonte: Autores (2020).

DIMENSIONAMENTO

Potência de pico do gerador: O cálculo da energia total produzida pelo sistema nas condições normais de STC (radiação de 1000 W/m², temperatura de 25°C), é calculado como demonstra o quadro:

$$E = E_n * (1-Perd) = 5644,9 \text{ kWh.} \quad (3)$$

Onde Perd = Perda de potência obtida.



Quadro 12 - Gerador

Exposição	Nº módulos	Radiação solar [kWh/m ²]	Energia [kWh]
Noroeste	10	1.710,15	6.840,61

Fonte: Autores (2020).

Quadro 13 - Perda de potência

Perda por sombreamento totais:	0,0 %
Perda por aumento de temperatura:	5,9 %
Perdas por descasamento:	5,0 %
Perdas de corrente continua:	1,5 %
Outras perdas:	5,0 %
Perdas na conversão:	1,4 %
Perdas totais:	17,5 %

Fonte: Autores (2020).

Tabela 6 - Perdas por sombreamento de obstáculos

Mês	Sem obstáculos [kWh]	Produção efetiva [kWh]	Perdas [kWh]
Janeiro	474,7	474,7	0,0 %
Fevereiro	491,6	491,6	0,0 %
Março	476,8	476,8	0,0 %
Abril	459,1	459,1	0,0 %
Mai	428,7	428,7	0,0 %
Junho	403,7	403,7	0,0 %
Julho	436,9	436,9	0,0 %
Agosto	519,9	519,9	0,0 %
Setembro	473,8	473,8	0,0 %
Outubro	501,5	501,5	0,0 %
Novembro	467,2	467,2	0,0 %
Dezembro	511,0	511,0	0,0 %
Ano	5644,9	5644,9	0,0 %

Fonte: Autores (2020).

Os diagramas unifilar e multifilar desta simulação se encontram nos Apêndices G e H.



ANÁLISE FINANCEIRA

Para analisarmos financeiramente os projetos foi realizado os principais cálculos matemáticos utilizados para validação de orçamentos como *Payback* Simples, *Payback* Descontado, VPL, TMA e TIR. Conforme já descrito no item Análise financeira da seção 4.2.1 SIMULAÇÃO TELHA SOLAR – *GREEN TILE* + INVERSOR *STRING*, os mesmo procedimentos foram aplicados para análise do MÓDULO SOLAR + INVERSOR *STRING*.

Após efetuar a análise da simulação com Simulação módulo Solar + Inversor *String*, temos:

Valor da energia – R\$0,73

Geração prospectada anual = 5644,9 kWh

Valor do Investimento = R\$21.977,21

CIP = 12,12

TMA = 9%

No quadro 14, é possível verificar o retorno financeiro na projeção dos 25 Anos.



Quadro 14 - Análise Financeiro – *Payback* Simples e Descontado

Ano	Rendimento anual dos módulos FV	Geração anual de energia do sistema	Geração acumulada de energia	Reajuste mínimo anual da energia	Valor de energia com o reajuste anual	Geração Anual em R\$ do sistema	Valor da Tarifa mínima bifásica anual + CIP	Fluxo de Caixa	Payback Simples	Fluxo de Caixa (VP)	Payback Descontado
1	99,30%	5.605	5.605	12%	R\$ 0,81	R\$ 4.555,09	R\$ 633,02	R\$ 3.922,07	-R\$ 18.055,14	R\$ 3.598,23	-R\$ 18.378,98
2	98,60%	5.566	11.171	12%	R\$ 0,91	R\$ 5.049,46	R\$ 689,77	R\$ 4.359,68	-R\$ 13.695,45	R\$ 3.669,46	-R\$ 14.709,52
3	97,90%	5.526	16.698	12%	R\$ 1,01	R\$ 5.597,19	R\$ 753,13	R\$ 4.844,06	-R\$ 8.851,39	R\$ 3.740,50	-R\$ 10.969,01
4	97,20%	5.487	22.184	12%	R\$ 1,13	R\$ 6.204,03	R\$ 823,87	R\$ 5.380,16	-R\$ 3.471,23	R\$ 3.811,44	-R\$ 7.157,57
5	96,50%	5.447	27.632	12%	R\$ 1,26	R\$ 6.876,29	R\$ 902,83	R\$ 5.973,46	R\$ 2.502,23	R\$ 3.882,34	-R\$ 3.275,23
6	95,80%	5.408	33.040	12%	R\$ 1,41	R\$ 7.621,01	R\$ 991,00	R\$ 6.630,01	R\$ 9.132,24	R\$ 3.953,26	R\$ 678,03
7	95,10%	5.368	38.408	12%	R\$ 1,57	R\$ 8.445,93	R\$ 1.089,42	R\$ 7.356,51	R\$ 16.488,75	R\$ 4.024,26	R\$ 4.702,29
8	94,40%	5.329	43.737	12%	R\$ 1,76	R\$ 9.359,63	R\$ 1.199,30	R\$ 8.160,33	R\$ 24.649,08	R\$ 4.095,40	R\$ 8.797,68
9	93,70%	5.289	49.026	12%	R\$ 1,96	R\$ 10.371,61	R\$ 1.321,97	R\$ 9.049,64	R\$ 33.698,72	R\$ 4.166,71	R\$ 12.964,39
10	93,00%	5.250	54.276	12%	R\$ 2,19	R\$ 11.492,36	R\$ 1.458,91	R\$ 10.033,45	R\$ 43.732,17	R\$ 4.238,24	R\$ 17.202,63
11	92,30%	5.210	59.486	12%	R\$ 2,44	R\$ 12.733,50	R\$ 1.611,80	R\$ 11.121,70	R\$ 54.853,87	R\$ 4.310,02	R\$ 21.512,65
12	91,60%	5.171	64.657	12%	R\$ 2,73	R\$ 14.107,87	R\$ 1.782,49	R\$ 12.325,38	R\$ 67.179,25	R\$ 4.382,10	R\$ 25.894,75
13	90,90%	5.131	69.788	12%	R\$ 3,05	R\$ 15.629,66	R\$ 1.973,04	R\$ 13.656,62	R\$ 80.835,87	R\$ 4.454,50	R\$ 30.349,25
14	90,20%	5.092	74.880	12%	R\$ 3,40	R\$ 17.314,59	R\$ 2.185,77	R\$ 15.128,81	R\$ 95.964,69	R\$ 4.527,24	R\$ 34.876,49
15	89,50%	5.052	79.932	12%	R\$ 3,80	R\$ 19.179,99	R\$ 2.423,27	R\$ 16.756,73	R\$ 112.721,41	R\$ 4.600,36	R\$ 39.476,85
16	88,80%	5.013	84.944	12%	R\$ 4,24	R\$ 21.245,07	R\$ 2.688,40	R\$ 18.556,67	R\$ 131.278,08	R\$ 4.673,86	R\$ 44.150,72
17	88,10%	4.973	89.918	12%	R\$ 4,73	R\$ 23.531,03	R\$ 2.984,41	R\$ 20.546,63	R\$ 151.824,71	R\$ 4.747,77	R\$ 48.898,49
18	87,40%	4.934	94.851	12%	R\$ 5,28	R\$ 26.061,31	R\$ 3.314,86	R\$ 22.746,45	R\$ 174.571,16	R\$ 4.822,11	R\$ 53.720,60
19	86,70%	4.894	99.745	12%	R\$ 5,90	R\$ 28.861,83	R\$ 3.683,78	R\$ 25.178,04	R\$ 199.749,21	R\$ 4.896,87	R\$ 58.617,47
20	86,00%	4.855	104.600	12%	R\$ 6,58	R\$ 31.961,19	R\$ 4.095,64	R\$ 27.865,55	R\$ 227.614,75	R\$ 4.972,07	R\$ 63.589,54
21	85,30%	4.815	109.415	12%	R\$ 7,35	R\$ 35.391,05	R\$ 4.555,45	R\$ 30.835,60	R\$ 258.450,35	R\$ 5.047,73	R\$ 68.637,27
22	84,60%	4.776	114.191	12%	R\$ 8,21	R\$ 39.186,33	R\$ 5.068,77	R\$ 34.117,55	R\$ 292.567,90	R\$ 5.123,83	R\$ 73.761,10
23	83,90%	4.736	118.927	12%	R\$ 9,16	R\$ 43.385,64	R\$ 5.641,85	R\$ 37.743,79	R\$ 330.311,69	R\$ 5.200,39	R\$ 78.961,49
24	83,20%	4.697	123.623	12%	R\$ 10,23	R\$ 48.031,61	R\$ 6.281,63	R\$ 41.749,98	R\$ 372.061,67	R\$ 5.277,40	R\$ 84.238,90
25	82,50%	4.657	128.280	12%	R\$ 11,42	R\$ 53.171,34	R\$ 6.995,88	R\$ 46.175,46	R\$ 418.237,13	R\$ 5.354,87	R\$ 89.593,76

Fonte: Autores (2020).

Assim: VPL = R\$89.593,76; TIR = 28,36%; *Payback* simples = 4,58 (4 anos e 7 meses); *Payback* descontado = 5,83 (5 anos e 10 meses).

4.2.3 Simulação telha solar – *green tile* + microinversor

O sistema fotovoltaico é composto de 1 gerador fotovoltaico compostos de nº 256 telhas fotovoltaicos e nº 3 Micro-inversores. A potência de pico é de 3,85 kWp para uma produção de 5.648,5 kWh por ano, distribuídos em uma área de 35,84 m². Modalidade de conexão à rede de alimentação Baixa Tensão em Bifásico (2F + N) com tensão fornecimento 220 V.

A tabela 7 representa a produção de energia em 1 ano utilizando Telha Solar – *Green Tile* + Microinversor.

Tabela 7 - Produção de energia em 1 ano utilizando Telha Solar – *Green Tile* + Microinversor

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	15,322	474,995
Fevereiro	16,962	491,894
Março	15,39	477,079
Abril	15,312	459,347
Maiο	13,836	428,93
Junho	13,466	403,993
Julho	14,103	437,204
Agosto	16,782	520,228
Setembro	15,805	474,138
Outubro	16,187	501,788
Novembro	15,584	467,533
Dezembro	16,496	511,365

Fonte: Autores (2020).

GERADOR (TELHA)

O gerador é composto de 256 telhas 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.

Quadro 15 - Características gerador / técnicas dos módulos / elétricas / dimensões

Características do gerador fotovoltaico	
Número de módulos:	256
Número de inversores:	3
Potência nominal:	3,3 kW
Potência de pico:	3,853 kWp
Performance ratio:	85,7 %
Características técnicas dos telhas	
Fabricante:	GREEN TILE
Modelo:	GT GT-15
Tecnologia de const.:	Silício monocristalino
Características elétricas	
Potência máxima:	15,1 Wp
Rendimento:	10,8 %
Tensão nominal:	2 V
Tensão em aberto:	2,5 V
Corrente nominal:	7,5 A
Corr. de curto-circuito:	8 A
Taxa de eficiência bifacial:	0 %
Dimensões	
Dimensões:	330 mm x 420 mm
Peso:	1,7 kg

Fonte: Autores (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.

A linha elétrica proveniente dos módulos fotovoltaicos é posta a terra mediante descarregadores de sobretensão com indicação ótica de fora de serviço.

MICRO-INVERSOR SOLAR

A unidade de conversão consiste no uso de 3 micro-inversores.

Quadro 16 - Dados técnicas do micro-inversor

Dados técnicos do micro-inversor	
Fabricante:	APSYSTEMS
Modelo:	QS1 QS1 - 208V (60Hz)
Número de rastreadores:	4
Entrada para rastreador:	1
Características elétricas	
Potência nominal:	1,1 kW
Potência máxima:	1,1 kW
Potência máxima por rastreador:	0,4 kW
Tensão nominal:	55 V
Tensão máxima:	60 V
Tensão mínima por rastreador:	16 V
Tensão máxima por rastreador:	55 V
Tensão máxima de saída:	208 Vac
Corrente nominal:	48 A
Corrente máxima:	48 A
Corrente máxima por rastreador:	12 A
Rendimento:	0,97

Fonte: Autores (2020).

Quadro 17 - Microinversor 1

Inversor 1	MPPT 1	MPPT 2	MPPT 3	MPPT 4
Telhas em série:	22	22	22	22
Conjunto de Telhas em paralelos:	1	1	1	1
Exposições:	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
Tensão MPPT (STC):	44 V	44 V	44 V	44 V
Número de módulos:	22	22	22	22

Fonte: Autores (2020).

Quadro 18 - Microinversor 2

Inversor 2	MPPT 1	MPPT 2	MPPT 3	MPPT 4
Telhas em série:	21	21	21	21
Conjunto de Telhas em paralelos:	1	1	1	1

Exposições:	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
Tensão MPPT (STC):	42 V	42 V	42 V	42 V
Número de Telhas:	21	21	21	21

Fonte: Autores (2020).

Quadro 19 - Microinversor 3

Inversor 3	MPPT 1	MPPT 2	MPPT 3	MPPT 4
Módulos em série:	21	21	21	21
Conjunto de módulos em paralelos:	1	1	1	1
Exposições:	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
Tensão MPPT (STC):	42 V	42 V	42 V	42 V
Número de módulos:	21	21	21	21

Fonte: Autores (2020).

DIMENSIONAMENTO

Potência de pico do gerador:

$$N^{\circ} \text{módulos} = 15,1 \text{ Wp} * 256 = 3,853 \text{ kWp.} \quad (4)$$

Onde P = P telhas *

O cálculo da energia total produzida pelo sistema nas condições normais de STC (radiação de 1000 W/m², temperatura de 25°C), é calculado como:

$$E = E_n * (1 - \text{Perd}) = 5648,5 \text{ kWh.} \quad (5)$$

Onde: Perd = Perda de potência obtida.

Quadro 20 - Gerador

Exposição	Nº módulos	Radiação solar [kWh/m ²]	Energia [kWh]
Noroeste	256	1.710,15	6.588,87

Fonte: Autores (2020).

Quadro 21 - Perdas

Perda por sombreamento totais:	0,0 %
Perda por aumento de temperatura:	6,5 %
Perdas por descasamento:	0,0 %
Perdas de corrente continua:	0,0 %
Outras perdas:	5,0 %
Perdas na conversão:	3,5 %
Perdas totais:	14,3 %

Fonte: Autores (2020).

Tabela 8 - Perdas por sombreamento de obstáculos

Mês	Sem obstáculos [kWh]	Produção efetiva [kWh]	Perdas [kWh]
Janeiro	475,0	475,0	0,0 %
Fevereiro	491,9	491,9	0,0 %
Março	477,1	477,1	0,0 %
Abril	459,3	459,3	0,0 %
Maio	428,9	428,9	0,0 %
Junho	404,0	404,0	0,0 %
Julho	437,2	437,2	0,0 %
Agosto	520,2	520,2	0,0 %
Setembro	474,1	474,1	0,0 %
Outubro	501,8	501,8	0,0 %
Novembro	467,5	467,5	0,0 %
Dezembro	511,4	511,4	0,0 %
Ano	5648,5	5648,5	0,0 %

Fonte: Autores (2020).

Os diagramas unifilar e multifilar desta simulação se encontram nos Apêndices I e J.



ANÁLISE FINANCEIRA

Para analisarmos financeiramente os projetos foi realizado os principais cálculos matemáticos utilizados para validação de orçamentos como Payback Simples, Payback Descontado, VPL, TMA e TIR. Conforme já descrito no item Análise financeira da seção 4.2.1 SIMULAÇÃO TELHA SOLAR – *GREEN TILE* + *INVERSOR STRING*, e 4.2.2 SIMULAÇÃO MÓDULO SOLAR + *INVERSOR STRING*, os mesmo procedimentos foram aplicados para análise do SIMULAÇÃO TELHA SOLAR – *GREEN TILE* + *MICROINVERSOR*.

Após efetuar a análise da simulação com Simulação módulo Solar + Inversor *String*, temos:

Valor da energia – R\$0,73

Geração prospectada anual = 5648,5 kWh

Valor do Investimento = R\$98,869,19

CIP = 12,12

TMA = 9%

No quadro 22, é possível verificar o retorno financeiro na projeção dos 25 Anos.



Quadro 22 - Análise Financeiro – *Payback* Simples e Descontado

Ano	Rendimento anual dos módulos FV	Geração anual de energia do sistema	Geração acumulada de energia	Reajuste mínimo anual da energia	Valor de energia com o reajuste anual	Geração Anual em R\$ do sistema	Valor da Tarifa mínima bifásica anual + CIP	Fluxo de Caixa	Payback Simples	Fluxo de Caixa (VP)	Payback Descontado
1	99,30%	5.609	5.609	12%	R\$ 0,81	R\$ 4.558,00	R\$ 633,02	R\$ 3.924,98	-R\$ 94.944,21	R\$ 3.600,90	-R\$ 95.268,29
2	98,60%	5.569	11.178	12%	R\$ 0,91	R\$ 5.052,68	R\$ 689,77	R\$ 4.362,91	-R\$ 90.581,31	R\$ 3.672,17	-R\$ 91.596,12
3	97,90%	5.530	16.708	12%	R\$ 1,01	R\$ 5.600,76	R\$ 753,13	R\$ 4.847,63	-R\$ 85.733,68	R\$ 3.743,26	-R\$ 87.852,86
4	97,20%	5.490	22.199	12%	R\$ 1,13	R\$ 6.207,98	R\$ 823,87	R\$ 5.384,12	-R\$ 80.349,56	R\$ 3.814,24	-R\$ 84.038,62
5	96,50%	5.451	27.649	12%	R\$ 1,26	R\$ 6.880,68	R\$ 902,83	R\$ 5.977,84	-R\$ 74.371,71	R\$ 3.885,19	-R\$ 80.153,43
6	95,80%	5.411	33.061	12%	R\$ 1,41	R\$ 7.625,87	R\$ 991,00	R\$ 6.634,87	-R\$ 67.736,84	R\$ 3.956,16	-R\$ 76.197,27
7	95,10%	5.372	38.432	12%	R\$ 1,57	R\$ 8.451,31	R\$ 1.089,42	R\$ 7.361,89	-R\$ 60.374,95	R\$ 4.027,21	-R\$ 72.170,06
8	94,40%	5.332	43.765	12%	R\$ 1,76	R\$ 9.365,60	R\$ 1.199,30	R\$ 8.166,30	-R\$ 52.208,65	R\$ 4.098,39	-R\$ 68.071,67
9	93,70%	5.293	49.057	12%	R\$ 1,96	R\$ 10.378,22	R\$ 1.321,97	R\$ 9.056,25	-R\$ 43.152,39	R\$ 4.169,75	-R\$ 63.901,92
10	93,00%	5.253	54.310	12%	R\$ 2,19	R\$ 11.499,69	R\$ 1.458,91	R\$ 10.040,78	-R\$ 33.111,62	R\$ 4.241,33	-R\$ 59.660,59
11	92,30%	5.214	59.524	12%	R\$ 2,44	R\$ 12.741,62	R\$ 1.611,80	R\$ 11.129,82	-R\$ 21.981,80	R\$ 4.313,17	-R\$ 55.347,42
12	91,60%	5.174	64.698	12%	R\$ 2,73	R\$ 14.116,86	R\$ 1.782,49	R\$ 12.334,38	-R\$ 9.647,42	R\$ 4.385,30	-R\$ 50.962,12
13	90,90%	5.134	69.832	12%	R\$ 3,05	R\$ 15.639,63	R\$ 1.973,04	R\$ 13.666,59	R\$ 4.019,17	R\$ 4.457,75	-R\$ 46.504,37
14	90,20%	5.095	74.927	12%	R\$ 3,40	R\$ 17.325,63	R\$ 2.185,77	R\$ 15.139,86	R\$ 19.159,03	R\$ 4.530,55	-R\$ 41.973,82
15	89,50%	5.055	79.983	12%	R\$ 3,80	R\$ 19.192,22	R\$ 2.423,27	R\$ 16.768,96	R\$ 35.927,99	R\$ 4.603,72	-R\$ 37.370,10
16	88,80%	5.016	84.999	12%	R\$ 4,24	R\$ 21.258,62	R\$ 2.688,40	R\$ 18.570,22	R\$ 54.498,21	R\$ 4.677,28	-R\$ 32.692,83
17	88,10%	4.976	89.975	12%	R\$ 4,73	R\$ 23.546,04	R\$ 2.984,41	R\$ 20.561,63	R\$ 75.059,84	R\$ 4.751,24	-R\$ 27.941,58
18	87,40%	4.937	94.912	12%	R\$ 5,28	R\$ 26.077,93	R\$ 3.314,86	R\$ 22.763,07	R\$ 97.822,91	R\$ 4.825,63	-R\$ 23.115,95
19	86,70%	4.897	99.809	12%	R\$ 5,90	R\$ 28.880,23	R\$ 3.683,78	R\$ 25.196,45	R\$ 123.019,36	R\$ 4.900,45	-R\$ 18.215,51
20	86,00%	4.858	104.667	12%	R\$ 6,58	R\$ 31.981,58	R\$ 4.095,64	R\$ 27.885,93	R\$ 150.905,30	R\$ 4.975,71	-R\$ 13.239,79
21	85,30%	4.818	109.485	12%	R\$ 7,35	R\$ 35.413,62	R\$ 4.555,45	R\$ 30.858,17	R\$ 181.763,46	R\$ 5.051,42	-R\$ 8.188,37
22	84,60%	4.779	114.264	12%	R\$ 8,21	R\$ 39.211,32	R\$ 5.068,77	R\$ 34.142,54	R\$ 215.906,01	R\$ 5.127,59	-R\$ 3.060,79
23	83,90%	4.739	119.003	12%	R\$ 9,16	R\$ 43.413,31	R\$ 5.641,85	R\$ 37.771,46	R\$ 253.677,46	R\$ 5.204,20	R\$ 2.143,42
24	83,20%	4.700	123.702	12%	R\$ 10,23	R\$ 48.062,24	R\$ 6.281,63	R\$ 41.780,61	R\$ 295.458,08	R\$ 5.281,28	R\$ 7.424,69
25	82,50%	4.660	128.362	12%	R\$ 11,42	R\$ 53.205,25	R\$ 6.995,88	R\$ 46.209,37	R\$ 341.667,45	R\$ 5.358,80	R\$ 12.783,49

Fonte: Autores (2020).

Assim: VPL – R\$12.783,49; TIR = 9,98%; *Payback* Simples = 12,71(12 anos e 9 meses); *Payback* descontado = 22,59 (22 anos e 8 meses).



4.2.4 Simulação módulo solar + microinversor

O sistema fotovoltaico é composto de 1 gerador fotovoltaico composto de nº 10 módulos fotovoltaicos e nº 3 inversores. A potência de pico é de 4 kWp para uma produção de 5.904 kWh por ano, distribuídos em uma área de 20,3 m². Modalidade de conexão à rede de alimentação Baixa Tensão em Bifásico (2F + N) com tensão fornecimento 220 V. A tabela 9 representa a produção de energia em um ano utilizando Telha Solar + Microinversor

Tabela 9 - Produção de energia em 1 ano utilizando Telha Solar + Microinversor

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	16,016	496,481
Fevereiro	17,729	514,145
Março	16,086	498,66
Abril	16,004	480,126
Mai	14,462	448,333
Junho	14,076	422,268
Julho	14,741	456,981
Agosto	17,541	543,761
Setembro	16,52	495,585
Outubro	16,919	524,487
Novembro	16,289	488,682
Dezembro	17,242	534,496

Fonte: Autores (2020).

GERADOR (MÓDULO)

O gerador é composto de 10 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.

Quadro 23 - Características gerador / técnicas dos módulos / elétricas / dimensões

Características do gerador fotovoltaico	
Número de módulos:	10
Número de inversores:	3
Potência nominal:	3 kW
Potência de pico:	4 kWp
Performance ratio:	86,3 %
Características técnicas dos módulos	
Fabricante:	TRINASOLAR
Modelo:	TALLMAX TSM-DE15H(II)-400
Tecnologia de const.:	Silício monocristalino
Características elétricas	
Potência máxima:	400 Wp
Rendimento:	19,7 %
Tensão nominal:	41,1 V
Tensão em aberto:	50,4 V
Corrente nominal:	9,7 A
Corr. de curto-circuito:	10,2 A
Taxa de eficiência bifacial:	0 %
Dimensões	
Dimensões:	1004 mm x 2024 mm
Peso:	26,4 kg

Fonte: Autores (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.

A linha elétrica proveniente dos módulos fotovoltaicos é posta a terra mediante descarregadores de sobre tensão com indicação ótica de fora de serviço.

MICRO-INVERSORES

A unidade de conversão consiste no uso de 3 micro-inversores.

Quadro 24 - Dados técnicos do micro conversor

Dados técnicos do micro-inversor	
Fabricante:	APSYSTEMS
Modelo:	QS1 QS1 - 208V (60Hz)
Número de rastreadores:	4
Entrada para rastreador:	1
Características elétricas	
Potência nominal:	1,1 kW
Potência máxima:	1,1 kW
Potência máxima por rastreador:	0,4 kW
Tensão nominal:	55 V
Tensão máxima:	60 V
Tensão mínima por rastreador:	16 V
Tensão máxima por rastreador:	55 V
Tensão máxima de saída:	208 Vac
Corrente nominal:	48 A
Corrente máxima:	48 A
Corrente máxima por rastreador:	12 A
Rendimento:	0,97

Fonte: Autores (2020).

Quadro 25 - Inversor 1

Inversor 1	MPPT 1	MPPT 2	MPPT 3	MPPT 4
Módulos em série:	1	1	1	1
Conjunto de módulos em paralelos:	1	1	1	1
Exposições:	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
Tensão MPPT (STC):	41,1 V	41,1 V	41,1 V	41,1 V
Número de módulos:	1	1	1	1

Fonte: Autores (2020).

Quadro 26 - Inversor 2

Inversor 2	MPPT 1	MPPT 2	MPPT 3	MPPT 4
Módulos em série:	1	1	1	1
Conjunto de módulos em paralelos:	1	1	1	1

Exposições:	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
Tensão MPPT (STC):	41,1 V	41,1 V	41,1 V	41,1 V
Número de módulos:	1	1	1	1

Fonte: Autores (2020).

Quadro 27 - Inversor 3

Inversor 3	MPPT 1	MPPT 2	MPPT 3	MPPT 4
Módulos em série:	1	1	1	1
Conjunto de módulos em paralelos:	1	1	0	0
Exposições:	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
Tensão MPPT (STC):	41,1 V	41,1 V	41,1 V	41,1 V
Número de módulos:	1	1	0	0

Fonte: Autores (2020).

DIMENSIONAMENTO

Potência de pico do gerador:

$$P = P \text{ módulos} * N^{\circ} \text{ módulos} = 400 \text{ Wp} * 10 = 4 \text{ kWp} \quad (6)$$

O cálculo da energia total produzida pelo sistema nas condições normais de STC (radiação de 1000 W/m², temperatura de 25°C), é calculado como:

$$E = E_n * (1 - \text{Perd}) = 5904 \text{ kWh} \quad (7)$$

Quadro 28 - Gerador

Exposição	Nº módulos	Radiação solar [kWh/m ²]	Energia [kWh]
Noroeste	10	1.710,15	6.840,61

Fonte: Autores (2020).



Quadro 29 - Perda de potência obtida

Perda por sombreamento totais:	0,0 %
Perda por aumento de temperatura:	5,9 %
Perdas por descasamento:	0,0 %
Perdas de corrente continua:	0,0 %
Outras perdas:	5,0 %
Perdas na conversão:	3,5 %
Perdas totais:	13,7 %

Fonte: Autores (2020).

Tabela 10 - Perdas por sombreamento de obstáculos

Mês	Sem obstáculos [kWh]	Produção efetiva [kWh]	Perdas [kWh]
Janeiro	496,5	496,5	0,0 %
Fevereiro	514,1	514,1	0,0 %
Março	498,7	498,7	0,0 %
Abril	480,1	480,1	0,0 %
Mai	448,3	448,3	0,0 %
Junho	422,3	422,3	0,0 %
Julho	457,0	457,0	0,0 %
Agosto	543,8	543,8	0,0 %
Setembro	495,6	495,6	0,0 %
Outubro	524,5	524,5	0,0 %
Novembro	488,7	488,7	0,0 %
Dezembro	534,5	534,5	0,0 %
Ano	5904,0	5904,0	0,0 %

Fonte: Autores (2020).

Os diagramas unifilar e multifilar desta simulação se encontram nos Apêndices K e L.

ANÁLISE FINANCEIRA

Para analisarmos financeiramente os projetos foi realizado os principais cálculos matemáticos utilizados para validação de orçamentos como Payback Simples, Payback Descontado, VPL, TMA e TIR.



Conforme já descrito no item Análise financeira da seção 4.2.1 SIMULAÇÃO TELHA SOLAR – *GREEN TILE* + INVERSOR *STRING*, e aplicado no 4.2.2 SIMULAÇÃO MÓDULO SOLAR + INVERSOR *STRING*, 4.2.3 SIMULAÇÃO TELHA SOLAR – *GREEN TILE* + MICROINVERSOR os mesmos procedimentos foram aplicados para análise do na seção SIMULAÇÃO MÓDULO SOLAR + MICROINVERSOR.

Após efetuar a análise da simulação com Simulação módulo Solar + Inversor *String*, temos:

Valor da energia – R\$0,73

Geração prospectada anual = 5.904 kWh

Valor do Investimento = R\$17.736,15

CIP = 12,12

TMA = 9%

No quadro 31, é possível verificar o retorno financeiro na projeção dos 25 Anos.

Quadro 30 - Análise Financeiro – Payback Simples e Desconto

Ano	Rendimento anual dos módulos FV	Geração anual de energia do sistema	Geração acumulada de energia	Reajuste mínimo anual da energia	Valor de energia com o reajuste anual	Geração Anual em R\$ do sistema	Valor da Tarifa mínima bifásica anual + CIP	Fluxo de Caixa	Payback Simples	Fluxo de Caixa (VP)	Payback Descontado
1	99,30%	5.863	5.863	12%	R\$ 0,81	R\$ 4.764,17	R\$ 633,02	R\$ 4.131,15	-R\$ 13.605,00	R\$ 3.790,05	-R\$ 13.946,10
2	98,60%	5.821	11.684	12%	R\$ 0,91	R\$ 5.281,22	R\$ 689,77	R\$ 4.591,45	-R\$ 9.013,54	R\$ 3.864,54	-R\$ 10.081,57
3	97,90%	5.780	17.464	12%	R\$ 1,01	R\$ 5.854,10	R\$ 753,13	R\$ 5.100,97	-R\$ 3.912,57	R\$ 3.938,89	-R\$ 6.142,68
4	97,20%	5.739	23.203	12%	R\$ 1,13	R\$ 6.488,79	R\$ 823,87	R\$ 5.664,92	R\$ 1.752,35	R\$ 4.013,17	-R\$ 2.129,51
5	96,50%	5.697	28.900	12%	R\$ 1,26	R\$ 7.191,91	R\$ 902,83	R\$ 6.289,08	R\$ 8.041,43	R\$ 4.087,47	R\$ 1.957,96
6	95,80%	5.656	34.556	12%	R\$ 1,41	R\$ 7.970,81	R\$ 991,00	R\$ 6.979,82	R\$ 15.021,25	R\$ 4.161,84	R\$ 6.119,80
7	95,10%	5.615	40.171	12%	R\$ 1,57	R\$ 8.833,59	R\$ 1.089,42	R\$ 7.744,18	R\$ 22.765,42	R\$ 4.236,33	R\$ 10.356,13
8	94,40%	5.573	45.744	12%	R\$ 1,76	R\$ 9.789,23	R\$ 1.199,30	R\$ 8.589,94	R\$ 31.355,36	R\$ 4.311,00	R\$ 14.667,13
9	93,70%	5.532	51.276	12%	R\$ 1,96	R\$ 10.847,66	R\$ 1.321,97	R\$ 9.525,70	R\$ 40.881,05	R\$ 4.385,89	R\$ 19.053,02
10	93,00%	5.491	56.767	12%	R\$ 2,19	R\$ 12.019,86	R\$ 1.458,91	R\$ 10.560,94	R\$ 51.442,00	R\$ 4.461,06	R\$ 23.514,08
11	92,30%	5.449	62.216	12%	R\$ 2,44	R\$ 13.317,97	R\$ 1.611,80	R\$ 11.706,16	R\$ 63.148,16	R\$ 4.536,52	R\$ 28.050,60
12	91,60%	5.408	67.624	12%	R\$ 2,73	R\$ 14.755,42	R\$ 1.782,49	R\$ 12.972,93	R\$ 76.121,09	R\$ 4.612,33	R\$ 32.662,93
13	90,90%	5.367	72.991	12%	R\$ 3,05	R\$ 16.347,06	R\$ 1.973,04	R\$ 14.374,02	R\$ 90.495,12	R\$ 4.688,50	R\$ 37.351,43
14	90,20%	5.325	78.317	12%	R\$ 3,40	R\$ 18.109,32	R\$ 2.185,77	R\$ 15.923,55	R\$ 106.418,67	R\$ 4.765,07	R\$ 42.116,50
15	89,50%	5.284	83.601	12%	R\$ 3,80	R\$ 20.060,35	R\$ 2.423,27	R\$ 17.637,09	R\$ 124.055,75	R\$ 4.842,05	R\$ 46.958,55
16	88,80%	5.243	88.843	12%	R\$ 4,24	R\$ 22.220,22	R\$ 2.688,40	R\$ 19.531,81	R\$ 143.587,57	R\$ 4.919,47	R\$ 51.878,02
17	88,10%	5.201	94.045	12%	R\$ 4,73	R\$ 24.611,10	R\$ 2.984,41	R\$ 21.626,70	R\$ 165.214,26	R\$ 4.997,35	R\$ 56.875,37
18	87,40%	5.160	99.205	12%	R\$ 5,28	R\$ 27.257,52	R\$ 3.314,86	R\$ 23.942,66	R\$ 189.156,92	R\$ 5.075,69	R\$ 61.951,06
19	86,70%	5.119	104.324	12%	R\$ 5,90	R\$ 30.186,58	R\$ 3.683,78	R\$ 26.502,80	R\$ 215.659,72	R\$ 5.154,52	R\$ 67.105,58
20	86,00%	5.077	109.401	12%	R\$ 6,58	R\$ 33.428,21	R\$ 4.095,64	R\$ 29.332,56	R\$ 244.992,28	R\$ 5.233,84	R\$ 72.339,42
21	85,30%	5.036	114.437	12%	R\$ 7,35	R\$ 37.015,49	R\$ 4.555,45	R\$ 32.460,04	R\$ 277.452,33	R\$ 5.313,65	R\$ 77.653,07
22	84,60%	4.995	119.432	12%	R\$ 8,21	R\$ 40.984,97	R\$ 5.068,77	R\$ 35.916,20	R\$ 313.368,52	R\$ 5.393,96	R\$ 83.047,02
23	83,90%	4.953	124.385	12%	R\$ 9,16	R\$ 45.377,03	R\$ 5.641,85	R\$ 39.735,18	R\$ 353.103,71	R\$ 5.474,77	R\$ 88.521,79
24	83,20%	4.912	129.298	12%	R\$ 10,23	R\$ 50.236,26	R\$ 6.281,63	R\$ 43.954,63	R\$ 397.058,33	R\$ 5.556,08	R\$ 94.077,87
25	82,50%	4.871	134.168	12%	R\$ 11,42	R\$ 55.611,90	R\$ 6.995,88	R\$ 48.616,01	R\$ 445.674,35	R\$ 5.637,89	R\$ 99.715,77

Fonte: Autores (2020).

Assim: VPL – R\$99.715,77; TIR = 34,08%; Payback Simples = 3,69 (3 anos e 9 meses); Payback descontado = 4,52 (4 anos e 7 meses).

4.3 DISCUSSÃO

Com base nos estudos realizados das simulações de instalação de sistemas fotovoltaicos, por meio da utilização do *software* SOLergo, foi possível projetar estimativas de produção de cada um dos sistemas propostos.

Foi proposto quatro sistemas para que fosse possível analisar 3 aspectos muito importante na geração de energia: o primeiro em relação a captação e conversão da energia solar em energia elétrica, módulos e telhas fotovoltaicas; o segundo aspecto para ser analisado foi em relação a utilização de inversores para ver os rendimentos concretos de microinversores em relação aos inversores *strings*; e o terceiro aspecto sobre a viabilidade financeira de cada simulação.

Ao apresentar os resultados, nota-se que os sistemas que adotaram os microinversores apresentaram um geração levemente mais alta, quando comparada com a geração dos inversores *strings* apresentaram um aumento médio de mais de 4,5%. Essa constatação pode ser observada no quadro 32, que compactua os resultados das simulações.

Quadro 31 - Comparativo de produção de energia entre inversor string x microinversor

Sistema com Telha	Produção Anual (kWh)	Sistema com Módulo	Produção Anual (kWh)
Telha + Inversor Solar	5.400,6	Módulo + Inversor Solar	5.644,9
Telha + Microinversor	5.648,5	Módulo + Microinversor	5.904,0
Aumento de Produção	4,59%	Aumento de Produção	4,58%

Fonte: Autores (2020).

Além de apresentarem uma produção de energia anual superior, os custos de aquisição dos micros inversores foram menores em relação ao inversor *string*. Embora fossem necessários 3 (três) microinversores para os sistemas, cada um possuía um custo de R\$1.980,00, total de R\$5.940,00 reais. Em contrapartida era necessário apenas 1 inversor *string*, porém possuía um valor de R\$10.419,00.

Em relação a utilização de módulos e telhas solares, a potência de pico dos sistemas compostos por telhas solares foram 3,81% menor que a potência de pico dos sistemas

constituídos por módulos, por conta de encontrar o melhor arranjo para que os equipamentos operassem no melhor ciclo.

O valor de potência pico influenciou na geração de energia anual, com os sistemas que empregavam os módulos apresentando uma geração média 4,52% acima da geração das telhas. E, quando comparado os custos dos projetos, embora ambos obtivessem retornos financeiros, os projetos que utilizavam os módulos fotovoltaicos apresentaram desempenhos econômicos muito superiores, tendo em média um tempo de *payback* de 5 anos, contra uma média de 23 anos das telhas. Ademais, a taxa de retorno do investimento apresentado nos sistemas das telhas foi menor que a TMA, em contrapartida dos sistemas com módulos, que apresentaram TRI entre 28% a 34%.

A respeito do *payback*, resultados encontrado por Costa et al. (2019; 2020), Garcia (2015) e Chamma (2017), utilizando módulos, com um *payback* de 7 anos, com tempo de vida útil dos equipamentos de 30 anos, os resultados de Goetze (2017) com um *payback* descontado de 10 anos, e o estudo de Ragnini (2018) nos módulos descontado de 5 anos e 11 meses, tendo para o uso de telhas um resultado é de 14 anos e 2 meses.

Tendo em vista os dados apresentados neste estudo, fica claro que em questão de retorno financeiro os sistemas compostos por módulos apresentam resultados superiores, sobretudo com a utilização de microinversores, por apresentarem uma geração de energia superior e um custo inferior. Compactuando, e analisando a viabilidade financeira, Dantas e Pompermayer (2018) afirmaram que a adoção de sistemas FVs pode trazer benefícios ao usuário investidor, é que a energia produzida pelo sistema FV é mais barata que a oferecida pelas concessionárias, e que um barateamento e o aumento da eficiência dos equipamentos disponíveis no mercado nos últimos anos favorecem o crescimento do uso de energia solar em residências, e que, o aumento da escala e a concorrência do mercado podem também trazer benefícios à indústria nacional.

Esses resultados também foram encontrados nos estudos de Galdino (2012), Espósito e Fuchs, (2013), Rosa (2019a) e Bezerra (2020), afirmando que os custos relacionados ao sistema são dependentes de variáveis como: “custo dos módulos fotovoltaicos, custo do banco de baterias, custo dos equipamentos (inclui custo de módulos fotovoltaicos, baterias, controladores de carga e inversores), custo dos materiais de instalação, e custos dos serviços e da logística de instalação.” (GALDINO, 2012, p. 2). Nos estudos de Costa *et al.* (2019; 2020) em simulação de um projeto real para instalação do sistema analisando variáveis como retorno financeiro; simulação do desempenho econômico do sistema; cálculo do investimento a partir do segundo ano, considerando o coeficiente de degradação do sistema, a taxa de inflação e a

taxa de juros ativo do capital acumulado; consumo de energia da unidade consumidora, de um período determinado; energia produzida, autoconsumida e introduzida na rede e o custo de disponibilidade mensal e anual; consumo ativo em kwh e o valor pago mensalmente de energia elétrica fornecida pela concessionária; consumo mensal previsto com intuito de economia financeira com a implantação do sistema fotovoltaico, constaram que: (1) o sistema requer pouca manutenção e tem custo extremamente baixo, representando menos do que 1% ao ano do custo total do sistema; (2) baixa variação na geração fotovoltaica aproveitada, apesar da variabilidade interanual; (3) apresenta menor dependência do comportamento temporal se comparado às hidrelétricas e eólicas, permitindo a integração desse sistema, já que reduz incertezas quanto à disponibilidade energética da fonte e principalmente quanto ao retorno econômico do investimento; (4) quitação de todos os gastos com instalação e equipamentos em 60 meses (processo de Amortização), levando a conclusão similar a este estudo, de que o sistema solar fotovoltaico é economicamente viável, apesar de o período de retorno se apresentar alto.

Ribeiro Jr. *et al.* (2020) também avaliaram a substituição de fontes de energia convencionais, por meio de cálculos em um simulador de orçamento de energia solar fotovoltaica, constatando que a viabilidade econômica para implantação em edificações residenciais é viável para atender a demanda de energia, no entanto, do ponto de vista econômico, seu alto custo de implantação, quando dependente de algum tipo de financiamento e menos atrativo, requerendo de incentivo e de novas políticas públicas governamentais.

Similar a este estudo, quanto ao uso de módulos e telhas, Ragnini (2018) apresentou análise de viabilidade técnica e econômica da energia fotovoltaica proveniente de telhas fotovoltaicas, que possui benefícios semelhantes ao de módulos fotovoltaicos. Ao fazer comparativo entre módulos do modelo CS6U-325P da marca Canadian, com geração unitária de 325 Wp (Watt-pico) e valor de R\$ 899,00, e considerando o estudo de caso como 5,55 kWp, para um sistema equivalente com 17 módulos, resultando em um sistema de 5,52 kWp, pontua sobre a redução da área necessária para o projeto se utilizado módulos fotovoltaicos (58 telhas x 36,83 módulos para cobertura de uma mesma área para captação de 5,55 kWp; fazendo comparação entre eficiências telhas x módulos (9,57% x 16,72%); custo para cobrir 58m² com telhas (R\$58.342,46 mil) x módulos (R\$25.140,00 mil), levando-se em conta que no caso das telhas, essas já fazem a cobertura do telhado. Portanto, “mesmo em uma nova residência em que haveria a economia do investimento do telhado não fotovoltaico, o uso de módulos demonstrou, através do comparativo feito, um potencial econômico muito superior

ao projeto com uso de telhas.” (RAGNINI, 2018, p. 72), tornando o uso das telhas, no período em que houve o estudo, ser pouco atrativo e apenas direcionado a um público alvo restrito, apesar de o projeto arquitetônico da residência, utilizando telhas FV diminui a poluição visual. Vale ressaltar que quando do estudo realizado por Ragnini ainda não havia comercialização em território nacional das telhas, o que gerou um evidente aumento nos custos.

Apesar de não ter sido o foco deste estudo, mas com uma outra opção de captação de energia, foi relacionado na revisão o sistema OPV, e sobre ele, segundo cálculos levantados por Souza *et al.* (2020), por ser um material inovador e em fase de ampliação de cases, o custo de implantação, o custo do material e o tempo de retorno são muito maiores do que outros tipos de placas solares, assim, os mesmos autores lembram sobre marcas e modelos de placas solares, no qual o tempo de retorno de investimento varia de 3 à 5 anos sem analisar questões de mercado e flexibilização de produção com incentivos fiscais por exemplo. E, para a viabilidade econômica, seria necessário reduzir o custo do OPV Flex e/ou aumentar a área de aplicação deste filme, e que essa tecnologia pode ser vista como complementar, já que tem aplicabilidade em locais diferentes.

Portanto, mesmo em outros estudos, é possível constatar que o uso de módulos para geração e conversão de energia solar em energia elétrica, é viavelmente mais econômica que o uso de telhas fotovoltaicas ou da tecnologia OPV.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram apresentadas algumas contribuições referentes à análise econômica de micro geradores fotovoltaicos, com base no consumo de um cliente residencial, e projeções de geração de energia estimadas de acordo com o *software* SOLergo, que utiliza bancos de dados solarimétricos nacionais.

O estudo iria se limitar a estudar os sistemas apenas com o Inversor *String* por se tratar de um equipamento consolidado no mercado, entretanto, analisando o panorama do mercado nacional foi constatado que o Microinversor vem recebendo uma grande aceitação, principalmente em sistemas de pequeno porte devido aos seus benefícios, como baixo custo, quando comparado com o outro modelo, outrossim possuir uma eficiência de geração superior.

Apesar do trabalho analisar a instalação do sistema em um telhado com apenas uma orientação e sem obstáculos que interfiram e gerem sombreamento no sistema, pode-se notar um aumento de 5% na geração dos sistemas que utilizaram o microinversor, nos casos em que o local de instalação dos módulos ou telhas tenham diversas orientações essa eficiência pode ser muito superior, isso porque aumenta o número de MPPT's, tecnologia que permite o inversor corrigir determinados problemas relacionados a geração de energia quando tem-se esses estorvos.

Para a realização do trabalho deparamos com dificuldade em encontrar determinadas informações das telhas solares necessárias para realizar o dimensionamento do sistema, entramos em contato com a empresa responsável pela produção do equipamento, porém a equipe que entrou em contato informou que não teriam o dado para fornecer, devido a este fator não utilizamos a telha mais potente do mercado brasileiro, L8 HW-MQSB-V230, por isso foi necessário utilizar a telha GT-15.

Contudo, no estudo realizado no trabalho fica claro que embora ambas as tecnologias gerem energia de forma sustentável, sendo um ponto muito importante na tomada de decisão nos dias atuais, o apelo econômico para aquisição do sistema é um fator decisivo, dessa forma, no caso de projetos similares ao do estudo a melhor combinação de equipamento são módulos fotovoltaicos e Microinversores.

Com base nos resultados, concluímos que a utilização de telhas solares não se justifica do ponto de vista econômico, embora possua retorno financeiro, visto que possui uma TIR inferior a TMA, o que leva a constatar a viabilidade financeira pelo uso dos módulos.

Uma proposta de trabalho futuro seria um estudo de viabilidade econômica em projetos que a utilização de módulos solares fotovoltaicos resultasse em reforço estrutural no local, de modo a gerar um custo extra ao projeto. Presumivelmente, neste caso específico o custo de reforço estrutural justificasse economicamente a utilização de telhas fotovoltaicos ao invés de módulos fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. S. G.; CAGNIN, R. F. (Org.). **A indústria do futuro no Brasil e no mundo**. São Paulo: IEDI, 2019.
- ANDRÉ, C. F. O peso da energia elétrica na economia: Em uma economia globalizada, altamente acirrada, países competitivos têm que possuir condições altamente favoráveis de infraestrutura e tarifas baixas. **Brasil Energia**, Rio de Janeiro. 2007. Disponível em: <https://pordentrodeminas.com.br/noticias/ultimas-noticias/2016/07/artigo-o-peso-da-energia-eletrica-na-economia-2> Acesso em: 7 out. 2020.
- ATTIA, S., HERDE, A. D. Sizing photovoltaic systems during early design: A decision tool for architects. In: AMERICAN SOLAR ENERGY SOCIETY (ASES) NATIONAL SOLAR CONFERENCE (SOLAR), 39., Phoenix, Arizona, 2010. [Anais...] Phoenix: ASES, 2010. Available in: <https://orbi.uliege.be/handle/2268/167573> Access in: 2 out. 2020.
- BEZERRA, F. D. Energia solar. **Caderno setorial ETENE**, Fortaleza-CE, v. 5, n. 110, p. 1-12, mar. 2020.
- BONA, A. **Descubra o que é VPL e qual a sua importância nos investimentos**. 19 jun. de 2019. Disponível em: <https://andrebona.com.br/descubra-o-que-e-vpl-e-qual-sua-importancia-nos-investimentos/> Acesso em: 10 nov. 2020.
- BRASIL. Ministério da Economia/Câmara de Comércio Exterior/Comitê-Executivo de Gestão. Resolução nº 69, de 16 de julho de 2020. **Diário Oficial da União**, Brasília, 20 julho, edição n. 137, seção: 1. p. 16, 2020.
- CAMARGO, R. F. **Veja como o Valor Presente Líquido (VPL) ajuda na análise de viabilidade de um investimento**. 29 jan. de 2017. Disponível em: Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/valor-presente-liquido-vpl/> Acesso em: 10 nov. 2020
- CHAMMA, B. C. **Projeto de uma microgeração fotovoltaica aplicada a uma residência**. Orientador: Walter Issamu Suemitsu. 2017. 63 f. (Bacharel em Engenharia Elétrica)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10020752.pdf> Acesso em: 2 out. 2020.
- COSTA, A. C.; OLIVEIRA, D. F.; RABELO, M. H.; PINHEIRO, M. D.; PIAZZAROLO, J. Energia solar fotovoltaica: uma alternativa viável? In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO UNIFACIG, 4., Manhuaçu – MG, 2019. [Anais...]. Manhuaçu – MG: UNIFACIG, 2019. 15p. Disponível em: <http://www.pensaracademico.facig.edu.br/index.php/semiariocientifico/article/view/1277> Acesso em 23 out. 2020.
- COSTA, C. B. L.; SILVA, M. G.; FERREIRA, J. M.D.; MELO, D. H. A. P.; SILVA NETO, J. F. **Energia solar fotovoltaica como fonte de geração de energia complementar na indústria paraibana: um estudo de caso**. 2013. Disponível em: <http://www.prac.ufpb.br/enex/trabalhos/7CEARDEERPROBEX2013830.pdf> Acesso em: 15 out. 2020.
- DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Brasília: Ipea, Maio 2018 (Texto para discussão, n. 2388). Disponível em:

https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2388.pdf Acesso em: 14 out. 2020.

DASSI, J. A.; ZANIN, A.; BAGATINI, F. M.; TIBOLA, A.; BARICHELLO, R.; MOURA, G. D. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS - Gestão de Custos nas Estratégias de Geração e Transmissão de Energia 22.*, Foz do Iguaçu, PR, 2015. [Anais...]. Foz do Iguaçu, PR: CBC, 2015.16p. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3445027/mod_resource/content/1/solar%20completo.pdf Acesso em: 7 out. 2020.

DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. Introdução: a disciplina e a prática da pesquisa qualitativa. *In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (Org.). O planejamento da pesquisa qualitativa: teorias e abordagens.* 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. p.15-41.

DI SOUZA, R. **Painel solar (placa solar):** A verdade sobre o preço e como funciona. 12 dez. 2016. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/painel-solar-preco-e-como-funciona/> Acesso em: 15 set. 2020.

DS NEW ENERGY. **Solar cell busbars, fingers, tab wires and bus wires.** 15 out. 2019. Disponível em: <https://www.dsneg.com/info/solar-cell-busbars-fingers-tab-wires-and-bus-39808254.html>. Acesso em: 12 set. 2020.

ESPOSITO, A. S.; FUCHS, P. G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. *Revista do BNDES*, Rio de Janeiro, v. 40, dez. 2013, p. 85-114. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivosconhecimento/revista/rev4003.pdf Acesso em: 14 out. 2020.

GALDINO, M. A. Análise de custos históricos de sistemas fotovoltaicos no Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLARAT.* 4., São Paulo, 2012. [Anais...] São Paulo: ABENS, 2012. 9p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/artigo/IV-CBENS/Artigo_custos_historicos_IVCBENS.pdf Acesso em: 2 out 2020.

GARCIA, T. D. **Análise técnica e econômica de geração distribuída 25 fotovoltaica residencial conectada à rede de distribuição.** Orientador: Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira. 2015. 13 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica)-Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em <https://bdm.unb.br/handle/10483/14633> Acesso em: 2 out. 2020.

GIL, A. C. **Método e técnica de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOETZE, F. **Projeto de microgeração fotovoltaica residencial:** Estudo de caso. Orientador: Leborgne, Roberto Chouhy. 2017. 82 f. (Bacharel em Engenharia Elétrica)- Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/169263/001049569.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 2 out. 2020.

GONÇALVES, T. **Veja como analisar seus rendimentos com a Taxa Interna de Retorno.** 25 jun. de 2018. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/taxa-interna-de-retorno> Acesso em: 10 nov. 2020.

LIMA, A. A.; MENEZES, N. P. SANTOS, S.; AMORIM, B.; THOMAZI, F., ZANELLA, F.; HEILMANN, A.; BURKARTER, E., DARTORA, C. A. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 42, p. e20190191,

2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v42/1806-9126-RBEF-42-e20190191.pdf> Acesso em: 12 out. 2020.

LOSEKANN, L.; HALLACK, M. Novas energias renováveis no Brasil: desafios e oportunidades. *In*: NEGRI, J. A.; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. (Org.). **Desafios da nação: artigos de apoio**. Brasília: Ipea, 2018. v. 2. p. 631-655.

MELO, M. O. B. C. Avaliação do impacto da qualidade de energia elétrica na produção industrial: proposta de metodologia. **Produto & Produção**, Rio Grande do Sul, v. 9, n. 3, p. 15-25, out. 2008.

MELO, M. O. B. C.; CAVALCANTI, G. A. Avaliação do impacto da qualidade de energia elétrica no mercado e na produção industrial análise e metodologia. *In*: Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica – SBQEE, 5., Aracaju, SE, 2003. [Anais...] Aracaju: UFP, 2003. p. 477-482.

MOREIRA JÚNIOR, O.; CORREIA DE SOUZA, C. C. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre brasil e Alemanha. *In*: VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 8., Campo Grande/MS, 2017. [Anais...]. Campo Grande/MS: IBEAS, 2017. p. 1-5. Disponível em <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/X-002.pdf> Acesso em: 2 out. 2020.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil**: situação e perspectivas. São Paulo: Câmara dos Deputados, 2017.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; COSTA, R. S.; GONÇALVES, A. R. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PINHEIRO, R. MENEZES, V. L. CARVALHO, M. Pegada de carbono associada a telha fotovoltaica do tipo cerâmico com célula de si-poli. *In*: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – Congestas. 5., João Pessoa, PB, 2017. [Anais...]. João Pessoa: UFP, 2017. p. 1131-1138. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2017/trabalhos/pdf/congestas2017-et-06-018.pdf>.

RAGNINI, G. **Análise da viabilidade técnica e econômica da instalação de telhas fotovoltaicas conectada à rede de distribuição em novas residências eficientes**. Orientador: Clodomiro Unsihuay Vila. 2018. 80 f. Monografia (Engenheiro Eletricista)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/tcc/2018/1s/GIOVANIRAGNINI/TCC-GiovaniRagnini.pdf> Acesso em: Acesso em: 2 out. 2020.

RIBEIRO JUNIOR, J. A.; OLIVEIRA, T. M. C.; FREITAS, P. V.; QUEIROZ, D. P.; COSTA, A. M. A.; ALENCAR, T. N.; SILVA, L. F. A.; PALHETA, J. V. B. Energia fotovoltaica: estudo de viabilidade econômica para implantação em edificações residenciais no Tocantins. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 2, p.6702-6715, feb. 2020.

RODRIGUES, D.; MATAJS, R. **Um banho de sol para o Brasil**: o que os aquecedores podem fazer pelo meio ambiente e sociedade. São Lourenço da Serra: Vitae Civilis, 2004.

ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. **Estud. av.**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 65-92, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142012000100006> Acesso em 20 out. 2020.

ROSA, M. **1ª telha solar fotovoltaica do país será lançada pela Eternit**. 29 ago. 2019b. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/arq-urb/arquitetura/1a-telha-solar-fotovoltaica-eternit/> Acesso em: 30 out. 2020.

ROSA, M. **Brasil possui quase 50 mil sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede: Os sistemas atingiram a marca histórica de 500 MW no país.** 9 jan. 2019a. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/brasil-possui-quase-50-mil-sistemas-solares-fotovoltaicos-conectados-a-rede/> Acesso em: 2 out. 2020.

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

SAMPAIO, P. G. V; GONZÁLEZ, M. O. A., 2017. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Holanda: Elsevier, v. 74 (C), p. 590-601, 2017.

SCHNEIDE, K.; SORGATO, M. J, RICARDO RÜTHER, R. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de módulos fotovoltaicos (fv) de telureto de cádmio (cdte) em fachadas opacas de um edifício comercial de escritórios, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. 6., 2018, Gramado, [Anais...]. Gramado: ABENS, 2018, p. 1-10.

SILVA, R. M. **Energia solar no Brasil: dos incentivos aos desafios.** Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Fevereiro/2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166> Acesso em: 14 out. 2020.

SOUSA, M. **1ª telha solar do Brasil começa a ser produzida.** 23 set. 2020. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/inovacao/tecnologia/1a-telha-solar-do-brasil-comeca-a-ser-produzida/> Acesso em: 14 out. 2020.

SOUZA, B. A.; MEDEIROS, J. C.; XAVIER, M. V.S; MIRANDA, S. A.; FERNANDES, W. S. F.; SANTOS, J. R. T.; VIDA, L. E. B. M.; DIAS, H. M.; SANTOS, F. T. Estudo de viabilidade técnica e econômica para aplicação de organic photovoltaics (OPV) em um edifício residencial. **Brazilian Journal of Development Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 52952-52970, jul. 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/14111> Acesso em: 2 out 2020.

SOUZA, R. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica.** Ribeirão Preto: BlueSol Energia Solar, 2016.

SUNEW. **Greenest energy everywhere.** Disponível em: <https://sunew.com.br/en/> Acesso em: 15 de out. 2020.

VIEIRA, M. M. F.; ZOUAIN, D. M. **Pesquisa qualitativa em administração: teoria e prática.** Rio de Janeiro: FGV, 2005.

VILLALVA, M. G. **Conheça as células fotovoltaicas de heterojunção.** 1 abr. 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/index.php/artigos/item/72-conheca-as-celulas-fotovoltaicas-de-heterojuncao> Acesso em: 15 out. 2020.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** 2. ed. Editora Érica, São Paulo, 2018.

ZILLES, R.; MACEDO, W. N.; GAQLHARDO, M, A, B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.** São Paulo: Oficina de textos, 2012.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; MARCOS ANDRÉ BARROS GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ZOMER, C. D.; RÜTHER, R. Aplicação e avaliação de método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. 6., 2018, Gramado: [Anais...]. Gramado: ABENS, 2018, p. 1-9.

APÊNDICE A – TELHA GREEN TILE + MICROINVERSOR

TELHA GREEN TILE + MICROINVERSOR						
DESCRIÇÃO	FABRICANTE	MODELO	Quantidade	PREÇO	Preço Total	SITE
TELHA GREEN TILE	Green Tile	GT-15	256	R\$ 360,50	R\$ 92.288,00	
MICROINVERSOR	APSYSTEMS	QS1-1200W	3	R\$ 1.980,00	R\$ 5.940,00	ECORI - Vend. Claudio
CABO CC	Sil	#6 mm ²	20	R\$ 3,75	R\$ 75,00	SICES
CABO CA	Prysmian	#6mm ²	45	R\$ 5,93	R\$ 266,85	Prysmian
QUADRO DE PROTEÇÃO CA	Quadro de Sobrepor	QDW WEG 12 Disjuntores	1	R\$ 63,46	R\$ 63,46	* ViewTech 2020.
DISJUNTOR	SCHNEIDER	Modular Easy9 - 10 A	3	R\$ 32,70	R\$ 98,10	www.se.com (Schneider Electric)
DISJUNTOR	SCHNEIDER	EASY9 3P 32A CURVA C	1	R\$ 48,90	R\$ 48,90	SCHNEIDER
CONECTORES FEMEA/ MACHO MC4	WEID	MC4	8	R\$ 11,11	R\$ 88,88	Sices
INSTALAÇÃO			256	R\$ 3,50	R\$ 896,00	MÉDIA DE MERCADO
TOTAL					R\$	99.765,19

* https://www.viewtech.ind.br/catalog/product/view/id/3865/s/quadro-de-sobrepor-qdw-weg-12-disjuntores-barramento-neutro/?utm_source=&utm_medium=&utm_campaign=&utm_term=&utm_content=&gclid=Cj0KCQiAy579BRCPARIsAB6QoIYO2tE9dhwBuKS85FweId6bLwQ_isRxoGnJPbF7y70vfUZ5p-dc5PQaAvvZEALw_wcB#

APÊNDICE B – TELHA GREEN TILE + INVERSOR STRING

TELHA GREEN TILE + INVERSOR STRING						
DESCRIÇÃO	FABRICANTE	MODELO	Quantidade	PREÇO	Preço Total	SITE
TELHA GREEN TILE	Green Tile	GT-15	256	R\$ 360,50	R\$ 92.288,00	Green Tile
INVERSOR STRING	WEG	SIW300H SIW300H-M040	1		R\$ 10.419,56	WEG S. A. - Douglas
CABO CC	Sil	#6 mm ²	60	R\$ 3,75	R\$ 225,00	SICES
CABO CA	Prysmian	#6mm ²	15	R\$ 5,93	R\$ 88,95	Prysmian
QUADRO DE PROTEÇÃO CA	Quadro de Sobrepor	QDW WEG 12 Disjuntores	1	R\$ 63,46	R\$ 63,46	** View Tech 2020.
DISJUNTOR	SCHNEIDER	EASY9 3P 32A CURVA C	1	R\$ 48,90	R\$ 48,90	SCHNEIDER
CONECTORES FEMEA/ MACHO MC4	WEID	MC4	8	R\$ 11,11	R\$ 88,88	Sices
INSTALAÇÃO			256	R\$ 3,50	R\$ 896,00	MÉDIA DE MERCADO
TOTAL					R\$	104.118,75

** [https://www.viewtech.ind.br/catalog/product/view/id/3865/s/quadro-de-sobrepor-qdw-weg-12-disjuntores-barramento-neutro/?utm_source=&utm_medium=&utm_campaign=&utm_term=&utm_content=&gclid=Cj0KCQiAy579BRCPARIsAB6QoIYO2tE9dhwBuKS85FweId6bLwQ_isRxoGnJPbF7y70vfUZ5p-dc5PQaAvvZEALw_wcB#//](https://www.viewtech.ind.br/catalog/product/view/id/3865/s/quadro-de-sobrepor-qdw-weg-12-disjuntores-barramento-neutro/?utm_source=&utm_medium=&utm_campaign=&utm_term=&utm_content=&gclid=Cj0KCQiAy579BRCPARIsAB6QoIYO2tE9dhwBuKS85FweId6bLwQ_isRxoGnJPbF7y70vfUZ5p-dc5PQaAvvZEALw_wcB#/)

APÊNDICE C – MÓDULO SOLAR + MICROINVERSOR

MÓDULO SOLAR + MICROINVERSOR						
DESCRIÇÃO	FABRICANTE	MODELO	Quantidade	PREÇO	Preço Total	SITE
MÓDULO SOLAR	TRINA SOLAR	TALLMAX TSM-DE15H(II)-400	10	R\$ 927,00	R\$ 9.270,00	
MICROINVERSOR	APSYSTEMS	QS1-1200W	3	R\$ 1.980,00	R\$ 5.940,00	ECORI - Vend. Claudio
CABO CC	Sil	#6 mm ²	20	R\$ 3,75	R\$ 75,00	-
CABO CA	Prysmian	#6mm ²	45	R\$ 5,93	R\$ 266,85	Prysmian
QUADRO DE PROTEÇÃO CA	Quadro de Sobrepor	QDW WEG 12 Disjuntores	1	R\$ 63,46	R\$ 63,46	***
DISJUNTOR	SCHNEIDER	Modular Easy9 - 10 A	3	R\$ 32,70	R\$ 98,10	www.se.com (Schneider Electric)
DISJUNTOR	SCHNEIDER	EASY9 3P 32A CURVA C	1	R\$ 48,90	R\$ 48,90	SCHNEIDER
CONECTORES FEMEA/ MACHO MC4	WEID	MC4	8	R\$ 11,11	R\$ 88,88	Sices
SUPORTE DE FIXAÇÃO			1	R\$ 1.084,96	R\$ 1.084,96	Sices
INSTALAÇÃO			10	R\$ 80,00	R\$ 800,00	MÉDIA DE MERCADO
TOTAL					R\$	17.736,15

*** https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1150809980-cabo-solar-fotovoltaico-sil-6mm-rolos-com-100-metros-cores-JM?matt_tool=79246729&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=6542746973&matt_ad_group_id=82254694281&matt_mate_h_type=&matt_network=u&matt_device=c&matt_creative=385099301982&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=&matt_merchant_id=110951145&matt_product_id=MLB1150809980&matt_product_partition_id=472057081367&matt_target_id=pla-472057081367&gclid=Cj0KCQjwreT8BRDTARIsAJLI0KL11X_segNCHRgc0psSb0m_PujKUYRtViDsH78xkmpnEpQ_5HpPUjsaAp_gEALw_wcB

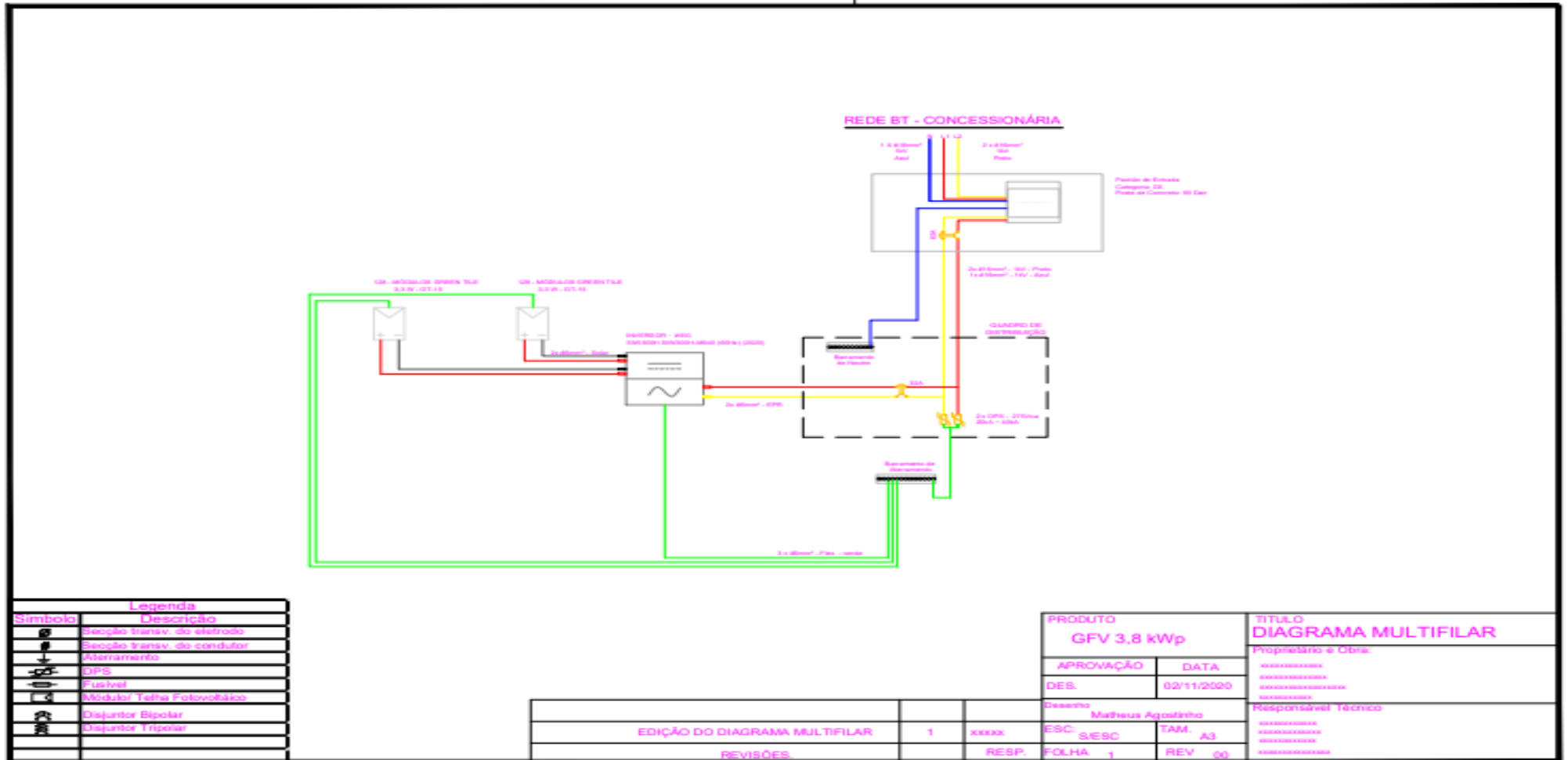
APÊNDICE D – MÓDULO SOLAR + INVERSOR STRING

MÓDULO SOLAR + INVERSOR STRING						
DESCRIÇÃO	FABRICANTE	MODELO	Quantidade	PREÇO	Preço Total	SITE
MÓDULO SOLAR	TRINA SOLAR	TALLMAX TSM-DE15H(II)-400	10	R\$ 927,00	R\$ 9.270,00	
INVERSOR STRING	WEG	SIW300H SIW300H-M040	1	R\$ 10.419,56	R\$ 10.419,56	WEG S. A. - Douglas
CABO CC	Sil	#6 mm ²	30	R\$ 3,75	R\$ 112,50	****
CABO CA	Prysmian	#6 mm ²	15	R\$ 5,93	R\$ 88,95	Prysmian
QUADRO DE PROTEÇÃO CA	Quadro de Sobrepor	QDW WEG 12 Disjuntores	1	R\$ 63,46	R\$ 63,46	*****
DISJUNTOR	SCHNEIDER	EASY9 3P 32A CURVA C	1	R\$ 48,90	48,9	www.se.com (Schneider Electric)
CONECTORES FEMEA/ MACHO MC4	WEID	MC4	8	R\$ 11,11	R\$ 88,88	Sices
INSTALAÇÃO			10	R\$ 80,00	R\$ 800,00	MÉDIA DE MERCADO
SUPORTE DE FIXAÇÃO			1	R\$ 1.084,96	R\$ 1.084,96	Sices
TOTAL					R\$	21.977,21

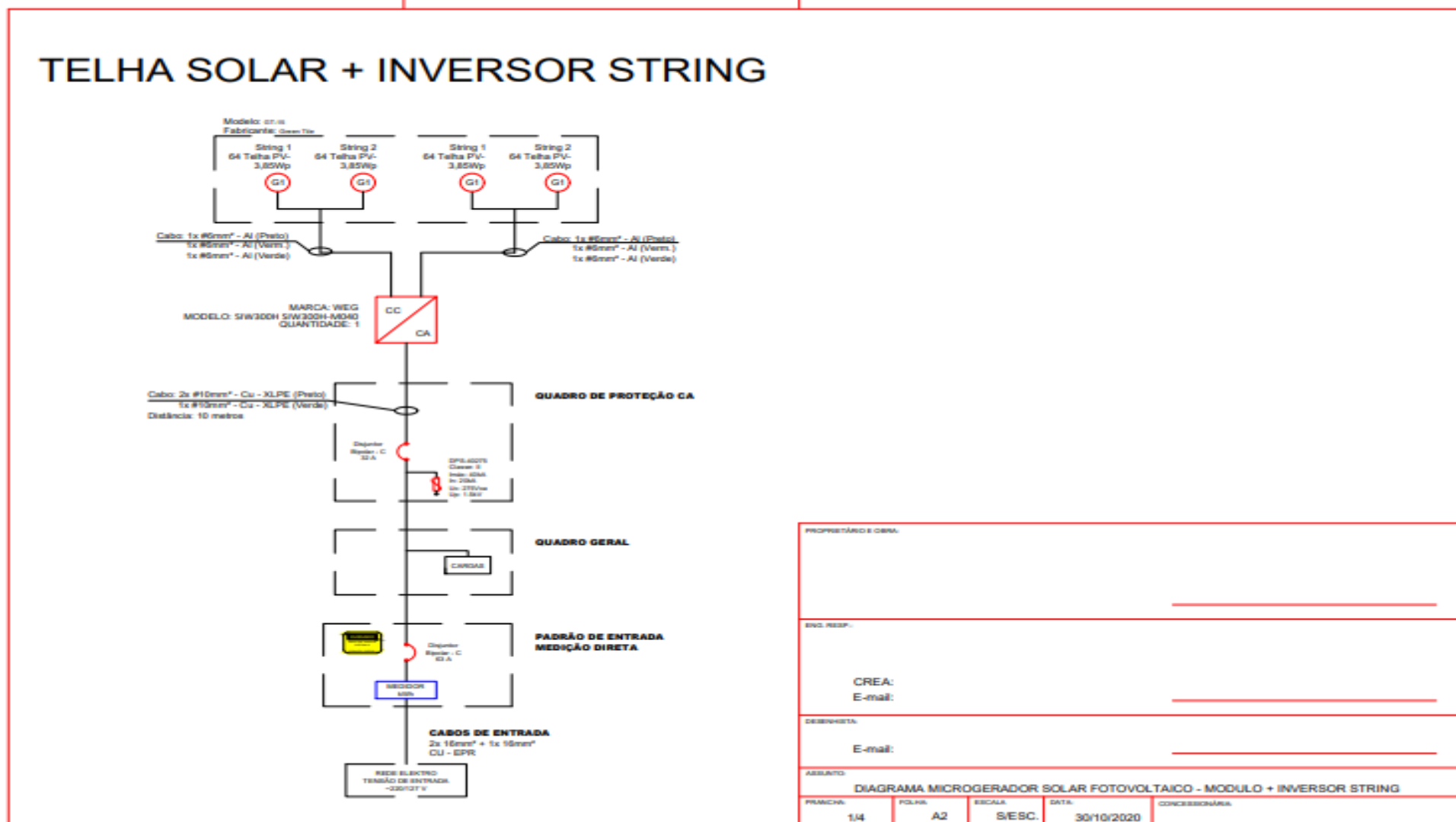
**** https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1150809980-cabo-solar-fotovoltaico-sil-6mm-rolos-com-100-metros-cores-JM?matt_tool=79246729&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=6542746973&matt_ad_group_id=82254694281&matt_match_type=&matt_network=u&matt_device=c&matt_creative=385099301982&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=&matt_merchant_id=110951145&matt_product_id=MLB1150809980&matt_product_partition_id=472057081367&matt_target_id=pla-472057081367&gclid=Cj0KCQjwreT8BRDTARIsAJLI0KL11X_segNCHRgc0psSb0m_PujKUYRtViDsH78xkmpnEpQ_5HpPUjsaAp_gEALw_wcB

***** [https://www.viewtech.ind.br/catalog/product/view/id/3865/s/quadro-de-sobrepor-qdw-weg-12-disjuntores-barramento-neutro/?utm_source=&utm_medium=&utm_campaign=&utm_term=&utm_content=&gclid=Cj0KCQiAy579BRCPARIsAB6QoIYO2tE9dhwBuKS85FweId6bLwQ_isRxoGnJPbF7y70vfUZ5p-dc5PQaAvvZEALw_wcB#/#/](https://www.viewtech.ind.br/catalog/product/view/id/3865/s/quadro-de-sobrepor-qdw-weg-12-disjuntores-barramento-neutro/?utm_source=&utm_medium=&utm_campaign=&utm_term=&utm_content=&gclid=Cj0KCQiAy579BRCPARIsAB6QoIYO2tE9dhwBuKS85FweId6bLwQ_isRxoGnJPbF7y70vfUZ5p-dc5PQaAvvZEALw_wcB#/)

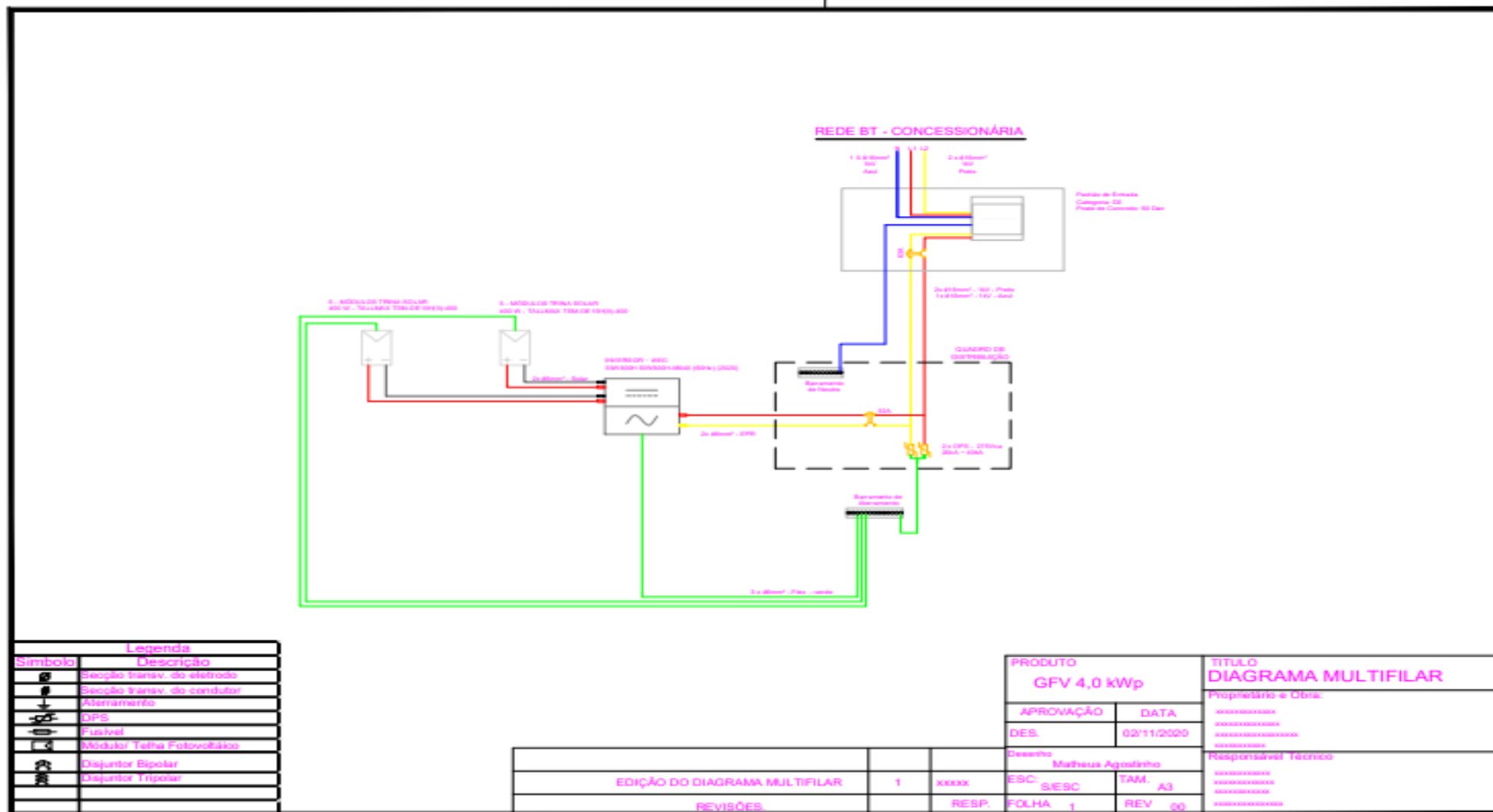
APÊNDICE E – DIAGRAMA MULTIFILAR - TELHA + INVERSOR STRING



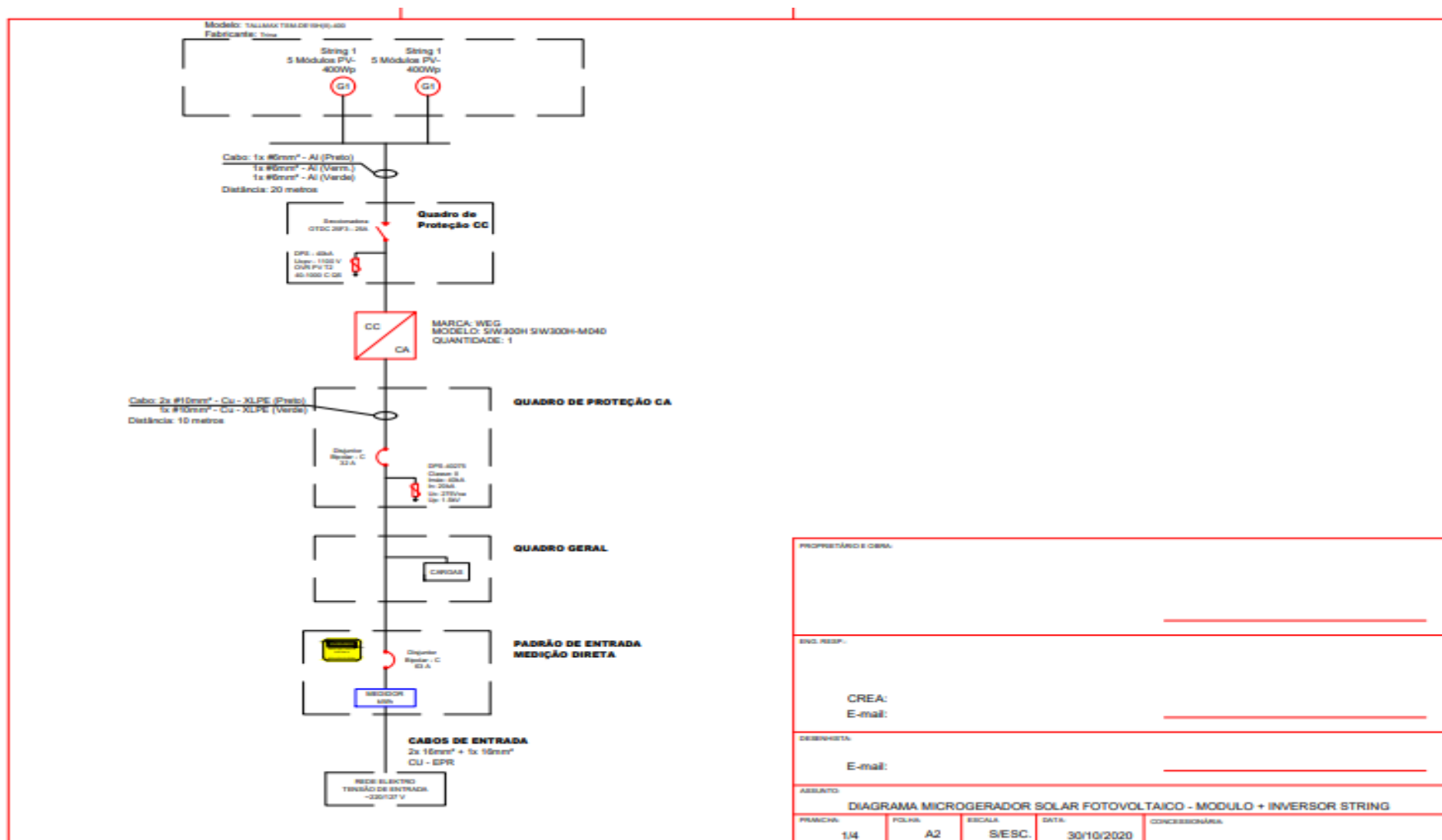
APÊNDICE F – DIAGRAMA UNIFILAR - TELHA GREEN TILE + INVERSOR STRING



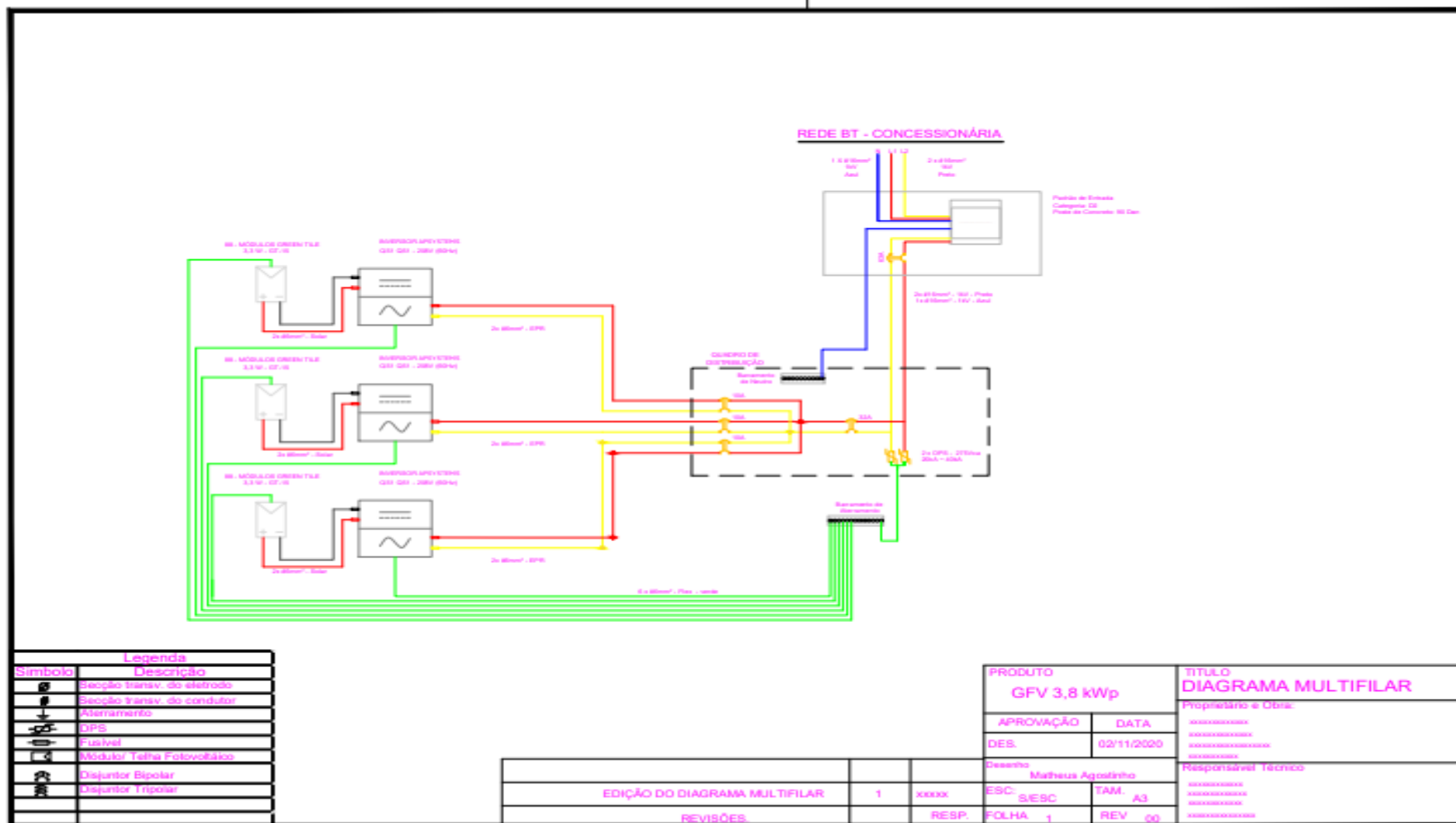
APÊNDICE G – DIAGRAMA MULTIFILAR - MÓDULO + INVERSOR STRING



APÊNDICE H – DIAGRAMA UNIFILAR - MÓDULO + INVERSOR STRING



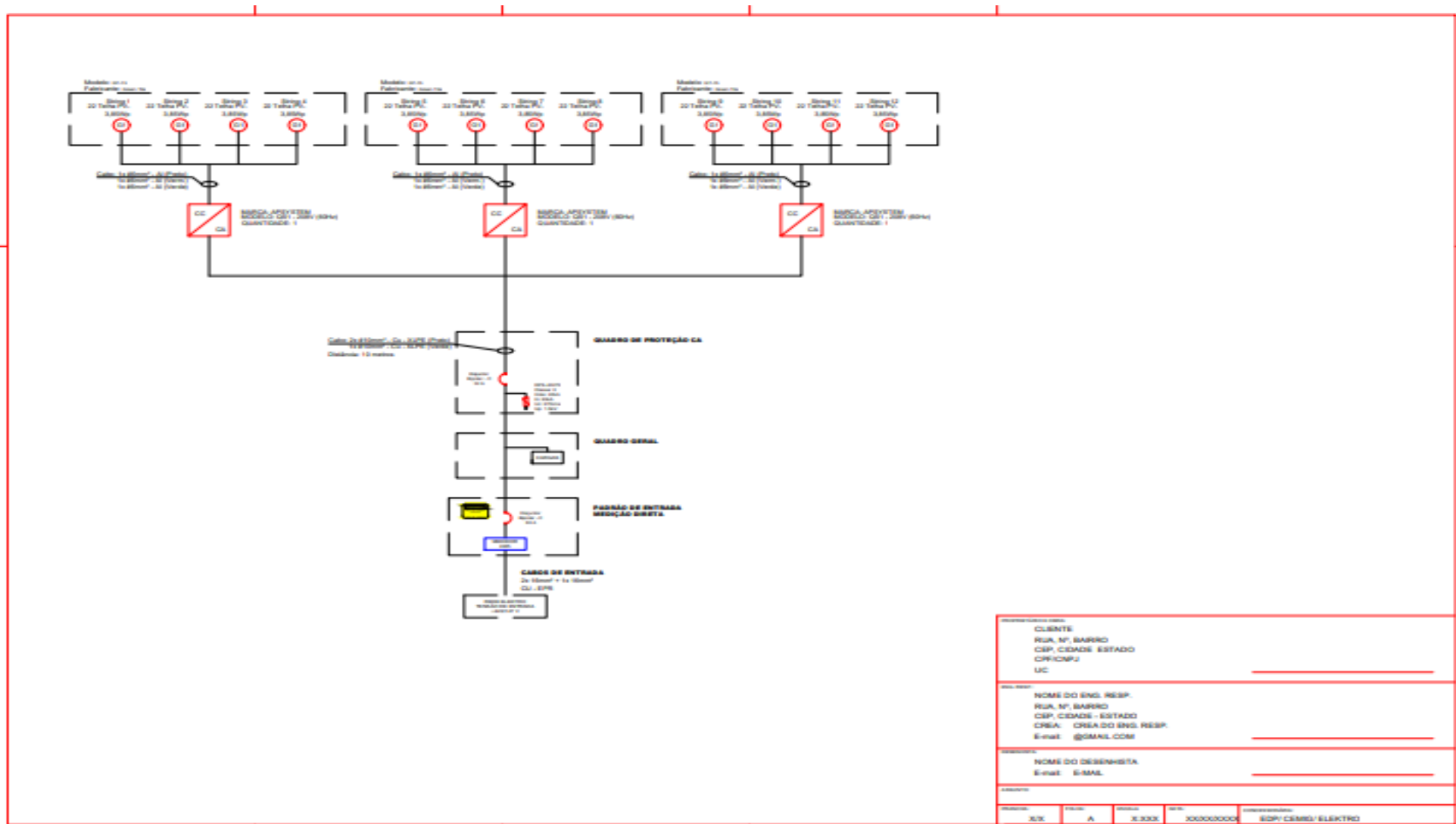
APÊNDICE I – DIAGRAMA MULTIFILAR - TELHA GREEN TILE + MICROINVERSOR



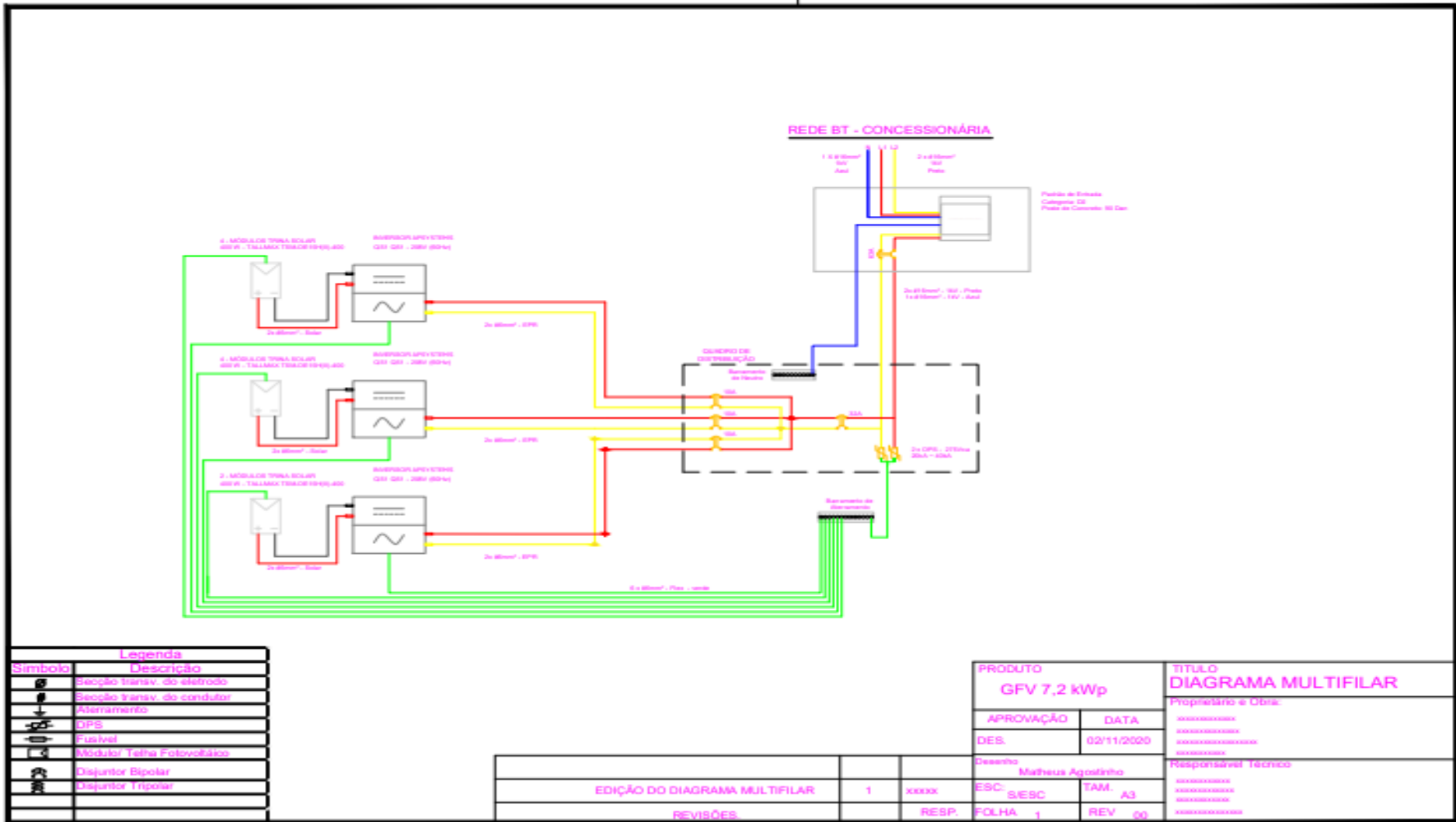
Legenda	
Símbolo	Descrição
	Secção Transv. do eletrodo
	Secção Transv. do condutor
	Alarmatério
	UPS
	Fusível
	Módulo Tetra Fotovoltáico
	Disjuntor Bipolar
	Disjuntor Tripolar

PRODUTO		TÍTULO	
GFV 3,8 kWp		DIAGRAMA MULTIFILAR	
APROVAÇÃO		DATA	
DES.		02/11/2020	
Designer: Matheus Agostinho Responsável Técnico:			
EDUÇÃO DO DIAGRAMA MULTIFILAR		1	X000X
REVISÕES		RESP:	FOLHA 1 REV 09

APÊNDICE J – DIAGRAMA UNIFILAR - TELHA GREEN TILE + MICROINVERSOR



APÊNDICE K – DIAGRAMA MULTIFILAR - MÓDULO + MICROINVERSOR



APÊNDICE L – DIAGRAMA UNIFILAR - MÓDULO SOLAR + MICROINVERSOR

