



**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE
FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA

GABRIEL SILVA SILVESTRI

**PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA O
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS (INBIO) DA UFMS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Campo Grande
Março de 2021**

GABRIEL SILVA SILVESTRI

**PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA O
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS (INBIO) DA UFMS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal de Mato Grosso do
Sul na Faculdade de Engenharias, Arquitetura
e Urbanismo e Geografia, Departamento de
Engenharia Elétrica, para conclusão do curso
de Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof. Dra. Luciana Cambraia
Leite

Campo Grande
Março de 2021

DECLARAÇÃO DE AUTORIA E RESPONSABILIDADE

Gabriel Silva Silvestri, residente e domiciliado na cidade de Campo Grande, Estado de Mato Grosso do Sul, portador do RG de nº 001.334.087 e CPF nº 050.991.691-04, declaro que o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado, com o título “PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA O INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS (INBIO) DA UFMS” é de minha autoria e assumo a total responsabilidade pelo seu conteúdo e pela originalidade do texto. Declaro que identifiquei e referenciei todas as fontes e informações gerais que foram utilizadas para construção do presente texto. Declaro também que este texto não foi publicado, em parte, na íntegra ou conteúdo similar em outros meios de comunicação, tendo sido enviado com exclusividade para a conclusão do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Campo Grande, 05 de março de 2021.

Gabriel Silva Silvestri

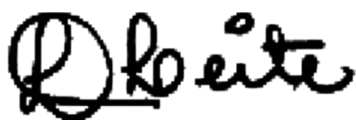
RA: 2013.2103.105-0

Curso de Engenharia Elétrica - UFMS

FOLHA DE APROVAÇÃO

Redação final do Trabalho de Conclusão Curso defendida por Gabriel Silva Silvestri, com o título: “PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA O INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS (INBIO) DA UFMS”, foi aprovada pela Comissão Julgadora em 05 de março de 2021, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

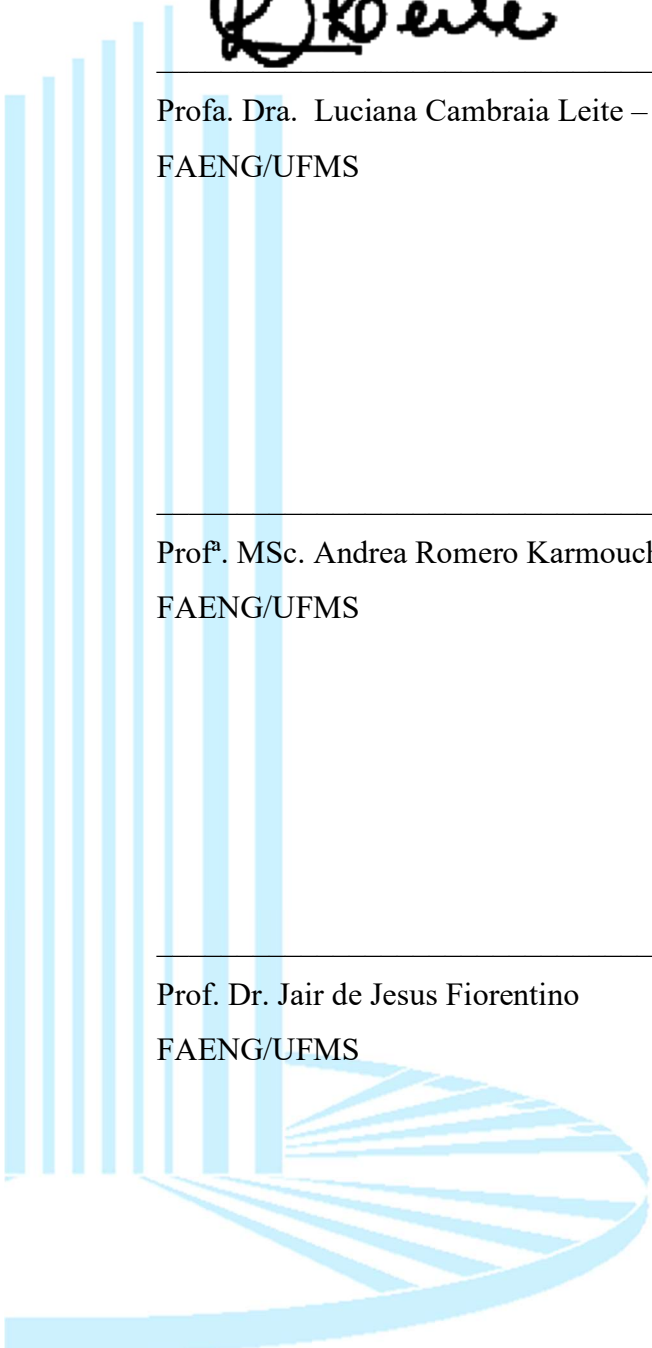
A Banca Examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, submeteu o candidato à análise da Monografia em nível de Graduação.



Profa. Dra. Luciana Cambraia Leite – Orientador
FAENG/UFMS

Profª. MSc. Andrea Romero Karmouche
FAENG/UFMS

Prof. Dr. Jair de Jesus Fiorentino
FAENG/UFMS



Aos meus avós, Irene e Francisco.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a minha mãe e ao meu pai, que me proporcionaram trilhar o caminho que trilhei e forneceram, sempre que possível, o suporte necessário para a minha formação.

Agradeço a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, por ter me acolhido durante tanto tempo e ter me proporcionado conhecer todos os amigos que conheci.

Agradeço a Engefour Júnior, por ter sido meu lar, ter proporcionado o meu avanço profissional e por ter criado laços com pessoas incríveis, as quais conheci lá.

Agradeço às minhas tias, que me acolheram como um filho durante a minha infância e, que junto aos meus primos, me proporcionaram memórias de extrema felicidade.

Agradeço à minha irmã, Caroline, pelos momentos que dividimos frustrações e servimos de amparo, um para o outro. Também agradeço a minha irmã, Nathalia, por me trazer paz, tranquilidade e carinho.

Agradeço ao meu irmão, Guilherme, por se inspirar em mim e ser uma das minhas forças para continuar.

Agradeço aos meus amigos, em especial ao Alisson, por ter sido meu ombro amigo nos momentos de dificuldade, além de ter me cobrado nos momentos onde precisei. Também agradeço ao Vitor, por ter dividido essa trajetória, no mínimo, engraçada comigo.

Por fim, agradeço à Zazá, Willian e Nina, pelo acolhimento, compreensão, direcionamento e por terem sido peças fundamentais da conclusão do meu curso. Sou eternamente grato a vocês.

É só na escuridão que se percebe os vagalumes.

Emicida

Resumo

Desde a sua descoberta, a energia elétrica vem desempenhando um papel muito importante para o desenvolvimento da humanidade. Este papel tornou-se cada vez mais necessário conforme tecnologias dependentes de eletricidade foram sendo desenvolvidas. Deste modo, a busca por fontes de energia tornou-se incessante e imprescindível. Atualmente, por consequência da utilização de fontes não renováveis de energia, o mundo busca por fontes de baixo impacto ambiental. Dentre as fontes renováveis de energia, a geração fotovoltaica vem se destacando devido à sua capacidade de geração limpa de energia e a sua disponibilidade. Verificam-se altos índices de irradiação solar no Brasil, tornando-o um excelente potencial para a geração solar. No presente trabalho foi realizado o projeto e a análise de viabilidade econômica de um sistema de microgeração de energia fotovoltaica para o Instituto de Biociências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Foi realizado o levantamento da área disponível para a instalação dos módulos fotovoltaicos e, com esta informação, foram dimensionados os componentes do sistema como: quantidade de placas, modelo do inversor e as proteções. Após o desenvolvimento do projeto, foi feita a análise de viabilidade econômica, considerando três índices econômicos relevantes: o *payback* simples, o Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno. O resultado foi muito promissor, pois obteve um tempo de *payback* de 7 anos, um VPL de R\$ 792.147,15 e uma TIR de 19%.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica; dimensionamento de um sistema fotovoltaico; microgeração; análise de viabilidade econômica.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Consumo mundial de eletricidade de 1990 a 2018.	16
Figura 2 – Principais fontes geradoras de eletricidade do mundo de 1990 a 2018. .	17
Figura 3 – Contribuição de cada fonte geradora de energia elétrica na Alemanha .	18
Figura 4 – Capacidade mundial de geração de energia fotovoltaica	18
Figura 5 – Geração de energia por fonte (2020)	19
Figura 6 – Participação percentual de cada das fontes de geração na matriz elétrica brasileira, 1990 a 2019.	21
Figura 7 – Geração de energia solar fotovoltaica no Brasil de 2013 a 2019.	21
Figura 8 – Topologias básicas de um sistema <i>off-grid</i> (a) e um sistema <i>on-grid</i> (b). .	24
Figura 9 – Utilização mundial das diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos .	26
Figura 10 – Estrutura de uma célula fotovoltaica e o processo de fotogeração	27
Figura 11 – Partes constituintes de um módulo fotovoltaico	28
Figura 12 – Associações de módulos fotovoltaicos e curva $I \times V$	29
Figura 13 – Influência da irradiância na geração da corrente	30
Figura 14 – Efeito do sombreamento em 01 célula na curva $I \times V$ de uma string com 04 módulos fotovoltaicos.	31
Figura 15 – Dados da geração distribuída, classificada por modalidade de geração no Brasil em 2020.	33
Figura 16 – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul dividida de acordo com as unidades consumidoras.	40
Figura 17 – Localização via satélite do Instituto de Biociências.	42
Figura 18 – Composição da área útil do prédio do INBIO.	43
Figura 19 – Especificações técnicas do painel Canadian HiKu CS3W-440MS.	44
Figura 20 – Especificações técnicas inversor <i>Goodwe</i> GW35KLV-MT.	45
Figura 21 – Proteções do inversor <i>Goodwe</i> GW35KLV-MT.	47
Figura 22 – Características do condutor de corrente contínua.	48
Figura 23 – Capacidades de condução de corrente para os métodos de instalação referenciados na NBR 5410.	49
Figura 24 – Informações sobre a irradiância incidente sobre a região de Campo Grande.	50
Figura 25 – Preços para sistemas fotovoltaicos, de acordo com a sua potência. . . .	53
Figura 26 – Tarifas referentes à modalidade horária azul	54
Figura 27 – Tarifas referentes à modalidade horária verde	55
Figura 28 – Evolução relativa por classe de consumo (R\$/MWh).	56

Lista de tabelas

Tabela 1 – Energia anual gerada pelas hidrelétricas e demanda da população, em GWh.	20
Tabela 2 – Gastos com energia elétrica entre os meses de janeiro a setembro de 2020	41
Tabela 3 – Fatores de ajuste para a orientação e inclinação.	51
Tabela 4 – Estimativa de geração mensal em um ano.	51
Tabela 5 – Estimativa de geração anual para 25 anos.	52
Tabela 6 – Investimento anual do sistema pelos próximos 25 anos.	57
Tabela 7 – Resultado do investimento.	58

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
ESAN	Escola de Administração e Negócios
FDI	Fator de Dimensionamento de Inversores
IEC	International Engineering Consortium (Comissão Internacional de Eletrotécnica)
MPPT	Maximum Power Point Tracking (Rastreamento do Ponto de Máxima Potência)
MW	Megawatt
NBR	Norma Brasileira
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PROADI	Pró-Reitoria de Administração e Infraestrutura
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
SFCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede
STC	Standard Testing Conditions (condições normais de ensaio)
TIR	Taxa Interna de Retorno
UC	Unidade Consumidora
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UHE	Usina Hidrelétrica
UV	Ultra Violeta
VPL	Valor Presente Líquido

Lista de símbolos

A	ampére
GW	Gigawatt
h	hora
Hz	hertz
J	joule
kV	quilovolt
kWh.m ² /ano	quilowatt hora metro quadrado por ano
kWh.m ² /dia	quilowatt hora metro quadrado por dia
kWh	quilowatt hora
kW	quilowatt
kWp	quilowatt pico
m ²	metro quadrado
m	metro
MW	Megawatt
°	grau
%	Porcentagem
R\$/kWh	Reais por quilowatt hora
R\$	Unidade Monetária Real
R\$/Wp	Reais por watt pico
TWh	Terawatt hora
V	volts
Wh/m ²	watt hora por metro quadrado
Wh	watt hora
W/m ²	watt por metro quadrado
W	watt
Wp	watts pico

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO	14
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	14
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	15
1.2.3	<i>Divisão do Trabalho</i>	15
2	ENERGIA ELÉTRICA	16
2.1	FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA	16
2.2	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	19
2.3	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	19
2.4	NORMAS E REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA	22
2.4.1	<i>Sistemas de Tarifação</i>	22
2.5	TOPOLOGIAS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	23
3	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE	25
3.1	O EFEITO FOTOVOLTAICO	25
3.2	COMPONENTES DE UM SFCR	27
3.2.1	<i>Módulos fotovoltaicos</i>	27
3.2.1.1	<i>Arranjos de módulos fotovoltaicos</i>	28
3.2.1.2	<i>Sombreamento e diodos de proteção</i>	29
3.2.2	<i>Inversor</i>	31
3.2.3	<i>Proteções</i>	32
3.3	SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS A EDIFICAÇÕES	32
4	DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA	34
4.1	QUANTIDADE DE PAINÉIS E POTÊNCIA DO SISTEMA	34
4.2	DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR	34
4.3	CONDUTOR DE CORRENTE CONTÍNUA	36
4.4	PROTEÇÕES EM CORRENTE CONTÍNUA	36
4.5	PROTEÇÕES EM CORRENTE ALTERNADA	37
4.6	ENERGIA GERADA	37
4.7	INVESTIMENTO	38
4.7.1	<i>Valor presente líquido</i>	38
4.7.2	<i>Taxa interna de retorno</i>	39

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	40
5.2	LOCAL E ÁREA DE INSTALAÇÃO	41
5.3	DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA	42
5.3.1	<i>Potência e quantidade de placas</i>	42
5.3.2	<i>Inversores</i>	44
5.3.3	<i>Strings</i>	46
5.3.4	<i>Proteções de corrente contínua</i>	46
5.3.5	<i>Condutores de corrente contínua</i>	47
5.3.6	<i>Proteção e condutores de corrente alternada</i>	48
5.4	PROJETO	49
5.5	ENERGIA GERADA E ANÁLISE DO INVESTIMENTO	50
5.5.1	<i>Energia gerada</i>	50
5.5.2	<i>Investimento</i>	53
6	CONCLUSÃO	59
	Referências	60

1 INTRODUÇÃO

Devido aos problemas ambientais causados pela utilização de combustíveis fósseis como fonte de energia, o mundo se voltou para a busca de fontes renováveis de energia. Dentre as fontes renováveis, a mais utilizada atualmente é a hidrelétrica, que corresponde a 16% da energia elétrica mundial (IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2020). Apesar de ser renovável, a geração hidrelétrica tem um impacto local muito grande, pois necessita de áreas grandes para a criação de barragens para a sua instalação. Além disso, as hidrelétricas estão susceptíveis a diminuição e, até mesmo, interrupções em sua geração, devido a períodos de seca (NOGUEIRA; ALARCÓN, 2019). Neste quesito, a geração fotovoltaica vem sendo amplamente aplicada, pois, além de ser instalada nos mais diversos tipos de locais, sem a necessidade de uma construção de grande porte, a sua disponibilidade é praticamente constante (VILLALVA, 2015).

No Brasil, geração hidrelétrica representa 62,03% de toda a geração de energia elétrica, sendo assim, a maior fonte de geração (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA -- ANEEL, 2021). Porém, devido à sua alta disponibilidade de irradiação solar, superando países que já aplicam projetos de incentivo à geração fotovoltaica como Alemanha, China e Espanha, o Brasil se destaca como um grande potencial gerador de energia solar (RÜTHER, 2004).

Diante deste cenário propício para a produção de energia fotovoltaica, onde o Brasil se encontra com índices exponencialmente crescentes de geração fotovoltaica (IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2020), o presente trabalho apresenta um projeto e estudo de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico para o Instituto de Biociências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

O projeto de um sistema fotovoltaico para o Instituto de Biociências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, tem como objetivo diminuir os custos com energia elétrica, tendo em vista o aumento recorrente da tarifa de energia e o potencial de geração fotovoltaica da localidade. Desta forma, busca-se aproveitar o potencial energético e, com os resultados financeiros obtidos, investir em outras áreas de extrema importância da universidade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 *Objetivo Geral*

Realizar a análise econômico-financeira da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica no bloco do Instituto de Biociências da Universidade Federal de Mato

Grosso do Sul. Além disso, o presente trabalho visa ser utilizado como referência para o projeto e a instalação de outros sistemas, de maneira modular, com o intuito de suprir o consumo de energia elétrica da universidade.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Análise técnica do funcionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica;
- Análise do potencial energético do local de instalação;
- Dimensionamento do sistema, com o máximo aproveitamento dentro da microgeração;
- Avaliação da viabilidade técnica e financeira do sistema.

1.2.3 *Divisão do Trabalho*

O presente capítulo apresenta o objetivo do trabalho, suas premissas e sua organização.

O capítulo 2 apresenta uma abordagem ampla da utilização de energia fotovoltaica no mundo e, em sequência, mostra as matrizes brasileiras e a importância da energia solar no contexto brasileiro. Além disso, aborda as normas brasileiras, os modelos de tarifação e as topologias dos sistemas fotovoltaicos.

O capítulo 3 trata das referências teóricas, trazendo toda o conhecimento básico necessário para a compreensão de um sistema fotovoltaico.

O capítulo 4 se refere aos cálculos para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, discriminando as equações que serão utilizadas no presente trabalho.

O capítulo 5 apresenta a metodologia aplicada, exibindo os resultados dos cálculos do dimensionamento do sistema e os resultados obtidos.

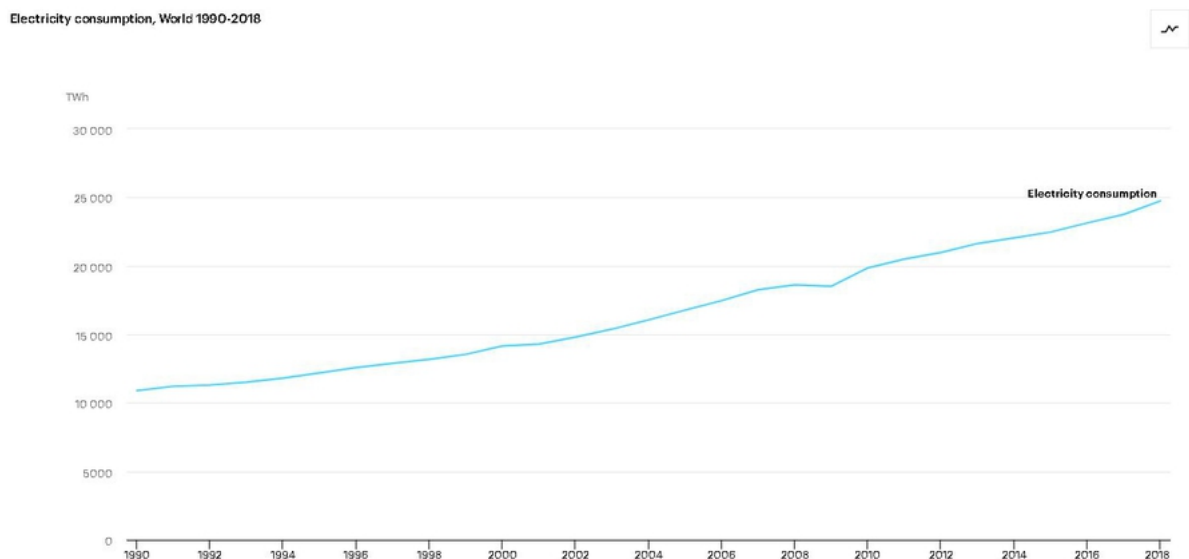
E por fim, o capítulo 6 refere-se à conclusão do projeto fotovoltaico desenvolvido para o Instituto de Biociências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

2 ENERGIA ELÉTRICA

2.1 FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA

A partir do século XIX as descobertas relacionadas a eletricidade e suas possíveis aplicações, realizadas por Alessandro Volta, André-Marie Ampère, Michael Faraday e Thomas Edison, deram início a segunda etapa da Revolução Industrial, onde a energia elétrica se tornou imprescindível ao desenvolvimento. Desde então, o desenvolvimento de máquinas, equipamentos e tecnologias associadas a eletricidade tem criado uma grande demanda para a geração de energia elétrica, como pode ser visto na Figura 1, através do aumento do consumo mundial de eletricidade (BURATTINI, 2008).

Figura 1 – Consumo mundial de eletricidade de 1990 a 2018.

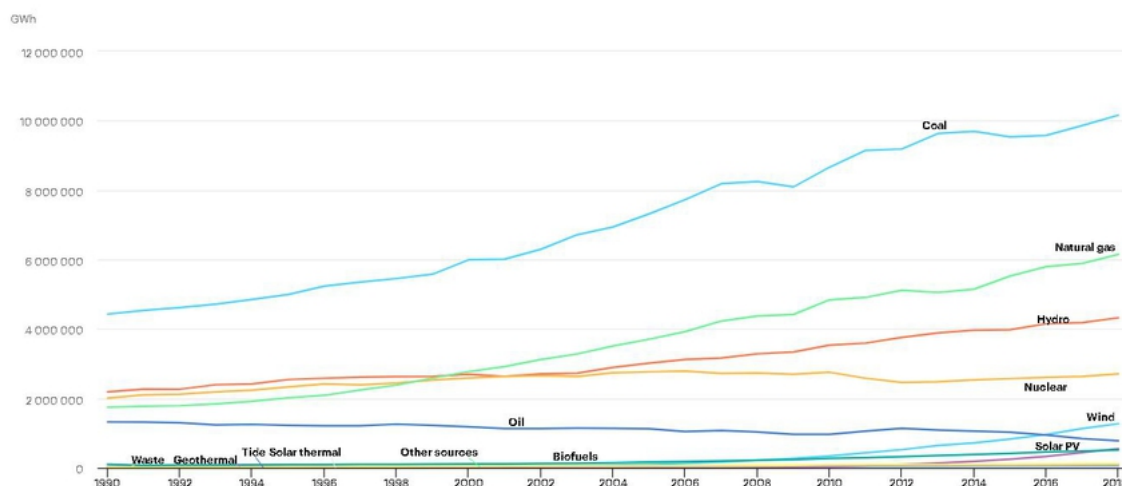


Fonte: Agência Internacional de Energia (IEA - International Energy Agency)

Desde a revolução industrial as principais fontes geradoras de energia elétrica do mundo são as usinas termoeletricas (Figura 2), onde o combustível mais usado é o carvão mineral. Essas usinas utilizam o calor proveniente da queima do carvão para a geração de eletricidade. Deste modo, o seu impacto ambiental é gigantesco, devido tanto ao processo de extração do carvão, quanto ao seu processo de combustão, que resulta na emissão de gases poluentes na atmosfera (BURATTINI, 2008).

Figura 2 – Principais fontes geradoras de eletricidade do mundo de 1990 a 2018.

Electricity generation by source, World 1990-2018



Fonte: Agência Internacional de Energia (IEA - International Energy Agency)

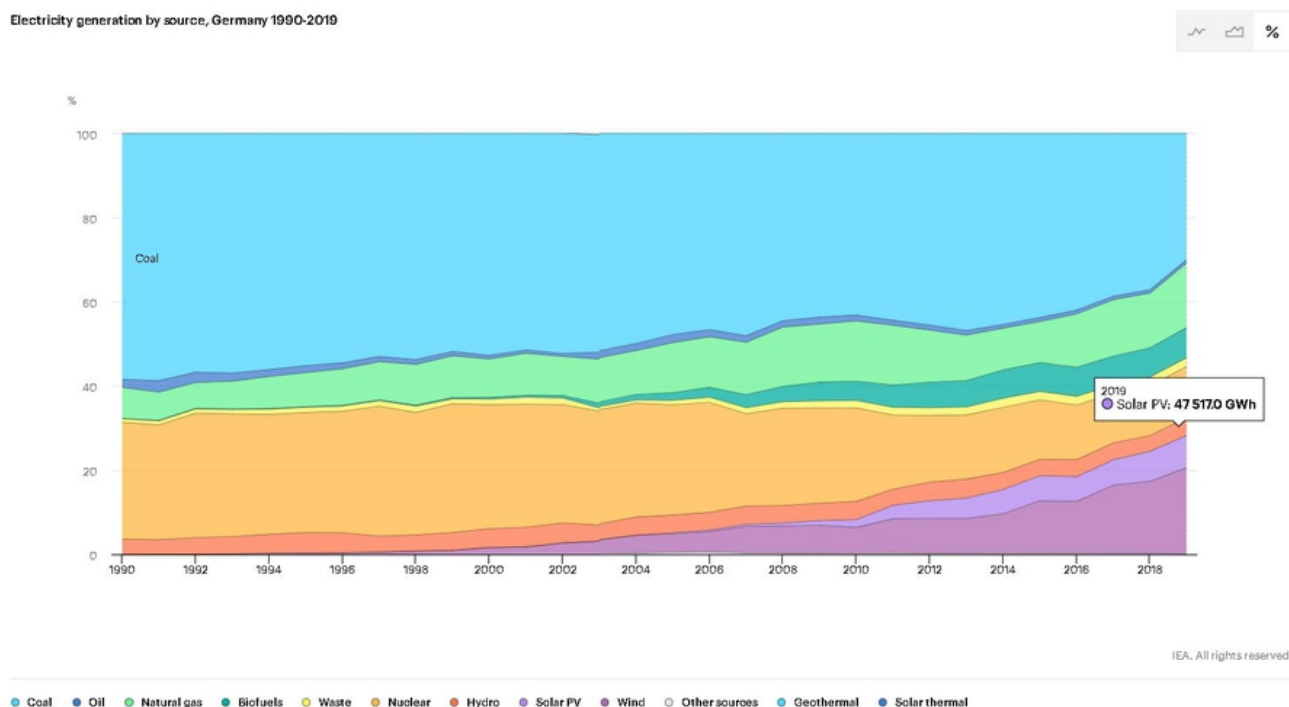
Além dos seus impactos socioambientais, o carvão mineral também é uma fonte finita de energia. Estima-se que as reservas mundiais de carvão possuem quantidade para atender a produção atual por somente 130 anos (SERVICO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2014).

No fim do século XX e início do século XXI, diversas reuniões entre líderes mundiais foram realizadas e políticas foram incentivadas e aplicadas, para tratar das consequências ambientais das utilizações de combustíveis fósseis. Dentre essas medidas, o Protocolo de Kyoto foi um dos principais responsáveis pelo desenvolvimento de outras fontes de energia, pois, estabeleceu que os países desenvolvidos deveriam promover pesquisas e desenvolvimento de fontes renováveis de energia (UNITED NATIONS, 1997).

Após o estabelecimento do protocolo, alguns países se destacaram em suas políticas energéticas, como é o caso da Alemanha, que, em 2010, deu início ao seu programa de transição energética, chamado *Energiewende*. Este plano consiste em transformar, até 2050, o sistema energético alemão em um sistema mais eficiente e totalmente suprido de fontes renováveis de energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021).

Pode-se notar que o plano alemão vem obtendo bastante sucesso, pois, como pode ser visto na Figura 3, a utilização de termoeletricas à base de carvão vem diminuindo desde 1990, dando lugar às fontes renováveis de energia. É possível visualizar o avanço da geração fotovoltaica, que em 2019 foi responsável por 47.517 GWh (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021).

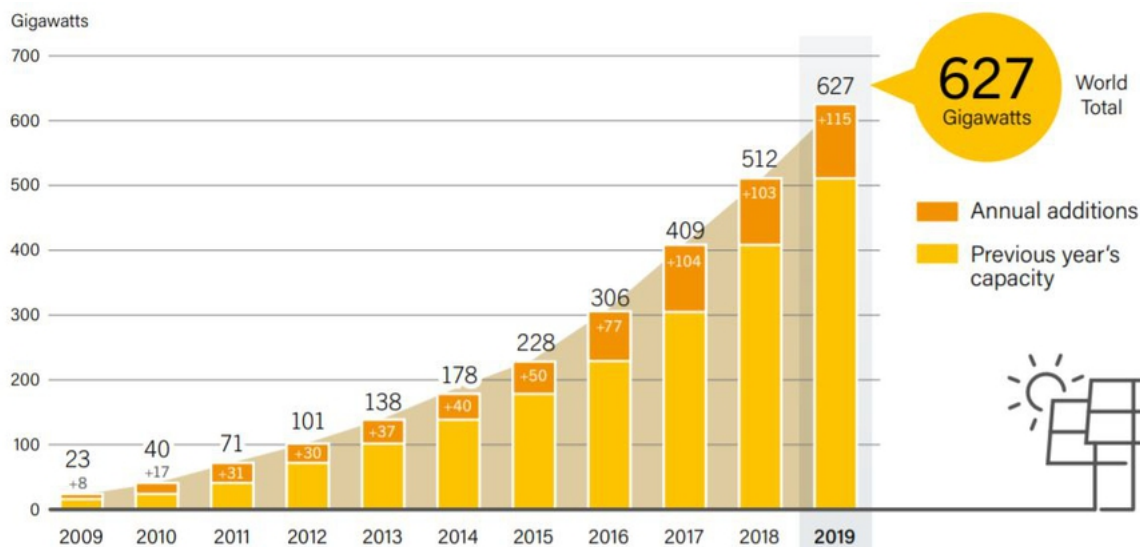
Figura 3 – Contribuição de cada fonte geradora de energia elétrica na Alemanha



Fonte: International Energy Agency

Assim como a Alemanha, o mundo todo está investindo em geração de energia fotovoltaica. A capacidade de geração mundial passou de 23 Gigawatts em 2009 para 627 Gigawatts em 2019, conforme pode ser visto na Fig. 4. Este dado comprova importância e a relevância dos investimentos em energia solar fotovoltaica (REN21, 2020).

Figura 4 – Capacidade mundial de geração de energia fotovoltaica



Fonte: Renewables 2020 Global Status Report

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é gerada através da conversão direta de luz em energia elétrica e, conforme escreveu (RÜTHER, 2004):

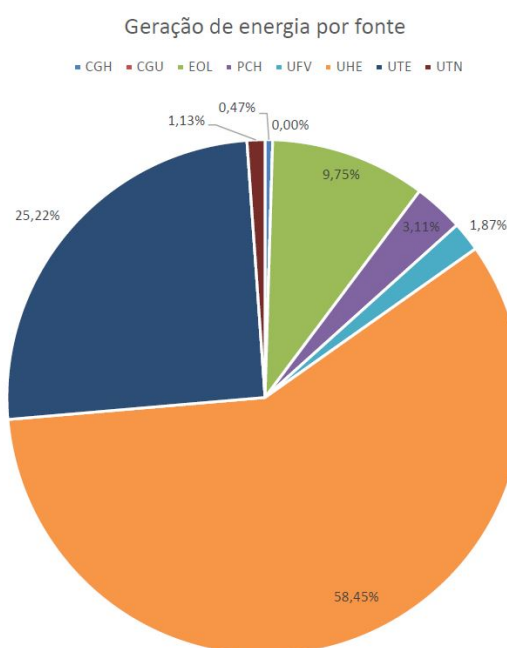
Diariamente incide sobre a superfície da terra mais energia vinda do sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta em todo um ano. Dentre as diversas aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico se apresenta como uma das mais elegantes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

A energia solar fotovoltaica se apresenta como uma solução para a geração de energia elétrica de maneira limpa e eficaz, pois, é renovável e permite que a geração seja feita no local do consumo. Deste modo, a energia proveniente do sol pode ser aproveitada em qualquer local em que ela chegue.

2.3 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Devido às suas características geográficas, o Brasil sempre teve sua matriz energética composta majoritariamente pela geração hídrica. Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a geração hídrica, que corresponde a soma das Usinas Hidrelétricas (UHE), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) são responsáveis por 62,03% da geração. O gráfico abaixo mostra a divisão da matriz energética brasileira por tipo (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA -- ANEEL, 2021).

Figura 5 – Geração de energia por fonte (2020)



Fonte: ANEEL (2020)

A geração hidrelétrica no Brasil é tão significativa que em 2008 foi quase suficiente para suprir a demanda da população (DP), chegando em 95,6% da mesma. Apesar de ser uma fonte limpa de energia, as hidrelétricas podem sofrer diminuição significativa em sua geração, devido a períodos intensos de estiagem, como ocorreu entre os anos de 2011 a 2015 e pode ser visto na Tabela 2 (NOGUEIRA; ALARCÓN, 2019).

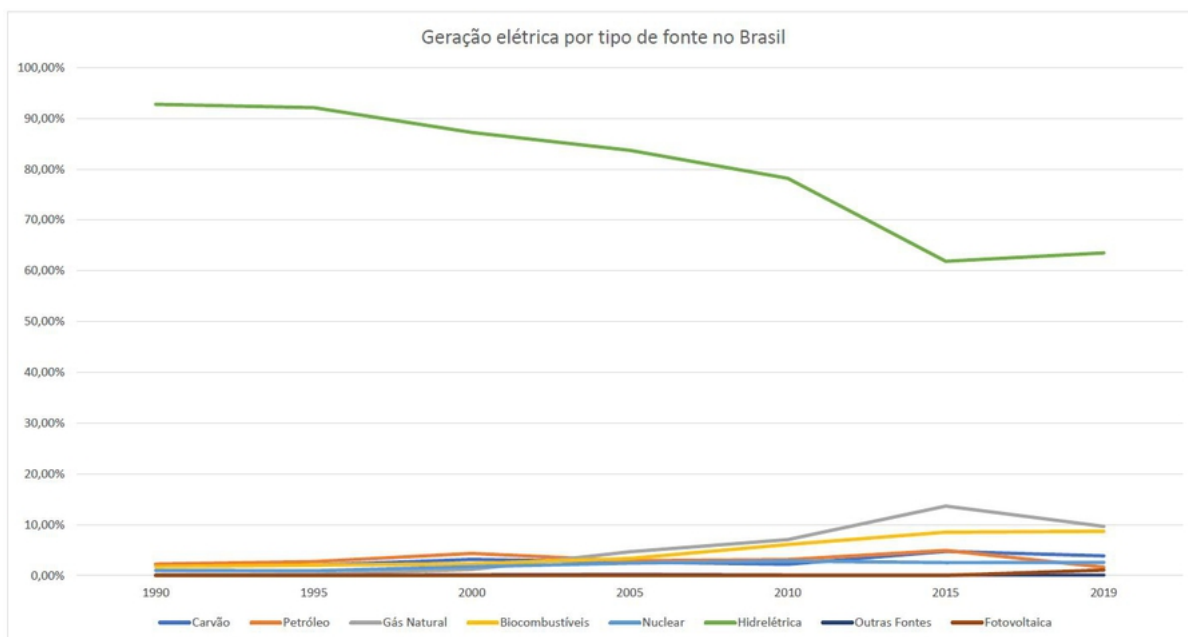
Tabela 1 – Energia anual gerada pelas hidrelétricas e demanda da população, em GWh.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Hidro (GWh)	369.556	390.998	403.290	428.333	415.342	390.992	373.439	359.743	380.911
Total DP (GWh)	412.012	409.150	442.803	454.726	474.470	484.673	496.510	484.922	480.361
% Hidro	89,7	95,6	91,1	94,2	87,5	80,7	75,2	74,2	79,3

Fonte: BEN-EPE (2017).

A estiagem diminui o volume dos reservatórios das usinas, forçando a redução do fluxo nas turbinas, causando, em alguns casos, o desligamento de usinas inteiras. Este problema vem sendo minimizado com a inserção de fontes alternativas de energia na matriz energética brasileira, incentivado pelo governo brasileiro através do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas, criado em 2002. O efeito deste programa é notado, principalmente nos últimos 10 anos, com o aumento da geração através de fontes alternativas, e a diminuição da participação da geração hidrelétrica na matriz brasileira. Este aumento pode ser visualizado na Figura 6 (IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2020; PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 26 DE ABRIL DE 2002).

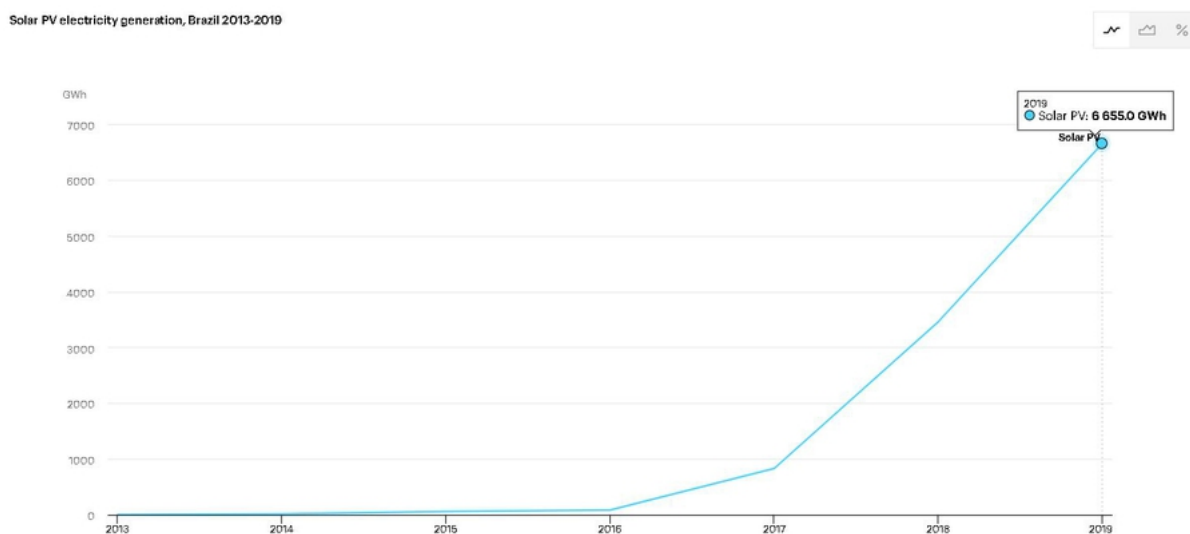
Figura 6 – Participação porcentual de cada das fontes de geração na matriz elétrica brasileira, 1990 a 2019.



Fonte: IEA - International Energy Agency

Apesar de o programa ter sido criado em 2002, os sistemas fotovoltaicos não estavam inclusos em suas diretrizes. Foi só em 2014 que a geração solar foi incluída, com o primeiro leilão que contemplava iniciativas com geração fotovoltaica. Desde então, o cenário fotovoltaico brasileiro vem se destacando, com aumento de 192% de capacidade de geração entre 2018 e 2019.

Figura 7 – Geração de energia solar fotovoltaica no Brasil de 2013 a 2019.



Fonte: IEA - International Energy Agency

2.4 NORMAS E REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA

Em 2012 foi aprovada a resolução normativa 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica, que regulamentou a geração de energia elétrica através de fontes renováveis. Essa resolução foi um marco regulatório para a geração fotovoltaica no Brasil, pois, estabeleceu que qualquer cidadão ou empresa brasileira pode ter em seu telhado uma usina fotovoltaica e, assim, gerar a sua própria energia. Além de estabelecer os critérios de microgeração e minigeração de energia elétrica, a resolução também descreveu o sistema de compensação de energia, onde a energia ativa injetada por uma unidade consumidora é cedida para a empresa distribuidora e deve ser compensada em forma de créditos de energia (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA -- ANEEL, 24 DE NOVEMBRO DE 2015).

Em 2015 a resolução 482 foi alterada, através da resolução 687. Esta resolução foi primordial para o avanço do mercado fotovoltaico, pois, complementou a sua antecessora. As principais alterações da resolução foram em relação à potência limite para microgeração, que passou de 100 kW para 75 kW; a potência limite de minigeração, que passou de 3 MW para 5 MW; a regulamentação do autoconsumo remoto, da geração compartilhada e do empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA -- ANEEL, 24 DE NOVEMBRO DE 2015).

Para que um sistema fotovoltaico seja conectado com a rede de distribuição de energia elétrica, são necessários que algumas proteções estejam implementadas em seus equipamentos. Estas proteções e os protocolos necessários estão descritos nas normas técnicas: ABNT NBR IEC 62116 “Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica”; ABNT NBR 16149 “Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição - Procedimento de ensaio de conformidade”; ABNT NBR 16274 “Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho” (VILLALVA, 2015).

2.4.1 Sistemas de Tarifação

Atualmente os sistemas de tarifação utilizados no Brasil para a geração fotovoltaica são:

- *Net metering*: É o sistema utilizado pelos consumidores com micro e minigeração, onde é medido o consumo ou injeção líquida na rede da concessionária. Deste modo, quando a energia injetada for maior que a consumida o consumidor estará gerando créditos com a concessionária que podem ser abatidos em outras unidades consumidoras ou no período onde o sistema não está gerando. Essa medição é feita através de um medidor bidirecional na entrada de energia da localidade (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA -- ANEEL, 24 DE NOVEMBRO DE 2015).

- Venda de energia no Mercado Livre: O mercado livre é um ambiente de negociação de energia elétrica, onde os participantes podem negociar as condições comerciais da compra e venda da mesma. Porém, somente os Consumidores Livres e Consumidores Especiais podem negociar a compra dessa energia. O Consumidor Livre é aquele que tem a demanda contratada maior ou igual a 3.000 kW, já o Consumidor Especial é o conjunto de unidades consumidoras em uma mesma área cuja a soma das demandas seja superior a 500 kW (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA -- ANEEL, 24 DE NOVEMBRO DE 2015).

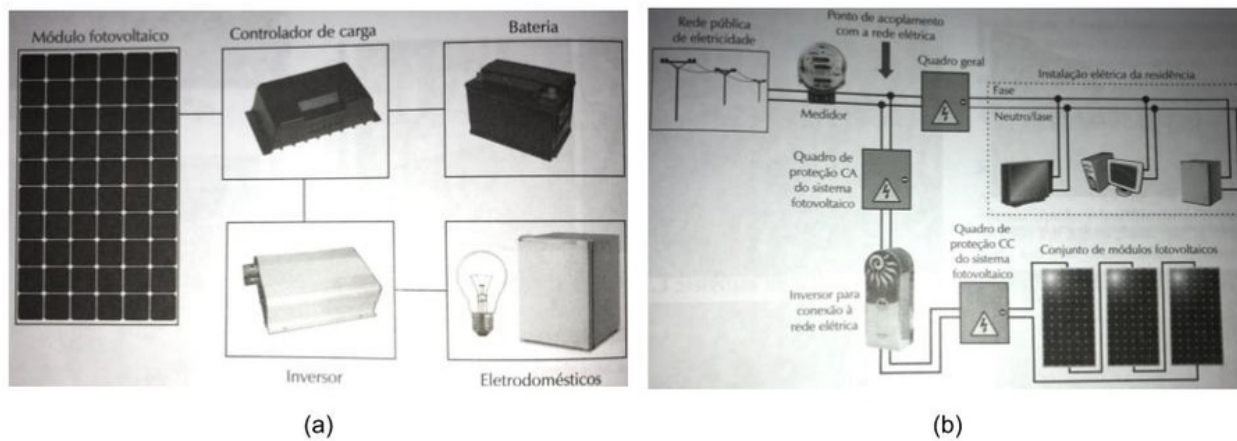
Além destes dois tipos de tarifação, também existe o *Feed-In Tariff*. Esse sistema é utilizado em alguns países da Europa como forma de incentivo à geração através de fontes renováveis. Neste modelo, ao invés de receber em crédito, o proprietário do sistema recebe em dinheiro e o valor recebido é maior que o valor da tarifa (DALVI; OLIVEIRA FILHO; RODRIGUES, 2017).

2.5 TOPOLOGIAS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em duas categorias, são elas:

- Sistemas Fotovoltaicos Autônomos (*Off-grid*): São sistemas não conectados à rede de distribuição. Esses sistemas são utilizados em locais onde não há disponibilidade da rede elétrica da concessionária, podendo ser uma zona rural, na praia, região sazonalmente alagada, entre outras. O sistema off-grid também é utilizado para aplicações específicas, como a iluminação pública, alimentação de motores para bombeamento de água, carregamento de veículos elétricos e qualquer aplicação onde se possa ter o sol como fonte de energia. Esses sistemas necessitam de, além dos módulos, inversores específicos para essa aplicação, controladores de carga e um banco de baterias dimensionado especificamente para cada aplicação (VILLALVA, 2015).
- Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (*On-Grid*): Os sistemas *on-grid* são aqueles que tem a sua geração associada à rede elétrica. Isto é, são utilizados para a geração local da energia com o intuito de diminuir o consumo vindo da concessionária e, deste modo, diminuir as perdas e custos da transmissão e distribuição de energia. Esses sistemas são compostos de módulos fotovoltaicos, inversores com proteção anti-ilhamento e as suas devidas proteções, tanto de corrente contínua, quanto de corrente alternada (ZILLES et al., 2012).

Abaixo, na Figura 8, encontram-se as topologias básicas de um Sistema *Off-grid* (Figura 8a) e um Sistema *On-grid* (Figura 8b):

Figura 8 – Topologias básicas de um sistema *off-grid* (a) e um sistema *on-grid* (b).

Fonte: Villalva (2015)

3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

3.1 O EFEITO FOTOVOLTAICO

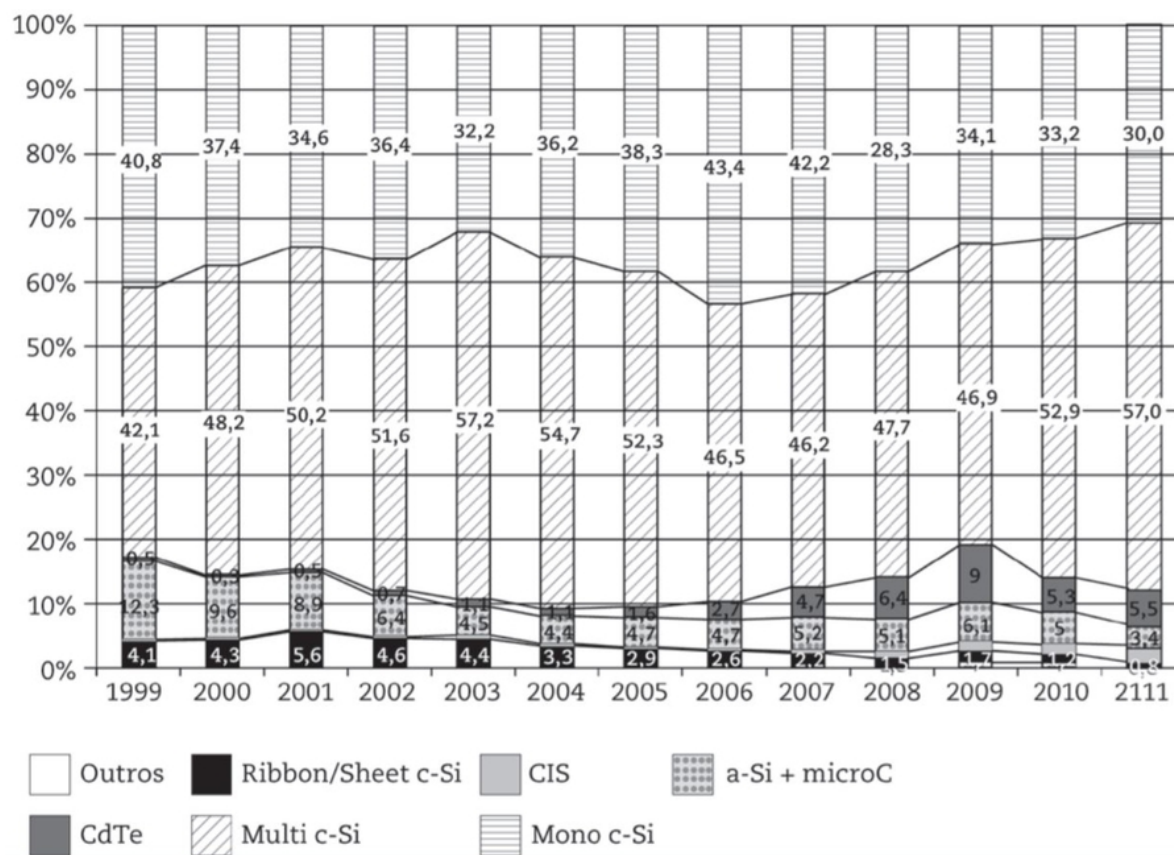
O efeito fotovoltaico é uma característica presente em elementos de conversão fotovoltaica, que transformam a energia contida na radiação luminosa em energia elétrica. Essa característica foi descoberta no século XIX pelo físico francês Edmond Becquerel, que notou que a condutividade de uma solução de um eletrólito com eletrodos de metal era aumentada na presença de luz. Apesar de sua descoberta, a descrição do fenômeno fotovoltaico só foi possível após o desenvolvimento da teoria da mecânica quântica, em meados de 1905, quando Albert Einstein postulou seu artigo “Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz” (ZILLES et al., 2012).

A conversão fotovoltaica acontece em materiais semicondutores, que são capazes de transferir a energia absorvida da radiação solar para os elétrons, gerando pares de portadores de carga. Esse fenômeno cria uma polarização entre elétrons e lacunas que é rapidamente transformada em calor, impedindo assim a sua utilização como energia. Para que a conversão em energia elétrica seja realmente realizada, é necessária a aplicação de um campo elétrico, de modo a separar os elétrons e lacunas. Para isso, há a necessidade de tratar o material para que ele possa desempenhar o papel de um dispositivo fotovoltaico eficaz. Este processo é chamado de *dopagem* do semicondutor (LUQUE; HEGEDUS, 2003).

O processo de dopagem consiste na adição de impurezas para criar uma camada conhecida como região de depleção. Essa região serve como uma barreira, garantindo que os elétrons se mantenham em uma superfície do módulo, enquanto as lacunas ficam do outro. Então, nas condições de ausência de luz e de tensão externa, é gerado um equilíbrio dinâmico interno, impossibilitando a reação entre os pares (PINHO; GALDINO, 2014).

Após a dopagem, os semicondutores são montados em diferentes topologias, de maneira a aproveitar melhor as suas características, tendo como resultado as células fotovoltaicas. Atualmente as células fotovoltaicas mais utilizadas são de silício, podendo ser na forma de silício monocristalino, policristalino ou amorfo, como é mostrado na Figura 9 (HERING, 2012).

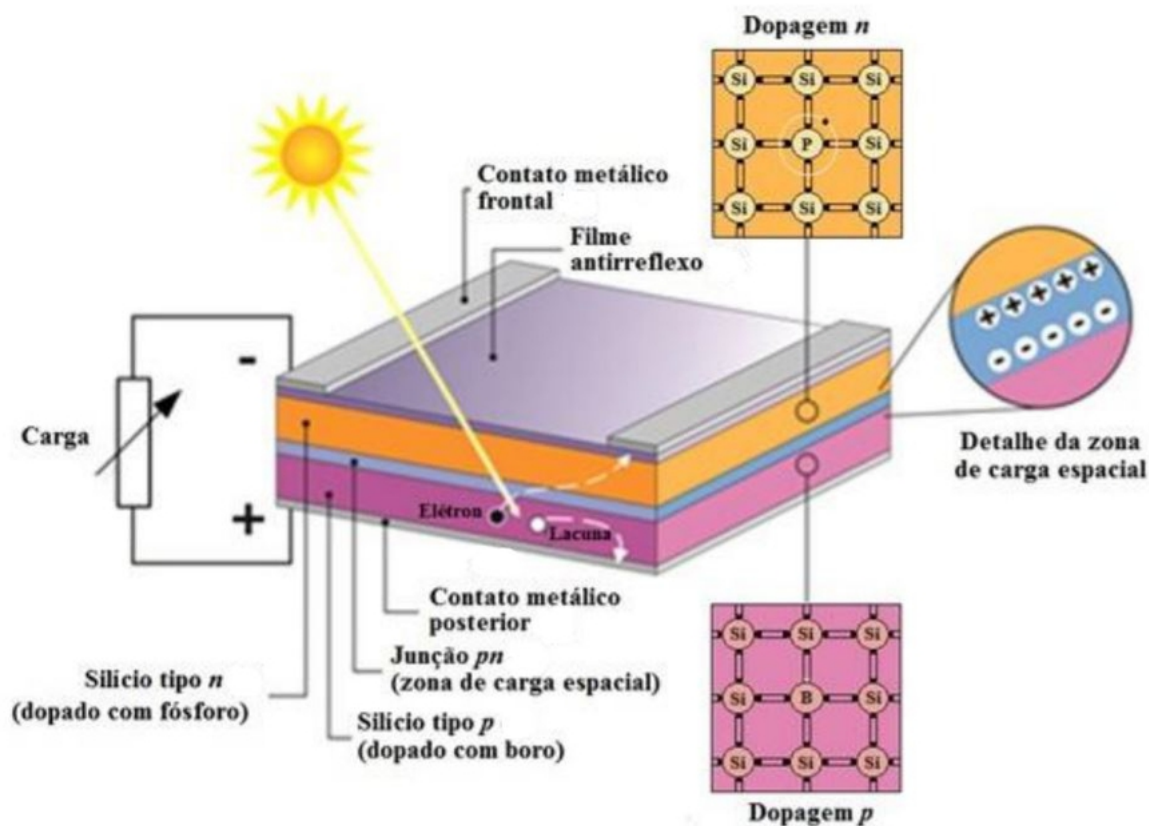
Figura 9 – Utilização mundial das diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos



Fonte: Hering (2011)

Quando o semicondutor é iluminado, ocorre a fotogeração de pares elétrons-lacuna no interior da célula. Esses pares são então separados e conduzidos até as suas respectivas extremidades. O processo descrito pode ser visualizado na Figura 10. Quando as extremidades metálicas da célula são conectadas a uma carga, a corrente elétrica é gerada e o processo de conversão fotovoltaica ocorre (LUQUE; HEGEDUS, 2003).

Figura 10 – Estrutura de uma célula fotovoltaica e o processo de fotogeração



Fonte: Galdino (2014)

3.2 COMPONENTES DE UM SFCR

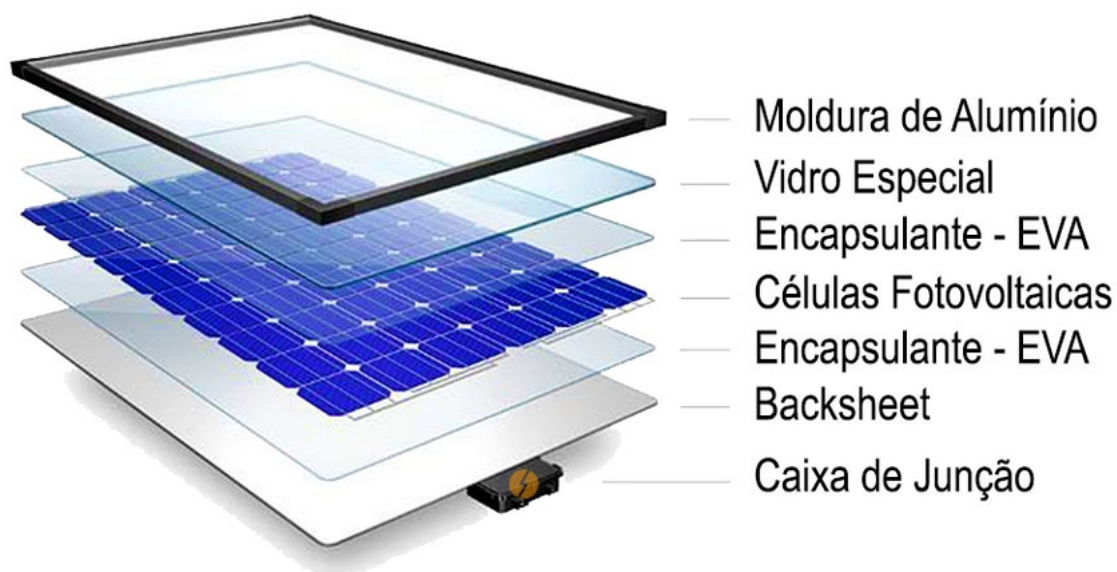
3.2.1 Módulos fotovoltaicos

Segundo Pinho e Galdino (2014):

Um módulo fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas conectadas em arranjos para produzir tensão e corrente suficientes para a utilização prática da energia [...] Assim, para se obterem níveis de tensão adequados, as células são conectadas em série, produzindo uma tensão resultante equivalente à soma das tensões individuais de cada célula.

Os módulos fotovoltaicos são a parte do sistema responsável pela conversão da energia solar em energia elétrica. Como descrito previamente, os módulos são compostos de células fotovoltaicas, essas células são encapsuladas e protegidas com vidro e uma moldura em alumínio, como pode ser visto na Figura 10. Na parte traseira do módulo se encontra a caixa de junção, onde estão os componentes elétricos, diodos de by-pass, que garantem o funcionamento correto do módulo. Além disso, também se encontram na caixa de junção, os conectores para a ligação elétrica dos módulos.

Figura 11 – Partes constituintes de um módulo fotovoltaico



Fonte: Portal Solar

Segundo RÜTHER (2004):

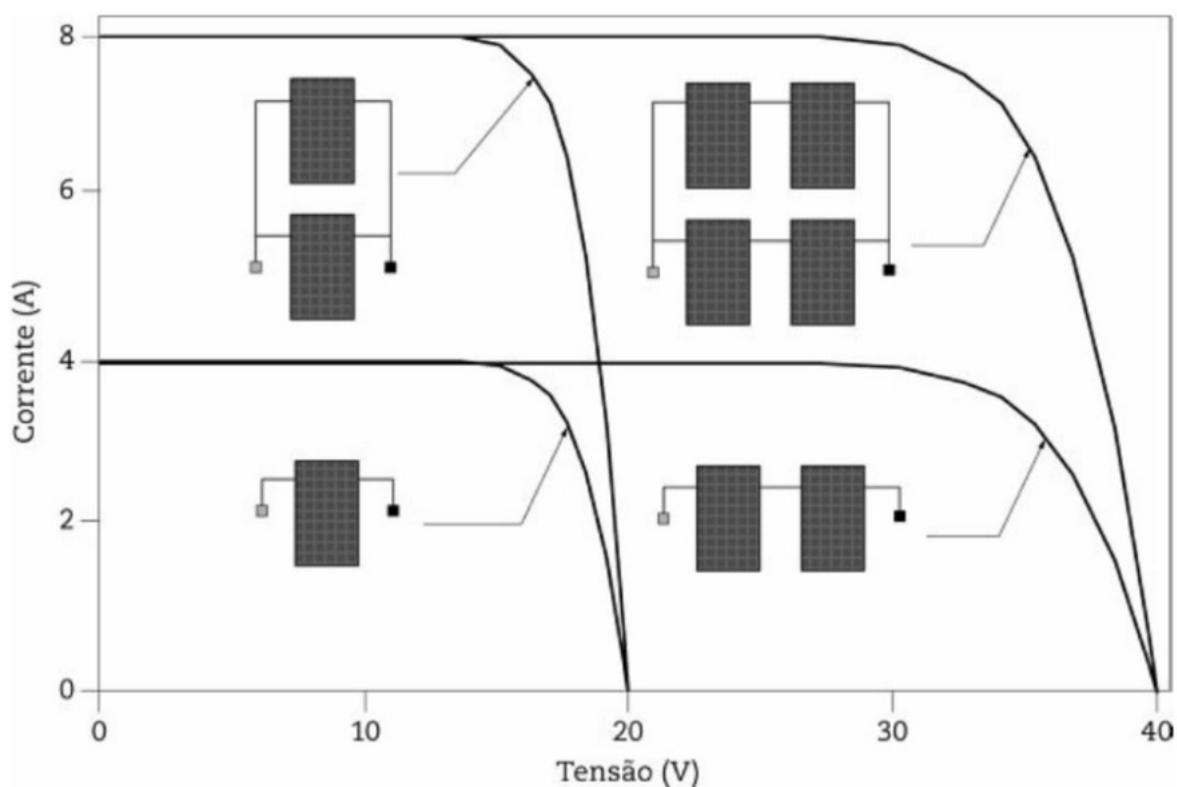
[...] o módulo solar fotovoltaico é a célula básica do sistema gerador. A quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação do sistema em CC. A corrente do gerador solar é definida pela conexão em paralelo de painéis individuais ou de strings (conjunto de módulos conectados em série). A potência instalada, normalmente especificada em CC, é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais.

3.2.1.1 Arranjos de módulos fotovoltaicos

Uma topologia para sistemas fotovoltaicos conectados à rede se baseia na utilização de associações em série e/ou paralelo de módulos fotovoltaicos conectados a um inversor central. Essas associações são chamadas de *strings* e são utilizadas para alcançar a tensão de operação dos inversores e aumentar a capacidade de corrente do gerador (SOUZA, 2016).

As associações de módulos em série gera uma tensão com valor igual à soma dos valores de tensão unitária de cada módulo. Já as associações em paralelo geram uma corrente que é a soma do valor unitário da corrente que circula em cada *string*, no caso, o valor unitário do módulo. Essas relações são exemplificadas na curva de corrente (I) x tensão (V) na Figura 12 (ZILLES et al., 2012).

Figura 12 – Associações de módulos fotovoltaicos e curva I x V

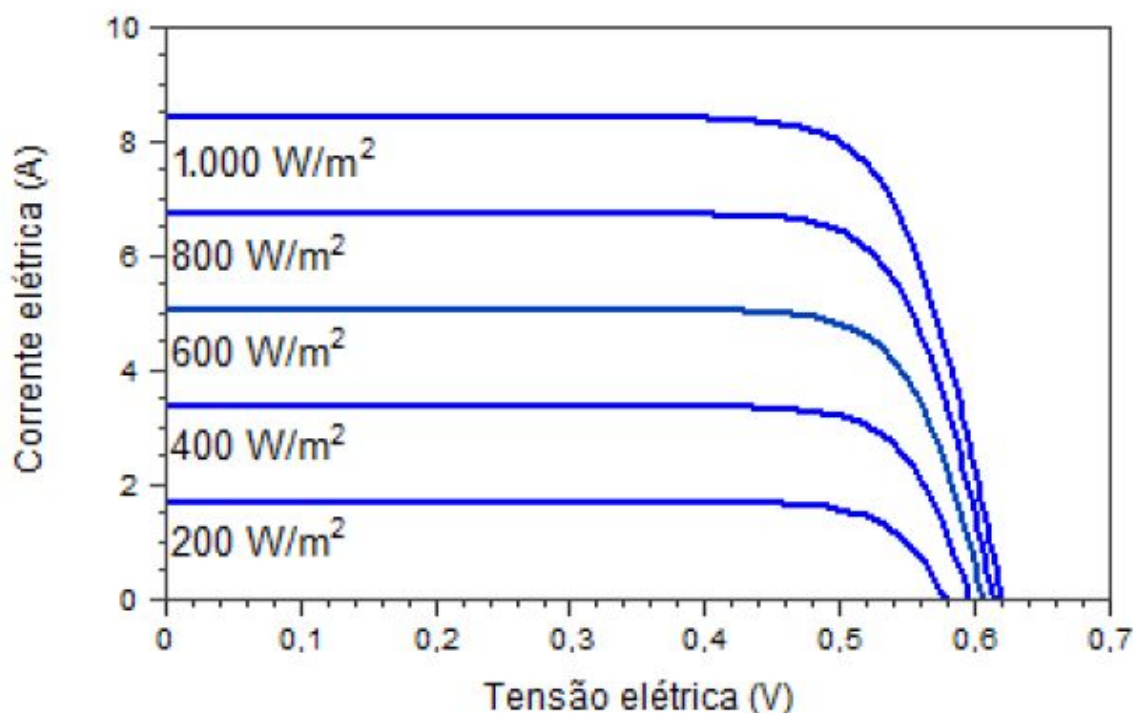


Fonte: Zilles (2012)

3.2.1.2 Sombreamento e diodos de proteção

A corrente elétrica produzida nos módulos é diretamente proporcional a radiação solar, deste modo, qualquer alteração na irradiância do ambiente produz alterações na corrente gerada no módulo, como pode ser visto na Figura13 (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 13 – Influência da irradiância na geração da corrente

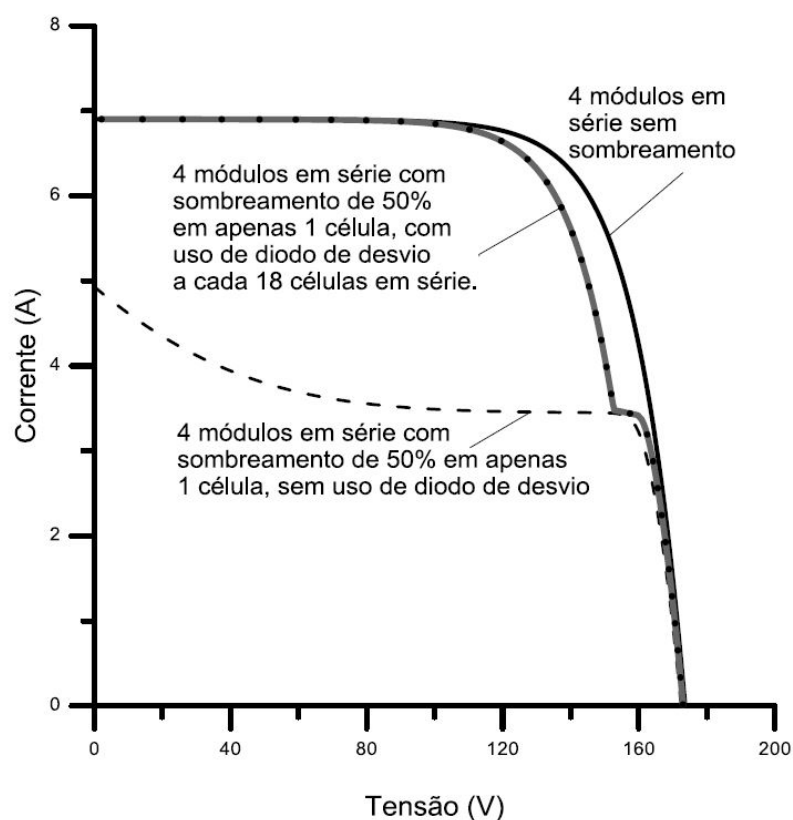


Fonte: Galdino (2014)

Conforme apresentado previamente, os módulos fotovoltaicos são compostos por células fotovoltaicas dispostas em combinações em série e/ou paralelo. Deste modo, caso uma célula fotovoltaica de um módulo esteja sofrendo sombreamento, ela poderá atuar como carga, dissipando calor e se tornando um ponto quente (*hot-spot*), que danificará o módulo permanentemente. Esse problema é solucionado utilizando diodos de *by-pass*, que oferecem um caminho alternativo para a passagem de corrente, limitando a dissipação de energia nas células sombreadas (SOUZA, 2016).

Além da geração de *hot-spots* o sombreamento em um módulo fotovoltaico diminui a capacidade de geração de toda a string em que ele estiver conectado, diminuindo a eficácia do sistema, como pode ser visto na Figura 14. Este problema pode ser solucionado utilizando outras técnicas de conexão, como a utilização de micro-inversores ou a tecnologia de Eletrônica de Potência ao Nível de Módulo, o MLPE (Module-Level Power Electronics).

Figura 14 – Efeito do sombreamento em 01 célula na curva I x V de uma string com 04 módulos fotovoltaicos.



Fonte: Galdino (2014)

3.2.2 Inversor

O inversor é o dispositivo eletrônico responsável pela conversão da corrente contínua (c.c.) em corrente alternada (c.a.). Em Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR), o principal papel do inversor é a injeção de energia na rede, que deve ser feita de acordo com os padrões de tensão, frequência e distorção harmônica. Para isso, os inversores são equipados com dispositivos de proteção e controle, que garantem a qualidade da energia entregue na conexão com a rede (RÜTHER, 2004).

No Brasil os requisitos que devem ser cumpridos pelos inversores em SFCRs estão descritos na norma ABNT NBR 16149 e complementados com os ensaios das normas ABNT NBR 16150 e ABNT NBR IEC 62116. Essas normas e ensaios trazem como principais parâmetros para os inversores as faixas de variação de tensão no ponto de conexão, faixas de variação da frequência, faixa de tolerância para a injeção de corrente contínua, taxa máxima de distorção de harmônicos e proteção contra ilhamento (ABNT, 2012; ABNT, 2013b; ABNT, 2013a).

Além das funções citadas acima, outra função muito importante dos inversores é o Seguimento do Ponto de Máxima Potência (SPPM). Esta função é um controle eletrônico

implementado no inversor que rastreia o ponto em que a geração de energia de uma *string* atinge seu valor máximo, deste modo, o sistema estará sempre trabalhando de maneira eficiente (PINHO; GALDINO, 2014).

3.2.3 Proteções

Além das proteções internas estabelecidas nas normas previamente citadas, os sistemas fotovoltaicos necessitam de dispositivos de proteção externas, tanto para a parte em corrente contínua (CC), quanto para a parte em corrente alternada (CA). As proteções do lado de CA devem atender aos requisitos da ABNT NBR 5410, deste modo, os cabos de ligação do inversor devem ser protegidos por um disjuntor, coordenado com a corrente máxima do inversor. As proteções do lado de CC devem permitir a desconexão do sistema, impedir a sobrecarga nos cabos de interligação dos painéis com o inversor e atender aos requisitos do módulo 3 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional). As proteções em c.c. podem estar incorporadas ao inversor, sem necessidade de redundância, ou podem estar em uma caixa de proteção conhecida como *string-box*. Tanto no lado em CC quanto em CA devem existir dispositivos de proteção contra surtos, dimensionados de acordo com as características específicas do local de instalação (ABNT, 2004; ANEEL, 2017).

3.3 SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS A EDIFICAÇÕES

Uma das grandes vantagens da geração distribuída é o consumo no local da geração, pois, elimina as perdas na distribuição e na transmissão de energia. Deste modo, a integração do sistema fotovoltaico à arquitetura dos edifícios se torna extremamente importante para a preservação dos aspectos construtivos da edificação e do seu entorno (ZOMER, 2014).

Michael, Bougiatioti e Oikonomou (2010), classifica os sistemas integrados a edificações em três tipos: sistemas fotovoltaicos integrados a fachadas, sistemas fotovoltaicos integrados a cobertura e sistemas fotovoltaicos em espaços abertos. Dentre as três classificações, a integração a cobertura traz grandes vantagens, pois, utiliza um espaço subutilizado que, na maioria das vezes, não tem função habitacional ou de circulação para trazer eficiência energética e sustentabilidade, sem interferir ou descaracterizar a arquitetura do local.

A utilização do telhado como principal meio integrador da arquitetura, pode ser constatado através dos dados de geração distribuída, disponibilizados no site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Os dados mostram que as instalações residenciais com geração na própria UC (Unidade Consumidora) tiveram um aumento de, aproximadamente, 233% em 2019, sendo a modalidade com maior número de unidades geradoras e

potência instalada, como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 – Dados da geração distribuída, classificada por modalidade de geração no Brasil em 2020.

< Voltar ao relatório MODALIDADE DE GERAÇÃO			
MODALIDADE	QTD GD	UCs REC CRÉDITOS	POT INSTALADA (kW)
Geracao na propria UC	284.180	284.180	3.269.148,26
Autoconsumo remoto	45.958	125.242	715.578,49
Geracao compartilhada	683	2.283	25.200,77
Multiplas UC	189	703	4.534,95
Total	331.010	412.408	4.014.462,47

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica

4 DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA

4.1 QUANTIDADE DE PAINÉIS E POTÊNCIA DO SISTEMA

Um sistema fotovoltaico pode ser dimensionado de maneiras distintas: seja pela energia que se deseja gerar, pela potência que se deseja obter, ou, como é o caso do presente trabalho, pela limitação da área de instalação. Utilizando este último critério para o dimensionamento do sistema, faz-se necessário saber a quantidade máxima de painéis que poderão ser instalados. Esta quantidade pode ser calculada pela Equação 4.1.

$$N_p = \frac{A_d}{((L_p + 0,03) * C_p)} \quad (4.1)$$

Em que:

N_p - Número de painéis.

A_d - Área útil disponível para a instalação [m²].

L_p - Largura dos painéis [m].

C_p - Comprimento dos painéis [m].

A potência pico do sistema, isto é, a potência máxima que os módulos podem fornecer na condição padronizada de teste (STC - *Standard Test Conditions*), é dada pela Equação 4.2 (VILLALVA, 2015).

$$P_p = \frac{N_p * P_i}{1000} \quad (4.2)$$

Em que:

P_p - Potência pico do sistema [kWp].

N_p - Número de painéis.

P_i - Potência pico dos módulos [Wp].

4.2 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Segundo ZILLES et al. (2012), o Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI) é dado pela razão entre a potência nominal do inversor (P_{inv}) e a potência pico do gerador fotovoltaico (P_p), como pode ser visto na Equação 4.3.

$$FDI = \frac{P_{inv}}{P_p} \quad (4.3)$$

Conforme análises feitas com dados de sistemas implantados, chegou-se a conclusão que os valores de FDI que garantem a melhor produtividade do sistema estão entre 0,8

e 1,2 (ZILLES et al., 2012). Deste modo, a potência do inversor é calculada pela Equação 4.4.

$$0,8 * P_p \leq P_{inv} \leq 1,2 * P_p \quad (4.4)$$

Em que:

P_p - Potência pico do sistema [kWp].

P_{inv} - Potência nominal do inversor [kW].

Além do dimensionamento da potência do inversor, deve-se analisar os parâmetros de entrada do mesmo, como a tensão máxima de entrada, tensão de operação, corrente de curto-circuito e corrente de operação. Estes parâmetros irão definir os arranjos das string (VILLALVA, 2015).

Para o cálculo da tensão máxima de uma string, deve-se considerar a sua tensão a vazio, pois, quando a insolação é mínima, o painel irá operar com tensão próxima àquela de circuito aberto. O cálculo é dado pela Equação 4.5.

$$V_{max_{inv}} = N_{p_s} * V_{oc_p} \quad (4.5)$$

Em que:

$V_{max_{inv}}$ - Tensão máxima de entrada do inversor [V].

N_{p_s} - Número de painéis em série.

V_{oc_p} - Tensão de circuito aberto dos painéis [V].

O cálculo da tensão de operação é dado pela Equação 4.6.

$$V_{op_{inv}} = N_{p_s} * V_p \quad (4.6)$$

Em que:

$V_{op_{inv}}$ - Tensão nominal de operação de entrada do inversor [V].

N_{p_s} - Número de painéis em série.

V_p - Tensão no ponto de máxima potência dos painéis [V].

O dimensionamento do inversor deve ser feito de modo com que o mesmo seja capaz de suportar a corrente resultante do arranjo dimensionado. Assim, segundo Villalva (2015), a corrente nominal de operação do inversor é calculada pela Equação 4.7.

$$I_{op_{inv}} = N_{s_p} * I_p \quad (4.7)$$

Em que:

$I_{op_{inv}}$ - Corrente nominal de operação de entrada do inversor [A].

N_{s_p} - Número de strings em paralelo.

I_p - Corrente no ponto de máxima potência dos painéis [A].

Também deve-se atentar para a corrente de curto-circuito das strings, que é a maior corrente que os painéis poderão fornecer, sendo assim, o inversor deve ser dimensionado

de modo a suportá-la. A corrente de curto-circuito é dada pela Equação 4.8 (VILLALVA, 2015).

$$I_{max_{inv}} = N_{s_p} * I_{cc} \quad (4.8)$$

Em que:

$I_{max_{inv}}$ - Corrente máxima de entrada do inversor [A].

N_{s_p} - Número de strings em paralelo.

I_{cc} - Corrente de curto-circuito dos painéis [A].

4.3 CONDUTOR DE CORRENTE CONTÍNUA

Os condutores utilizados para a conexão na parte de corrente contínua devem suportar altas tensões, pois, dependendo da topologia utilizada as strings podem chegar a tensões acima de 800 V. Além disso, para as conexões feitas em locais expostos à radiação solar, devem-se usar cabos com proteção ultravioleta (UV). Para o dimensionamento da secção transversal dos cabos, deve-se usar o critério de capacidade de condução de corrente, onde os cabos devem conduzir, no mínimo, 25% acima da corrente de curto-circuito da string. O cálculo é feito conforme a Equação 4.9 (VILLALVA, 2015).

$$I_{CABOS} \geq 1,25 * I_{cc} \quad (4.9)$$

Em que:

I_{CABOS} - Corrente dos cabos da instalação em corrente contínua [A].

I_{cc} - Corrente de curto-circuito dos painéis [A].

Após a seleção do cabo, deve-se atentar para o critério de queda de tensão, queda esta, que deve ser, no máximo, entre 1% e 3%. Caso esta queda esteja acima destes valores, deve-se aumentar a secção do mesmo, de modo a adequá-lo aos valores corretos de queda de tensão (VILLALVA, 2015).

4.4 PROTEÇÕES EM CORRENTE CONTÍNUA

Atualmente, grande parte dos inversores disponíveis no mercado contam com as proteções de sobrecorrente e sobretensão, para a parte CC, instaladas internamente. Além disso, a norma da *International Electrotechnical Commission* (IEC), a IEC 60364, recomenda que em caso de até duas strings em paralelo, não há a necessidade de utilização de fusíveis para a proteção de sobrecorrente (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2005).

Caso o sistema não possua um inversor com as proteções integradas, ou tenha mais de duas strings em paralelo, a corrente dos fusíveis deve ser calculada de acordo com a

Equação 4.10 (VILLALVA, 2015).

$$I_r \geq I_f \geq 1,1 * I_{CC_{STC}} \quad (4.10)$$

Em que:

I_r - Corrente reversa [A].

I_f - Corrente do fusível [A].

$I_{CC_{STC}}$ - Corrente de curto-circuito dos painéis nas condições padrão de teste [A].

Para a proteção contra surtos de tensão devem ser utilizados Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS) de classe II, segundo a IEC 60364 (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2005). Estes dispositivos são responsáveis pelo redirecionamento dos raios para a terra, evitando que os mesmos danifiquem os equipamentos da instalação.

Caso a instalação possua muitas strings, faz-se necessária a utilização de string box para a alocação das proteções acima citadas e, também, para a conexão e seccionamento das strings. As string boxes normalmente são alocadas próximas ao inversor e devem ter grau de proteção mínimo IP54 (VILLALVA, 2015).

4.5 PROTEÇÕES EM CORRENTE ALTERNADA

A proteção do lado de corrente alternada do inversor deve ser feita de acordo com a NBR 5410, por se tratar de uma instalação elétrica de baixa tensão. O disjuntor utilizado deve ser compatível com a corrente nominal de saída do inversor e, deste modo, o cabo também deve atender esta corrente (ABNT, 2004).

4.6 ENERGIA GERADA

A energia gerada por um sistema fotovoltaico é calculada em função da quantidade de painéis, da potência dos painéis e da irradiação média mensal da localidade desejada. Além disso, deve-se considerar um Fator de Ajuste (F_a), que considera as perdas do sistema na produção, associadas ao calor, perdas no inversor, acúmulo de sujeira nos painéis e também, ao efeito joule nos cabos (VILLALVA, 2015).

Também deve-se atentar à inclinação e orientação dos módulos, pois, em cada localidade existe um ângulo de inclinação e uma orientação na qual a geração atinge o seu máximo (ZILLES et al., 2012). Isto posto, o cálculo da energia gerada diariamente é dado pela Equação 4.11.

$$E_d = \frac{N_p * P_i * M_d * F_a * F_{oi}}{1000} \quad (4.11)$$

Em que:

E_d - Energia gerada diária [kWh].

N_p - Número de painéis.

P_i - Potência pico dos painéis [Wp].

M_d - Média diária de energia do local [kWh/m².dia].

F_a - Fator de ajuste.

F_{oi} - Fator de ajuste para a orientação e inclinação.

4.7 INVESTIMENTO

Para além da questão socioambiental, a instalação de um sistema fotovoltaico também é um investimento financeiro e, deste modo, deve ser analisado como tal. Assim como todo investimento, o sistema a ser instalado necessita de um tempo para que consiga fornecer um retorno financeiro do aporte investido, esse tempo é chamado de tempo de *payback*. Segundo os dados fornecidos pela Greener, em seu último estudo de mercado, o tempo de *payback* para um sistema de 50 kWp é de aproximadamente 4 anos (GREENER, 2021). Deste modo, é possível notar que o investimento é muito interessante, devido ao seu tempo de retorno, que é equivalente a 16% de sua vida útil.

4.7.1 Valor presente líquido

Um dos métodos de análise financeira mais utilizados na engenharia econômica é o Valor Presente Líquido (VPL). Em resumo, este método é o resultado de uma análise da diferença entre os benefícios gerados por um projeto e seus custos (BREALEY; MYERS; ALLEN, 2011). A análise do VPL é feita utilizando a Equação 4.12.

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_{C_t}}{(1+r)^t} \quad (4.12)$$

Em que:

I_0 - Investimento inicial.

F_{C_t} - Valor de entrada ou de saída previsto para cada período.

r - Taxa de desconto.

n - Período do investimento.

O VPL é analisado utilizando o seu sinal como referência. Caso o valor seja positivo, as receitas do projeto estarão superando o investimento, sendo assim, é um investimento vantajoso. Caso seja negativo, o investimento estará gerando prejuízo. Também há a possibilidade de que o VPL seja zero, neste caso, o investimento não tem retorno e nem prejuízo.

4.7.2 Taxa interna de retorno

Segundo Keynes (1936), a Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa utilizada na eq.4.12 que faz com que o VPL seja zero, isto é, a TIR é a raiz da equação de VPL. Essa taxa é utilizada como referência para a decisão de um investimento, sendo ela o ponto limitante entre o prejuízo e o lucro do mesmo.

A TIR é calculada utilizando a Equação 4.13.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{F_{C_t}}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (4.13)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul teve a sua fundação em 1962 e atualmente é composta por 10 campi, sendo eles: Campus de Aquidauana, Campus de Chapadão do Sul, Campus de Coxim, Campus de Naviraí, Campus de Nova Andradina, Campus do Pantanal, Campus de Paranaíba, Campus de Ponta Porã, Campus de Três Lagoas e a Cidade Universitária. A Cidade Universitária é o campus com maior concentração de faculdades e cursos de todos os campus da UFMS e é atendida através de duas unidades consumidoras de energia, uma para a rede dos blocos pertencentes a PROADI (Pró-Reitoria de Administração e Infraestrutura) e a outra para os blocos pertencentes a ESAN (Escola Superior de Administração e Negócios).

Figura 16 – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul dividida de acordo com as unidades consumidoras.



Fonte: Site institucional da UFMS, modificado.

O consumo de energia dessas duas unidades pode ser visto na Tabela 2, disponibilizada no site da própria PROADI. É possível notar que o consumo de energia elétrica representa um valor expressivo em Reais (R\$) e que, conforme abordado no presente trabalho, é possível minimizar esse custo com a implantação de sistemas fotovoltaicos. Em menos de 1 ano foram gastos R\$ 3.247.370,89 só com energia elétrica. Esse valor poderia ser convertido em diversas benfeitorias para a instituição em termos de ensino, pesquisa e extensão.

Tabela 2 – Gastos com energia elétrica entre os meses de janeiro a setembro de 2020

CAMPUS	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
PROADI	R\$ 372.975,90	R\$ 486.139,19	R\$ 439.135,07	R\$ 73.247,59	R\$ 290.654,95	R\$ 279.009,00	R\$ 287.642,61	R\$ 301.125,12	R\$ 340.630,82
ESAN/CPBO	R\$ 2.080,37	R\$ 1.923,38	R\$ 2.134,23	R\$ 1.846,05	R\$ 1.687,82	R\$ 1.732,89	R\$ 1.823,93	R\$ 1.863,70	R\$ 1.944,33

Fonte: Site institucional da UFMS

Com o propósito de ser o primeiro passo em direção ao desenvolvimento de um universidade autossuficiente em energia elétrica, o presente trabalho apresentará o dimensionamento e os resultados esperados para a implantação de um sistema de micro geração fotovoltaica em um prédio da UFMS, no campus da Cidade Universitária. Esse sistema servirá de base para uma análise energética e financeira do investimento. Deste modo, a implantação de outros sistemas poderá ser feita de maneira modular em diferentes prédios por toda a UFMS. Essa estratégia minimizará os investimentos iniciais e poderá ser feito como um plano de negócio e análise de viabilidade a ser executado a médio prazo.

5.2 LOCAL E ÁREA DE INSTALAÇÃO

Ao todo a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul é formada por mais de 20 prédios, compostos por blocos de cursos, cantinas, áreas de convívio, corredores, laboratórios, entre outros. Muitos destes prédios são antigos, datam da época de fundação da universidade, e, portanto, possuem a sua infraestrutura um pouco prejudicada e necessitando de manutenção. Desta forma, a seleção do local para a instalação de um sistema de geração fotovoltaica foi condicionada ao mínimo de intervenção em infraestrutura possível, visando os prédios mais novos e com as instalações elétricas que estivessem prontas para receber o sistema.

Além da infraestrutura, outro ponto limitante para a seleção do local é a inclinação e a orientação do telhado, pois, de acordo com ZILLES et al. (2012), para os locais situados ao sul da linha do Equador, os módulos fotovoltaicos devem estar voltados para o norte e, de preferência com a inclinação próxima a latitude do local.

O último critério utilizado para a escolha do local do sistema foi a área disponível para a instalação dos módulos. Procurou-se um telhado que não tivesse elementos impeditivos

para a instalação das placas - tais como exaustores, condensadoras, antenas, entre outros - e também elementos que causassem um sombreamento expressivo.

Deste modo, o local escolhido para o projeto de microgeração fotovoltaica foi o prédio do Instituto de Biociências (INBIO) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. O prédio está localizado ao sul da Biblioteca Central, ao lado do Autocine, como pode ser visto na Fig.17.

Figura 17 – Localização via satélite do Instituto de Biociências.



Fonte: Google Maps, modificado (2020)

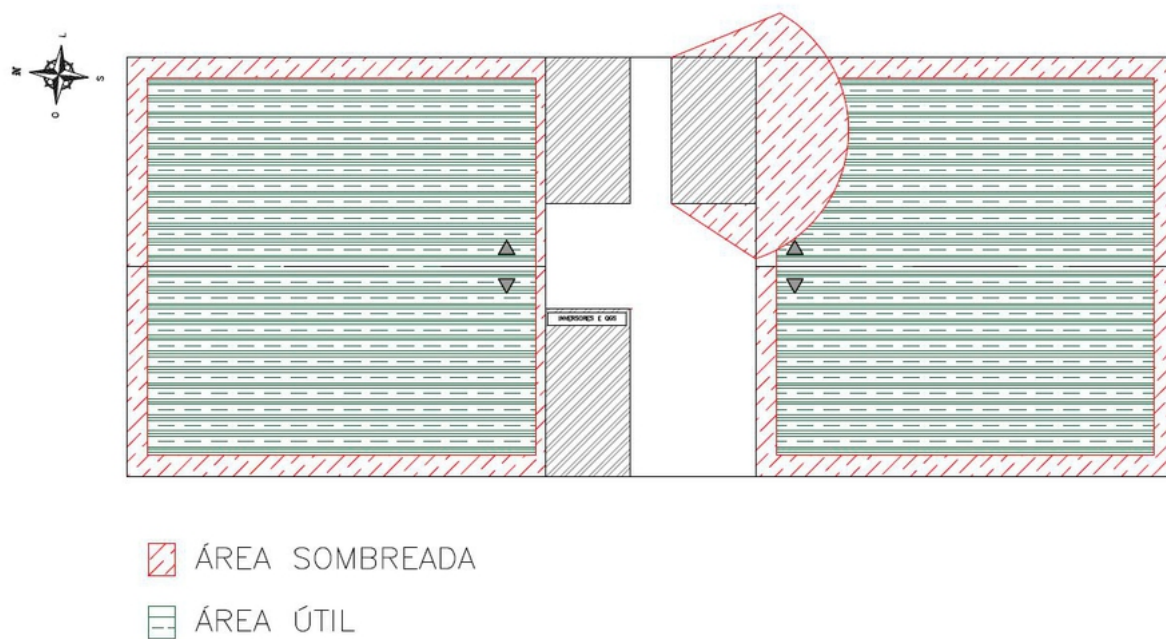
O bloco tem uma área total de 1.000m², sendo 800m² de telhados, com inclinação de 7° para leste e oeste, e a orientação do maior eixo está a 20°29'60" sul e 54°36'41" oeste.

5.3 DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA

5.3.1 Potência e quantidade de placas

Para o projeto do sistema fotovoltaico foi utilizada a área útil de telhado do INBIO, considerando um afastamento de 1 m da platibanda do edifício e respeitando as áreas de sombreamento causadas pelas estruturas elevadas, como pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 – Composição da área útil do prédio do INBIO.



Fonte: Própria (2020)

Deste modo, a área disponível para a instalação dos módulos disponível é de 638,61 m². Utilizando-se como referência o painel da marca *Canadian*, modelo *HiKu CS3W-440MS*, cujas dimensões são 2108 x 1048 x 40 mm e suas especificações técnicas podem ser vistas na Figura 19.

Figura 19 – Especificações técnicas do painel Canadian HiKu CS3W-440MS.

ELECTRICAL DATA | STC*

CS3W	425MS	430MS	435MS	440MS	445MS	450MS
Nominal Max. Power (Pmax)	425 W	430 W	435 W	440 W	445 W	450 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	39.5 V	39.7 V	39.9 V	40.1 V	40.3 V	40.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.76 A	10.84 A	10.91 A	10.98 A	11.05 A	11.12 A
Open Circuit Voltage (Voc)	47.7 V	47.9 V	48.1 V	48.3 V	48.5 V	48.7 V
Short Circuit Current (Isc)	11.37 A	11.42 A	11.47 A	11.53 A	11.59 A	11.65 A
Module Efficiency	19.24%	19.46%	19.69%	19.92%	20.14%	20.37%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	20 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 5 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Fonte: Goodwe, editado (2020).

Pode-se calcular a quantidade de painéis utilizando a Equação 4.1.

$$Np = \frac{638,61}{((1,048+0,03)*2,108)} = 281$$

Desta forma, o telhado suporta 281 módulos fotovoltaicos do modelo especificado. Porém, apesar de comportar esta quantidade de módulos, o presente projeto está restrito a categoria de microgeração, cuja potência máxima dos inversores é de 75 kW. Assim sendo, a máxima potência pico de painéis que o sistema pode comportar é 93,75 kW, utilizando como referência a Equação 4.4.

Devido às limitações dos inversores, descritas no próximo tópico, adotou-se a quantidade de 208 módulos fotovoltaicos de 440 Wp. Portanto, a potência pico do sistema é:

$$Pp = \frac{208*440}{1000} = 91,52kWp$$

5.3.2 Inversores

Os inversores selecionados são da marca *Goodwe*, uma marca chinesa, que vem ganhando força no mercado devido aos seus inversores robustos e de alta potência. Os inversores selecionados foram dimensionados utilizando como fator limitante a potência

máxima de microgeração, que é 75 kW. Deste modo, serão utilizados dois inversores do modelo GW35KLV-MT, cujas especificações técnicas podem ser vistas na Figura 20.

Figura 20 – Especificações técnicas inversor *Goodwe* GW35KLV-MT.

Technical Data	GW35KLV-MT
DC Input Data	
Potência Máxima de Entrada (W)	63000
Tensão Máxima de Entrada (V)	800
Faixa de Operação MPPT (V)	200~650
Tensão de Partida (V)	200
Min. Tensão de alimentação (V)	210
Tensão Nominal de Entrada (V)	370
Corrente Máxima de Entrada (A)	30/30/30/30
Corrente Máxima de Curto (A)	38/38/38/38
Número de MPPTs	4
Número de Strings por MPPT	3/3/3/3
Dados de Saída CA	
Potência Nominal de Saída (W)	36000
Potência Máxima de Saída (W)	34500@208VAC 36000@220VAC 39900@240VAC
Potência Máx. Aparente de Saída (VA)	39900
Tensão Nominal de Saída (V)	150-300
Frequência Nominal de Saída (Hz)	50/60
Corrente Máxima de Saída (A)	96
Fator de Potência de Saída	
THDi Nominal de Saída	<3%

Fonte: Goodwe (2020)

Conforme discutido previamente o sistema se enquadra em microgeração, pois a soma das potências de saída dos inversores, para a tensão de 220 V, é de 72 kW.

5.3.3 Strings

Após a definição do módulo e do inversor, optou-se por dois arranjos em paralelo, cada um com 13 painéis em série, por MPPT. Deste modo, totalizam-se 16 strings no sistema, sendo 8 strings por inversor. Por serem todas iguais, as análises de tensão máxima, tensão de operação, corrente máxima e corrente de operação serão feitas somente para um MPPT e os resultados serão replicados para todos os outros.

Com base nos parâmetros de entrada do inversor, vistos na fig.20, foram feitas as verificações apresentadas abaixo. De acordo com a Equação 4.5, a tensão máxima por *string* será:

Temos que a tensão máxima por string, conforme a eq.4.5, é:

$$V_{max_{inv}} = N_{p_s} * V_{oc_p} = 13 * 48,3 = 627,9V$$

Utilizando eq.4.6, calculou-se a tensão de operação para a string:

$$V_{op_{inv}} = N_{p_s} * V_p = 13 * 40,1 = 521,3V$$

Conforme as especificações técnicas vistas na fig. 20, a tensão máxima de entrada por MPPT do inversor é de 800 V e a tensão de operação do mesmo é de, no máximo, 650 V. Então, o arranjo proposto está de acordo com os valores de tensão do inversor.

Como pode ser visto na fig.20, o inversor possui 3 entradas de string por MPPT. Portanto, as strings em paralelo não terão suas correntes somadas, pois, serão conectadas diretamente em cada entrada. Sendo assim, os parâmetros de corrente do inversor são atendidos, dado que a corrente máxima de curto-circuito dos painéis é de 11,53 A e a sua corrente de operação é de 10,98 A, valores muito inferiores àqueles suportados pelo inversor em suas entradas.

5.3.4 Proteções de corrente contínua

O inversor selecionado possui as proteções de corrente contínua integradas, como pode ser visto na Figura 21. Portanto, não se faz necessário o dimensionamento das mesmas.

Figura 21 – Proteções do inversor *Goodwe GW35KLV-MT*.

Proteções	
Monitoramento de Corrente de String FV	Integrado
Proteção Anti-ilhamento	Integrado
Proteção de Polaridade Reversa	Integrado
Monitoramento de Isolamento	Integrado
Fusível CC	Integrado
Função Anti-PID Fotovoltaico	Opcional
Proteção Contra Surtos CC (DPS)	Integrado (Tipo II)
Proteção Contra Surtos CA (DPS)	Integrado (Tipo II)
Monitoramento de Corrente Residual	Integrado
Proteção Sobrecorrente de Saída	Integrado
Proteção de Curto de Saída	Integrado
Proteção de Sobretensão de Saída	Integrado
Monitoramento de umidade	NA

Fonte: Goodwe (2020)

5.3.5 Condutores de corrente contínua

O dimensionamento dos condutores de corrente contínua foi feito utilizando a eq. 4.9. Conforme a especificação técnica do painel, sua corrente de curto-circuito é de 11,53 A, tem-se então:

$$I_{CABOS} \geq 1,25 * 11,53 \Rightarrow I_{CABOS} \geq 14,41A$$

Na Figura 22 temos o catálogo do fabricante *Innovcable* para o condutor *Photovoltaic* Eco 120H LSZH. Este condutor tem isolamento de 1,8 kV para corrente contínua e proteção ultravioleta, sendo assim, o mesmo atende as características necessárias para a utilização em sistemas fotovoltaicos.

Figura 22 – Características do condutor de corrente contínua.

Seção transversal do condutor [mm²]	Reatância indutiva [Ohm/km]	Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km]	Max. DC resist. cond. 90°C [Ohm/km]	Resistência elétrica máxima CA 60Hz 90°C [Ohm/km]	Voltage Drop [V/A.km]	Avaliação de corrente DC permissível [A]	current rating in air 30°C - trefoil [A]
2,5	0,1255	8,21	10,469	10,469	14,64	37	29
4	0,1223	5,09	6,490	6,49	9,12	50	40
6	0,114	3,39	4,323	4,323	6,11	65	53
10	0,0994	1,95	2,486	2,486	3,55	90	74
16	0,0918	1,24	1,581	1,581	2,29	121	101
25	0,09	0,795	1,014	1,014	1,5	161	135
35	0,0846	0,565	0,720	0,721	1,09	200	169
50	0,0814	0,393	0,501	0,502	0,78	242	207
70	0,079	0,277	0,353	0,354	0,57	310	268
95	0,0764	0,21	0,268	0,269	0,45	377	328
120	0,0779	0,164	0,209	0,211	0,37	437	383
150	0,0819	0,132	0,168	0,17	0,32	504	444
185	0,0806	0,108	0,138	0,14	0,27	575	510
240	0,08	0,0817	0,1042	0,108	0,23	679	607

Fonte: Innovcable (2020)

De acordo com a figura acima, o condutor de seção transversal de 2,5 mm² atende às especificações de corrente necessárias, pois, admite uma corrente de até 37 A.

5.3.6 Proteção e condutores de corrente alternada

Conforme visto no capítulo 4.5, as proteções de corrente alternada devem seguir os critérios de instalações em baixa tensão da NBR 5410, que fornece em seu item 5.3.4.1 os critérios para a seleção do dispositivo de proteção (ABNT, 2004). Deste modo, o cálculo do dispositivo de proteção de corrente alternada é feito conforme a Equação 5.1.

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (5.1)$$

Onde:

I_b - Corrente de projeto do circuito [A].

I_n - Corrente nominal do dispositivo de proteção [A].

I_z - Corrente dos condutores nas condições previstas para a instalação [A].

Portanto, para o cálculo deve-se utilizar como corrente de projeto, a corrente máxima de saída do inversor, que é 96 A, conforme visto na fig.20.

Para a seleção dos condutores de fase, deve-se atentar a forma de instalação dos condutores, conforme item 6.2.5.1.2. Para o presente projeto, a instalação será feita com condutores isolados em eletroduto de seção circular sobre parede, o método B1 (ABNT, 2004). Assim, como pode ser visto na Figura 23, o condutor capaz de suportar a corrente demandada é o de seção circular de 35 mm².

Figura 23 – Capacidades de condução de corrente para os métodos de instalação referenciados na NBR 5410.

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: PVC

Temperatura no condutor: 70°C

Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1 000	767	679	698	618	1 012	906	827	738	1 125	996	792	652

Fonte: ABNT, modificada (2020)

Então, conforme a eq.5.1, tem-se:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$96 \leq I_n \leq 110$$

Portanto, adotou-se um disjuntor tripolar de corrente nominal de 100 A para cada inversor.

5.4 PROJETO

O projeto desenvolvido encontra-se em anexo, com todas as especificações e dimensionamentos previamente relatados no presente trabalho. Os anexos estão divididos da seguinte maneira:

Anexo A - Planta de localização e layout de instalação dos painéis.

Anexo B - Infraestrutura elétrica e alocação dos inversores e do quadro de geração solar.

Anexo C - Diagrama unifilar e detalhes da cabine existente.

Anexo D - Diagrama trifilar dos inversores 01 e 02.

5.5 ENERGIA GERADA E ANÁLISE DO INVESTIMENTO

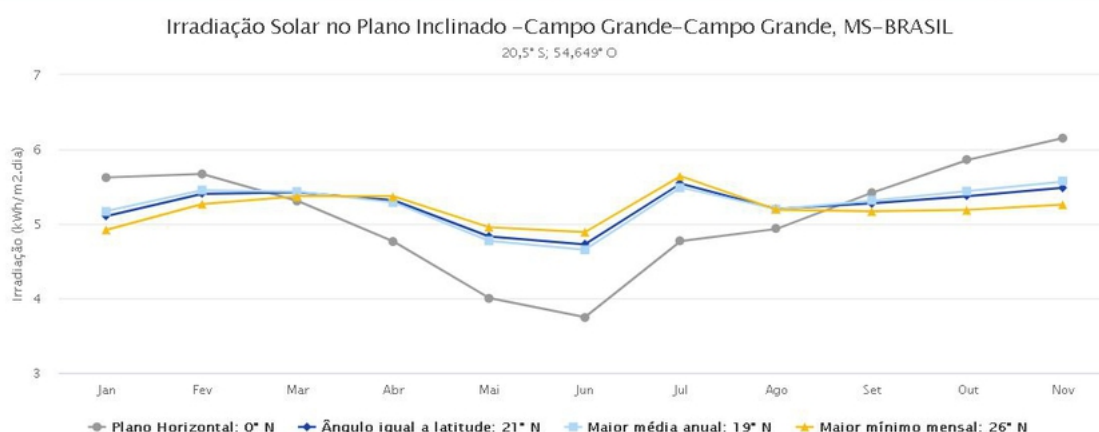
5.5.1 Energia gerada

Conforme visto no Capítulo 4.6, a energia gerada pelo sistema fotovoltaico depende do índice de irradiação diário da localidade. Portanto, com as coordenadas do local, utilizou-se a ferramenta *Sundata*, do *site* do Centro Brasileiro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) para se obter o índice. Na Figura 24 está apresentada a média diária mensal da irradiação solar, obtida pela ferramenta, para as coordenadas do INBIO.

Figura 24 – Informações sobre a irradiância incidente sobre a região de Campo Grande.

Estação: Campo Grande
Município: Campo Grande, MS - BRASIL
Latitude: 20,5° S
Longitude: 54,649° O
Distância do ponto de ref. (20,500159° S; 54,611339° O): 3,9 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,62	5,67	5,31	4,76	4,01	3,75	3,90	4,77	4,93	5,42	5,86	6,15	5,01	2,41
✓	Ângulo igual a latitude	21° N	5,11	5,40	5,42	5,32	4,83	4,73	4,82	5,54	5,20	5,28	5,37	5,49	5,21	,81
✓	Maior média anual	19° N	5,17	5,45	5,43	5,29	4,77	4,65	4,75	5,49	5,20	5,31	5,44	5,57	5,21	,92
✓	Maior mínimo mensal	26° N	4,92	5,27	5,37	5,37	4,96	4,89	4,97	5,64	5,19	5,17	5,19	5,26	5,18	,75



Fonte: CRESESB (2020)

Conforme pode ser visto, os ângulos de 19° e 21° obtêm a maior média anual de irradiação solar, enquanto o plano horizontal apresenta uma média um pouco inferior, sendo ela 5,01 kWh/m².dia.

Para que os cálculos da energia gerada estejam corretos, deve-se utilizar o Fator de Ajuste para a Orientação e Inclinação, conforme visto na eq. 4.11. Conforme a Tabela 3,

apresentada por ZILLES et al. (2012), o fator utilizado deve ser de 0,934, pois, a inclinação dos módulos é de 7° e a sua orientação está deslocada 90° do norte.

Tabela 3 – Fatores de ajuste para a orientação e inclinação.

FATORES DE CORREÇÃO SEGUNDO UMA INCLINAÇÃO E ORIENTAÇÃO DADAS (Disponibilidade anual ótima = 1.918 kWh/m ²)										
$\gamma \backslash \beta$	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0°	0,944	0,983	1,000	0,994	0,966	0,914	0,844	0,755	0,654	0,551
±25°	0,944	0,978	0,990	0,981	0,950	0,900	0,833	0,750	0,658	0,562
±50°	0,944	0,968	0,972	0,957	0,923	0,874	0,811	0,736	0,654	0,570
±90°	0,944	0,934	0,908	0,871	0,824	0,770	0,711	0,647	0,584	0,519

Fonte: Zilles (2012).

O coeficiente γ é referente a orientação, enquanto o coeficiente β é referente a inclinação. Deste modo, o cálculo de energia média produzida diariamente pode ser visto abaixo:

$$Ed = \frac{Np \cdot Pi \cdot Md \cdot Fa \cdot Foi}{1000} = \frac{208 \cdot 440 \cdot 5,01 \cdot 0,8 \cdot 0,934}{1000} = 342,60 \text{ kWh}$$

Para uma visualização mais precisa, foi produzida a Tabela 4, que mostra a estimativa de geração mensal do sistema durante um ano.

Tabela 4 – Estimativa de geração mensal em um ano.

Mês	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]	Estimativa da energia produzida [kWh]
Janeiro	5,62	12475,07
Fevereiro	5,67	11368,05
Março	5,31	11786,94
Abril	4,76	10225,23
Mai	4,01	8901,25
Junho	3,75	8055,59
Julho	3,9	8657,07
Agosto	4,77	10588,27
Setembro	4,93	10590,42
Outubro	5,42	12031,11
Novembro	5,86	12588,20
Dezembro	6,15	13651,54

Fonte: Própria (2020)

De acordo com o fabricante dos módulos, os mesmos tem uma perda de geração máxima de 2% no primeiro ano e 0,55% nos anos subsequentes, além da vida útil de 25

anos. Sendo assim, a geração irá decair linearmente até o fim da vida útil dos módulos, podendo, desta forma, ser estimada para os 25 anos, como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 – Estimativa de geração anual para 25 anos.

Ano	Estimativa de geração anual [kWh]	Acumulado [kWh]
1	130.918,74	130.918,74
2	128.300,36	259.219,10
3	127.594,71	386.813,82
4	126.892,94	513.706,76
5	126.195,03	639.901,79
6	125.500,96	765.402,75
7	124.810,70	890.213,45
8	124.124,24	1.014.337,69
9	123.441,56	1.137.779,25
10	122.762,63	1.260.541,88
11	122.087,44	1.382.629,32
12	121.415,96	1.504.045,28
13	120.748,17	1.624.793,44
14	120.084,05	1.744.877,50
15	119.423,59	1.864.301,09
16	118.766,76	1.983.067,85
17	118.113,54	2.101.181,39
18	117.463,92	2.218.645,31
19	116.817,87	2.335.463,18
20	116.175,37	2.451.638,55
21	115.536,41	2.567.174,96
22	114.900,96	2.682.075,91
23	114.269,00	2.796.344,91
24	113.640,52	2.909.985,43
25	113.015,50	3.023.000,93

Fonte: Própria (2020)

Estima-se uma produção de 3.023.000,93 kWh ao final dos 25 anos.

5.5.2 Investimento

Para realizar o levantamento do investimento foi utilizado o Estudo Estratégico do Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída do 2º Semestre de 2020, realizado pela empresa *Greener*. A *Greener* atua nas áreas de consultoria, planejamento e estudos de mercado desde 2007 e presta estes serviços para grandes corporações no Brasil. Desde 2017 a empresa atua no mercado fotovoltaico, desenvolvendo estudos de mercado para auxiliar os empresários e investidores deste segmento (GREENER, 2021).

Na Figura 25 são apresentados os preços finais para sistemas fotovoltaicos, contendo todos os equipamentos e a instalação dos mesmos.

Figura 25 – Preços para sistemas fotovoltaicos, de acordo com a sua potência.



Fonte: Greener, modificada (2021).

Conforme vistos nos tópicos anteriores, o sistema dimensionado para o INBIO é de 91,52 kWp, desta forma, o valor cobrado por Wp é de R\$ 3,64. Portanto, o valor do investimento do sistema é dado pela Equação 5.2.

$$I_0 = P_p * C_{Wp} \quad (5.2)$$

Em que:

I_0 - Investimento [R\$].

P_p - Potência pico do sistema [Wp].

C_{Wp} - Custo por Watt-pico instalado [R\$/Wp].

Logo, o investimento para o sistema pode ser visto abaixo:

$$I_0 = P_p * C_{Wp} = 91.520 * 3,64 = R\ 333.132,80$$

Portanto, para a análise de viabilidade econômica o valor do investimento inicial será, conforme calculado previamente, R\$ 333.132,80.

Atualmente a UFMS se encontra na classificação de consumidor tipo A, ou seja, aqueles atendidos em média tensão. Estes consumidores podem estar enquadrados em dois tipos de tarifa, a tarifa horária azul ou a tarifa horária verde. Nas Figuras 26 e 27 podem ser visualizados os valores das tarifas azul e verde, respectivamente, obtidas do site da concessionária Energisa.

Figura 26 – Tarifas referentes à modalidade horária azul

MODALIDADE TARIFÁRIA HORÁRIA AZUL							
SUBGRUPO	CLASSES	TUSD + TE					
		DEMANDA (R\$/KW)		ULTRAPASSAGEM		CONSUMO (R\$/KWH)	
		PONTA	FORA PONTA	PONTA	F. PONTA	PONTA	FORA PONTA
A2 (88KV A 138KV)	DEMAIS CLASSES	21,25	7,27	42,50	14,54	0,49485	0,31990
A3 (69 KV)	DEMAIS CLASSES	49,76	16,45	99,52	32,90	0,50150	0,32655
	RURAL	46,77	15,46	99,52	32,90	0,47141	0,30695
	RURAL IRRIGAÇÃO	46,77	15,46	99,52	32,90	0,47141	0,06531
	SERVIÇO PÚBLICO	45,28	14,96	99,52	32,90	0,45636	0,29716
	DEMAIS CLASSES	60,61	21,59	121,22	43,18	0,51756	0,34261
A3A (30KV A 44KV)	RURAL	56,97	20,29	121,22	43,18	0,48650	0,32205
	RURAL IRRIGAÇÃO	56,97	20,29	121,22	43,18	0,48650	0,06852
	SERVIÇO PÚBLICO	55,15	19,64	121,22	43,18	0,47097	0,31177
	DEMAIS CLASSES	60,61	21,59	121,22	43,18	0,51756	0,34261
A4 (13,8 KV)	RURAL	56,97	20,29	121,22	43,18	0,48650	0,32205
	RURAL IRRIGAÇÃO	56,97	20,29	121,22	43,18	0,48650	0,06852
	SERVIÇO PÚBLICO	55,15	19,64	121,22	43,18	0,47097	0,31177
	DEMAIS CLASSES	60,61	21,59	121,22	43,18	0,51756	0,34261

Fonte: Energisa (2020).

Figura 27 – Tarifas referentes à modalidade horária verde

MODALIDADE TARIFÁRIA HORÁRIA VERDE							
SUBGRUPO	CLASSES	TUSD + TE		CONSUMO (R\$/KWH)			
		DEMANDA (R\$/KW)		ULTRAPASSAGEM			
		PONTA	FORA PONTA	PONTA	F. PONTA	PONTA	FORA PONTA
A3A (30KV A 44KV)	DEMAIS CLASSES	-	21,59	-	43,18	1,98886	0,34261
	RURAL	-	20,29	-	43,18	1,86952	0,32205
	RURAL IRRIGAÇÃO	-	20,29	-	43,18	1,86952	0,06852
	SERVIÇO PÚBLICO	-	19,64	-	43,18	1,80986	0,31177
A4 (13,8 KV)	DEMAIS CLASSES	-	21,59	-	43,18	1,98886	0,34261
	RURAL	-	20,29	-	43,18	1,86952	0,32205
	RURAL IRRIGAÇÃO	-	20,29	-	43,18	1,86952	0,06852
	SERVIÇO PÚBLICO	-	19,64	-	43,18	1,80986	0,31177

Fonte: Energisa (2020).

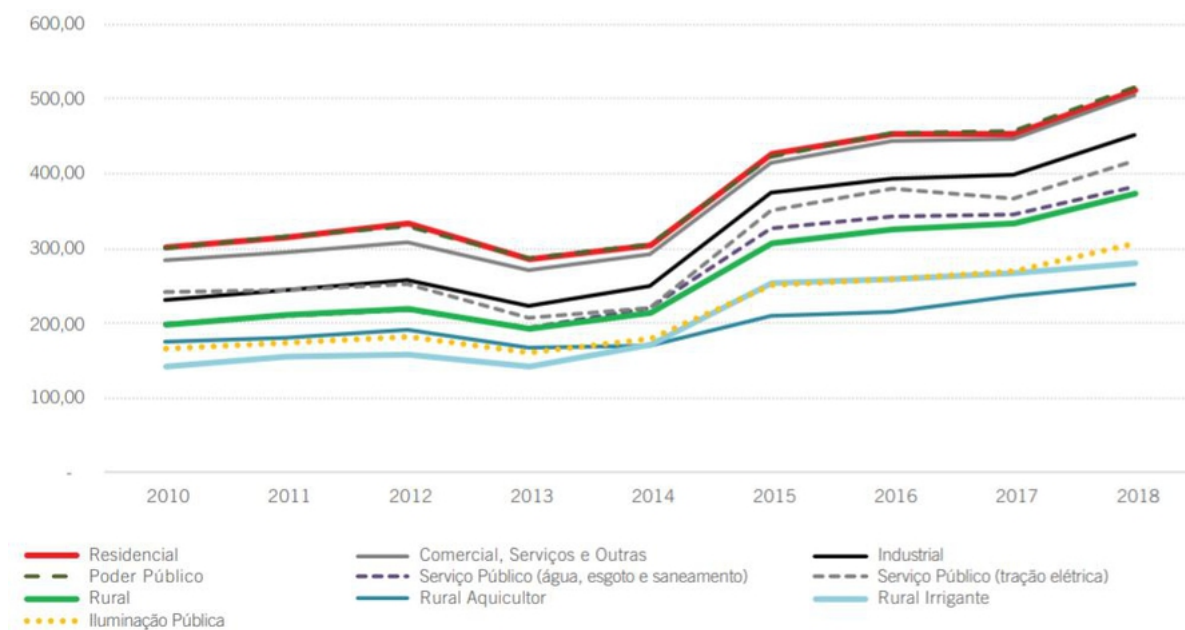
Diferente das tarifas de consumidores da baixa tensão, as tarifas para consumidores da média tensão são divididas entre demanda e consumo. A demanda é a quantidade de potência que se deseja ter disponível, já o consumo, é a energia utilizada. Além disso, essas tarifas dividem o valor do consumo em duas partes: a ponta, que é o consumo feito entre 18h às 21h e a fora de ponta, que é o consumo feito no restante do dia.

A UFMS é atendida com a tensão de 13,8 kV e se enquadra como serviço público, deste modo, em ambas as tarifas o valor do kWh no horário de fora ponta, para o serviço público atendido em 13,8 kV, é de R\$ 0,31177. Este valor será utilizado para o cálculo da viabilidade econômica do projeto, pois, a geração fotovoltaica ocorre majoritariamente das 10h às 16h.

Como a UFMS tem grande parte do seu consumo de energia no período da manhã e da tarde, a instalação de sistemas fotovoltaicos, que gerarão energia neste período, pode acarretar na diminuição da demanda contratada pela instituição. Porém, não é o objetivo do presente trabalho a análise do impacto do sistema na demanda da instituição.

Dando continuidade à análise do investimento, deve-se considerar uma variação do valor da energia elétrica ao longo dos anos para a projeção dos ganhos obtidos com o investimento no sistema. Segundo o INSTITUTO ACENDE BRASIL (2020), houve um aumento de, cerca de, 66,66% na tarifa de energia elétrica para o poder público, entre os anos de 2010 a 2018, como pode ser visto na Figura 28.

Figura 28 – Evolução relativa por classe de consumo (R\$/MWh).



Fonte: Instituto Acende Brasil (2020).

Portanto, para efeito de cálculo, pode se considerar um aumento anual de 8,34%. Deste modo, utilizando a Tabela 5, considerando o valor da tarifa inicial de R\$ 0,31177 e corrigindo ano a ano o valor da tarifa, obteve-se o *payback* simples do sistema, apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Investimento anual do sistema pelos próximos 25 anos.

Ano	Estimativa de geração anual [kWh]	Valor do kWh	Fluxo de caixa [R\$]	Troca de Inversor	Saldo [R\$]
0	-	-	-R\$ 333.132,80		-R\$ 333.132,80
1	130.918,74	R\$ 0,31177	R\$ 40.816,54		-R\$ 292.316,26
2	128.300,36	R\$ 0,33777	R\$ 43.336,22		-R\$ 248.980,04
3	127.594,71	R\$ 0,36594	R\$ 46.692,23		-R\$ 202.287,81
4	126.892,94	R\$ 0,39646	R\$ 50.308,14		-R\$ 151.979,67
5	126.195,03	R\$ 0,42953	R\$ 54.204,07		-R\$ 97.775,60
6	125.500,96	R\$ 0,46535	R\$ 58.401,70		-R\$ 39.373,89
7	124.810,70	R\$ 0,50416	R\$ 62.924,41		R\$ 23.550,52
8	124.124,24	R\$ 0,54621	R\$ 67.797,36	-R\$ 40.000,00	R\$ 51.347,87
9	123.441,56	R\$ 0,59176	R\$ 73.047,67		R\$ 124.395,54
10	122.762,63	R\$ 0,64111	R\$ 78.704,58		R\$ 203.100,12
11	122.087,44	R\$ 0,69458	R\$ 84.799,56		R\$ 287.899,68
12	121.415,96	R\$ 0,75251	R\$ 91.366,55		R\$ 379.266,23
13	120.748,17	R\$ 0,81527	R\$ 98.442,10		R\$ 477.708,33
14	120.084,05	R\$ 0,88326	R\$ 106.065,58		R\$ 583.773,91
15	119.423,59	R\$ 0,95693	R\$ 114.279,44		R\$ 698.053,35
16	118.766,76	R\$ 1,03673	R\$ 123.129,38	-R\$ 40.000,00	R\$ 781.182,73
17	118.113,54	R\$ 1,12320	R\$ 132.664,68		R\$ 913.847,41
18	117.463,92	R\$ 1,21687	R\$ 142.938,41		R\$ 1.056.785,82
19	116.817,87	R\$ 1,31836	R\$ 154.007,75		R\$ 1.210.793,57
20	116.175,37	R\$ 1,42831	R\$ 165.934,31		R\$ 1.376.727,87
21	115.536,41	R\$ 1,54743	R\$ 178.784,47		R\$ 1.555.512,34
22	114.900,96	R\$ 1,67649	R\$ 192.629,78		R\$ 1.748.142,12
23	114.269,00	R\$ 1,81630	R\$ 207.547,28		R\$ 1.955.689,40
24	113.640,52	R\$ 1,96778	R\$ 223.620,01	-R\$ 40.000,00	R\$ 2.139.309,40
25	113.015,50	R\$ 2,13190	R\$ 240.937,43		R\$ 2.380.246,83

Fonte: Própria (2020).

No fluxo de caixa da Tabela 6, o ano 0 é o ano de implantação do sistema e o valor negativo presente é referente ao seu investimento inicial. Portanto, é possível notar que no 7º ano, o valor passa a ser positivo, indicando que o tempo de retorno do investimento acontece entre o 6º e o 7º ano.

Faz-se necessário ressaltar que a garantia dos inversores é de, em média, 7 anos. Desta maneira, são necessárias três trocas de inversor durante a vida útil do sistema. Estes valores estão descontados do fluxo de caixa na Tabela 6.

Com os dados obtidos é possível calcular o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Utilizando as Equações 4.12 e 4.13, com o auxílio da ferramenta Excel, foram calculados o VPL e a TIR, utilizando como Taxa Mínima de Atratividade a inflação do ano de 2020, de 6,25%. Este valor se encontra dentro da média dos valores de investimentos seguros do mercado financeiro.

Os resultados do investimento podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultado do investimento.

VPL	R\$ 792.147,15
TIR	19%

Fonte: Própria (2020).

Com os resultados obtidos, é possível notar que o sistema é viável economicamente, pois apresenta um TIR de 19%, muito superior à Taxa de Atratividade e um VPL positivo, maior que o dobro do investimento inicial.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o dimensionamento, o projeto de um sistema fotovoltaico e a análise de viabilidade econômica para o Instituto de Biociências. Desta forma, foram dimensionados todos os componentes para o projeto, dentre eles: o inversor, a quantidade de painéis e as proteções. Também foram produzidas as pranchas com os diagramas de ligação, o layout de instalação, a infraestrutura e os detalhes necessários.

A análise da viabilidade econômica do sistema foi realizada utilizando três índices econômicos relevantes: o *payback* simples, o Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno. Deve-se atentar que o cálculo financeiro foi realizado de maneira conservadora, utilizando uma Taxa de Atratividade também conservadora e não considerando impostos e encargos incidentes, estes, que poderiam elevar os potenciais lucros do sistema.

O investimento se apresentou viável, pois, para um investimento inicial de R\$ 333.132,80, obteve um VPL positivo de R\$ 792.147,15, quando comparado a uma Taxa de Atratividade de 6,25%, e uma TIR de 19%. Estes valores demonstram a alta viabilidade do sistema fotovoltaico e, também, a rentabilidade que este investimento é capaz de gerar.

Como trabalho futuro, o dimensionamento de sistemas similares aplicados a outros blocos da UFMS, aumentando, assim, a capacidade de geração de modo a zerar o consumo de energia elétrica proveniente da concessionária de energia. Também faz-se necessária a análise técnica e financeira do impacto da implantação de sistemas como esse na demanda da universidade.

Referências

- ABNT. **ABNT NBR 5410:2004**: Instalações elétricas de baixa tensão. [S.l.], 2004.
- ABNT. **ABNT NBR IEC 62116**: Procedimentos de ensaios de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica. [S.l.], 2012.
- ABNT. **ABNT NBR 16149**: Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. [S.l.], 2013a.
- ABNT. **ABNT NBR 16150**: Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimentos de ensaios de conformidade. [S.l.], 2013b.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA -- ANEEL. **DADOS ABERTOS**. 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/dados>. Acesso em: 15 fev 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA -- ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687**, BRASIL, p. 1 – 25, 24 DE NOVEMBRO DE 2015.
- ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**: Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição. [S.l.], 2017.
- BREALEY, R.; MYERS, S.; ALLEN, F. **Principles of Corporate Finance**. 10. ed. [S.l.]: McGraw-Hill/Irwin, 2011. (McGraw-Hill/Irwin series in finance, insurance, and real estate). ISBN 9780071314176.
- BURATTINI, M. P. T. de C. **Energia**: Uma abordagem multidisciplinar. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.
- DALVI, G. G.; OLIVEIRA FILHO, D.; RODRIGUES, E. M. B. FEED-IN TARIFF COMO ALTERNATIVA DE INCENTIVO AO DESENVOLVIMENTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTES RENOVÁVEIS NO BRASIL. **REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIA**, v. 23, n. 2, p. 20 – 32, 2º Trim. 2017.
- GREENER. **Estudo Estratégico Geração Distribuída**. 2021. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-2-semester-de-2020/>. Acesso em: 15 fev 2021.
- GREENER. **PÁGINA INSTITUCIONAL GREENER**. 2021. Disponível em: <https://www.greener.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 15 fev 2021.
- HERING, G. CELL PRODUCTION SURVEY. **Photon International**, v. 3, Março 2012.
- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **IEA International Energy Agency**. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/brazil>. Acesso em: 15 fev 2021.
- INSTITUTO ACENDE BRASIL. EVOLUÇÃO DAS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA E A FORMULAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS. **White Paper**, São Paulo, v. 22, p. 1 – 28, Janeiro 2020.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60364:2005**: Low-voltage electrical installations. [S.l.], 2005.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Germany Overview**. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/germany>. Acesso em: 20 de jan 2021.

KEYNES. **Teoria geral do emprego, juros e da moeda**. [S.l.]: Palgrave Macmillan, 1936.

LUQUE, A.; HEGEDUS, S. **HANDBOOK OF PHOTOVOLTAIC SCIENCE AND ENGINEERING**. 1. ed. Nova York: John Wiley & Sons, 2003.

MICHAEL, A.; BOUGIATIOTI, F.; OIKONOMOU, A. Less could be more: Architectural integration of active solar systems in existing urban centres. In: ANAIS, 2010, Ayia Napa. **7th Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion**. Ayia Napa, 2010. p. 1 – 7.

NOGUEIRA, M. F. M.; ALARCÓN, A. **Impacto das interrupções na geração hidrelétrica do Brasil**. [S.l.], 2019. Disponível em: https://publications.iadb.org/publications/portuguese/document/Impacto_das_interrup%C3%A7%C3%B5es_na_gera%C3%A7%C3%A3o_hidrel%C3%A9trica_do_Brasil_pt.pdf. Acesso em: 15 fev 2021.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 25 de out 2020.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. LEI Nº 10.438. **LEI Nº 10.438**, Brasília, p. 1 – 19, 26 DE ABRIL DE 2002.

REN21. **RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT**. 2020. Disponível em: https://www.ren21.net/reports/global-status-report/?gclid=CjwKCAiAu8SABhAxEiwAsodSZK1lq3cMwwqmTQO3ZVqSVCdSF7-4PSxAnL_etRXCAe-5P82UNXucPRoCUYkQAvD_BwE. Acesso em: 27 de jan 2021.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, 2004. 118 p.

SERVICO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carvão Mineral**. 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/CPRM-Divulga/Carvao-Mineral-2558.html#:~:text=As%20reservas%20mundiais%20de%20carv%C3%A3o,det%C3%AAm%2060%25%20do%20volume%20total>. Acesso em: 20 de jan 2021.

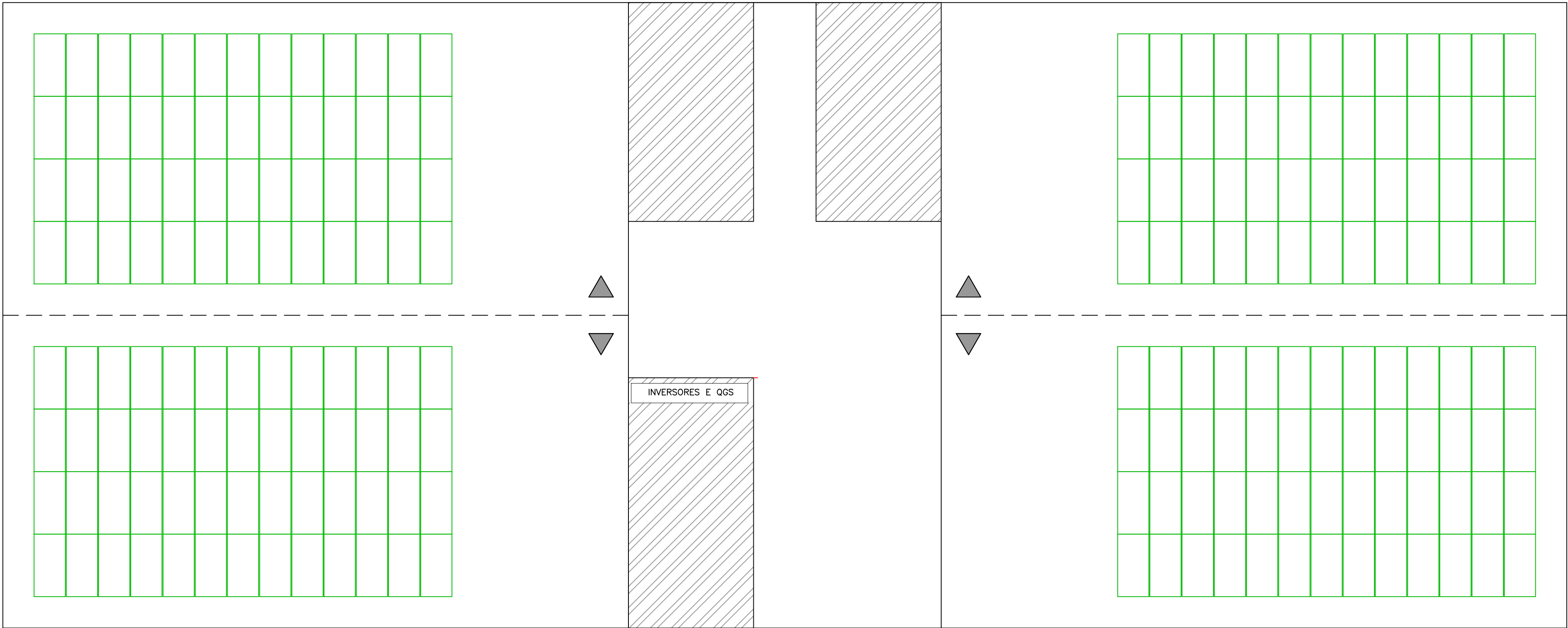
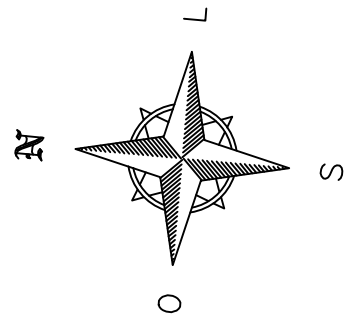
SOUZA, R. di. **OS SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: LIVRO DIGITAL DE INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS SOLARES**. Ribeirão Preto: Blue Sol, 2016.

UNITED NATIONS. **A Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change**. 1997.

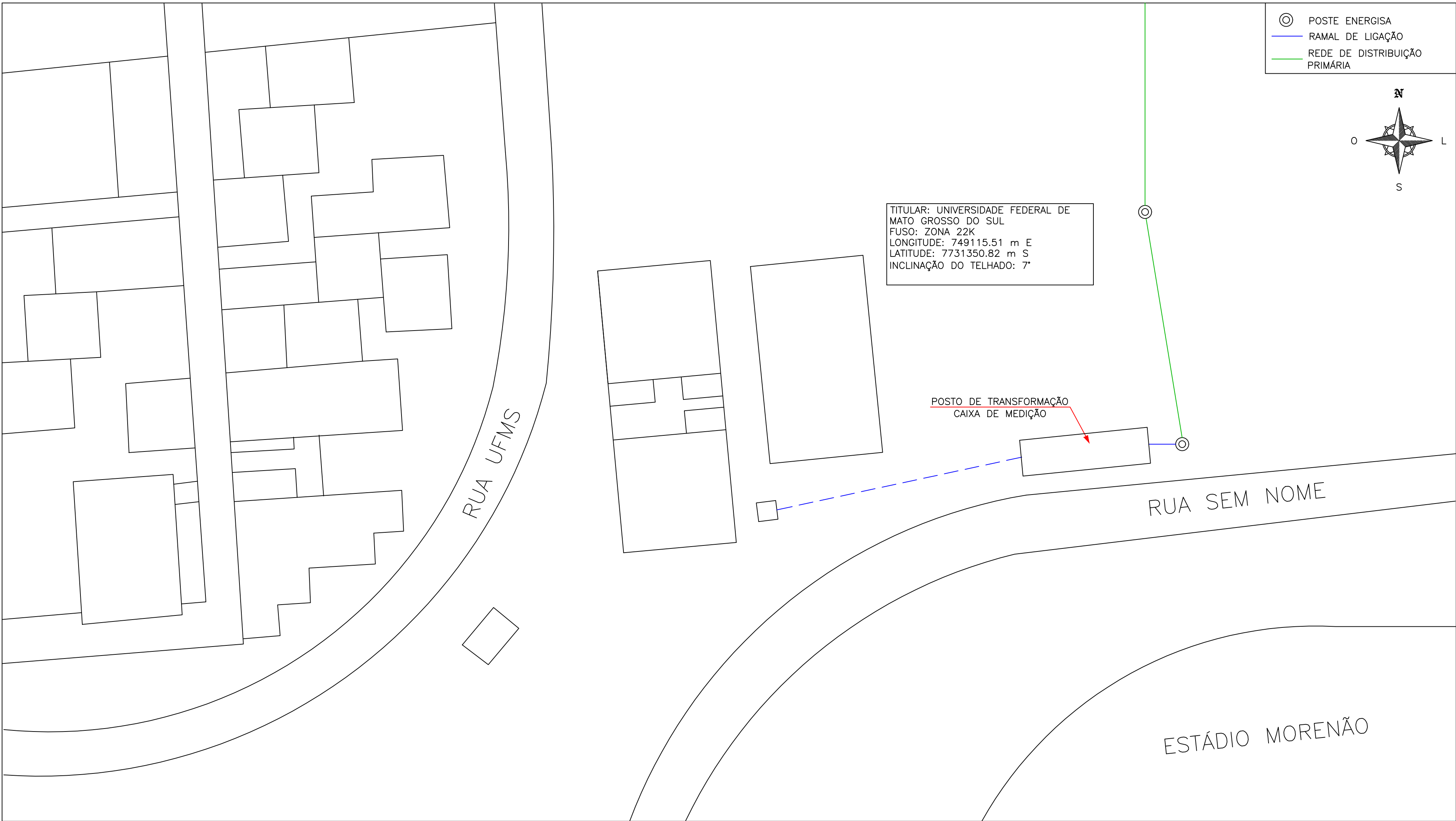
VILLALVA, M. G. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: CONCEITOS E APLICAÇÕES**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

ZILLES, R. et al. **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA**. SÃO PAULO: OFICINA DE TEXTOS, 2012.

ZOMER, C. D. MÉTODO DE ESTIMATIVA DA INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO PARCIAL NA GERAÇÃO ENERGÉTICA DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS EM EDIFICAÇÕES. 2014. 258 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina.



ARRANJO FÍSICO DAS PLACAS
ESCALA 1:100

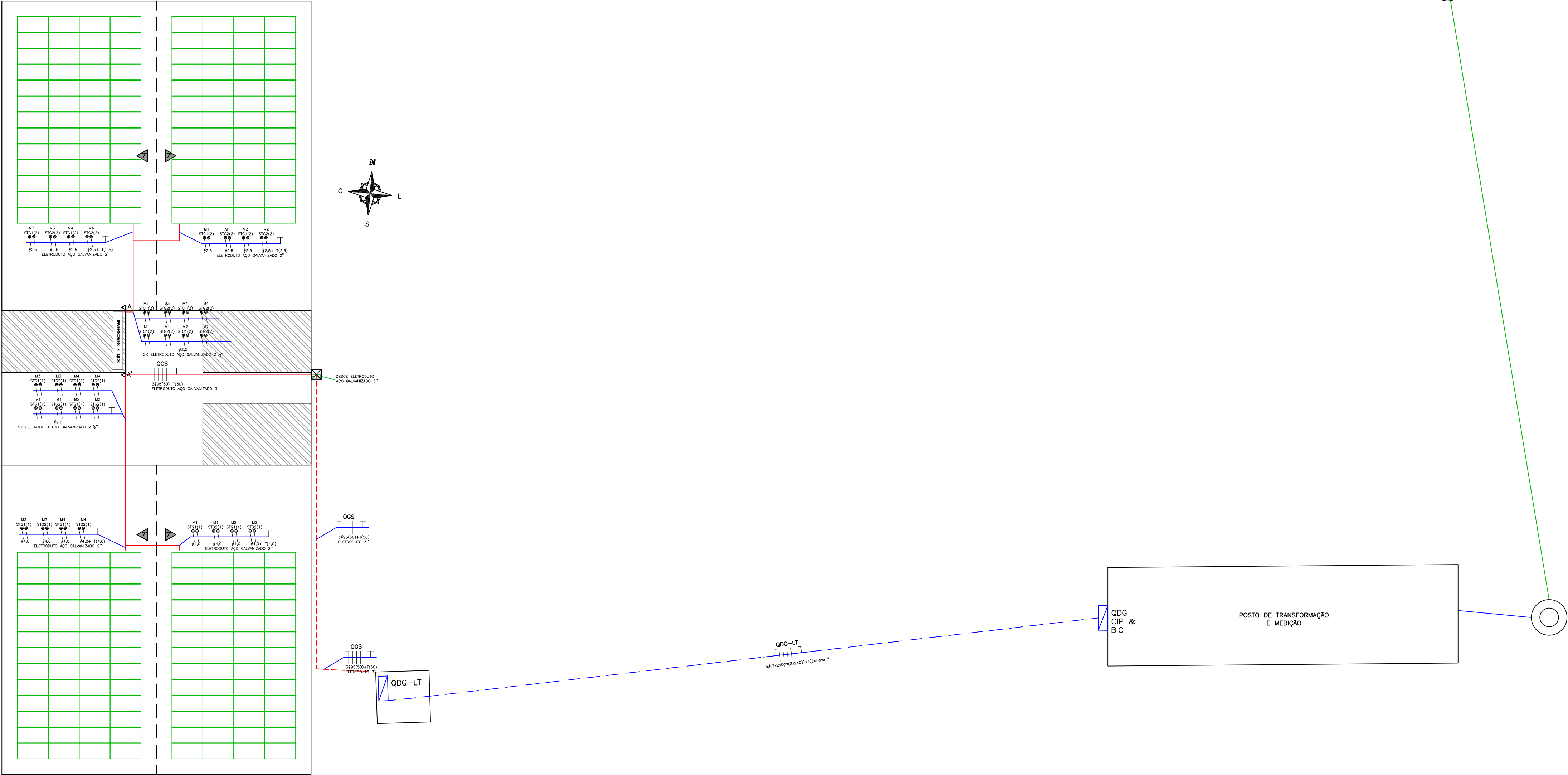


PLANTA DE SITUAÇÃO CONTENDO REDE PERTENCENTE A ENERGISA
ESCALA 1:500

NOTAS

1. A ENTRADA DE ENERGIA DEVERÁ SER EXECUTADA CONFORME ESPECIFICAÇÕES DA NDU002 (ENERGISA).
2. O CONDUTOR DE ATERRAMENTO DAS PLACAS DEVERÁ SER INTERLIGADO COM O ATERRAMENTO DO PADRÃO DE ENTRADA DE ENERGIA.
3. DEVERÁ SER INSTALADO NA CABINE DE MEDIÇÃO DE ENERGIA UM MEDIDOR BIDIRECIONAL PARA COMPENSAÇÃO DE ENERGIA.
4. O INVERSOR INSTALADO DEVERÁ POSSUIR PROTEÇÃO DE SUB E SOBRETENSÃO, PROTEÇÃO DE SUB E SOBREFREQUENCIA, PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE, RELÉ DE SINCRONISMO E PROTEÇÃO ANTI-ILHAMENTO.
5. DEVERÁ SER INSTALADA UMA PLACA DE ADVERTÊNCIA PRÓXIMO À CAIXA DE MEDIÇÃO / PROTEÇÃO COM OS SEGUINTE DIZERES: ” CUIDADO – RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO – GERAÇÃO PRÓPRIA” CONFORME MODELO ESPECIFICADO NA NTD013 (ENERGISA)

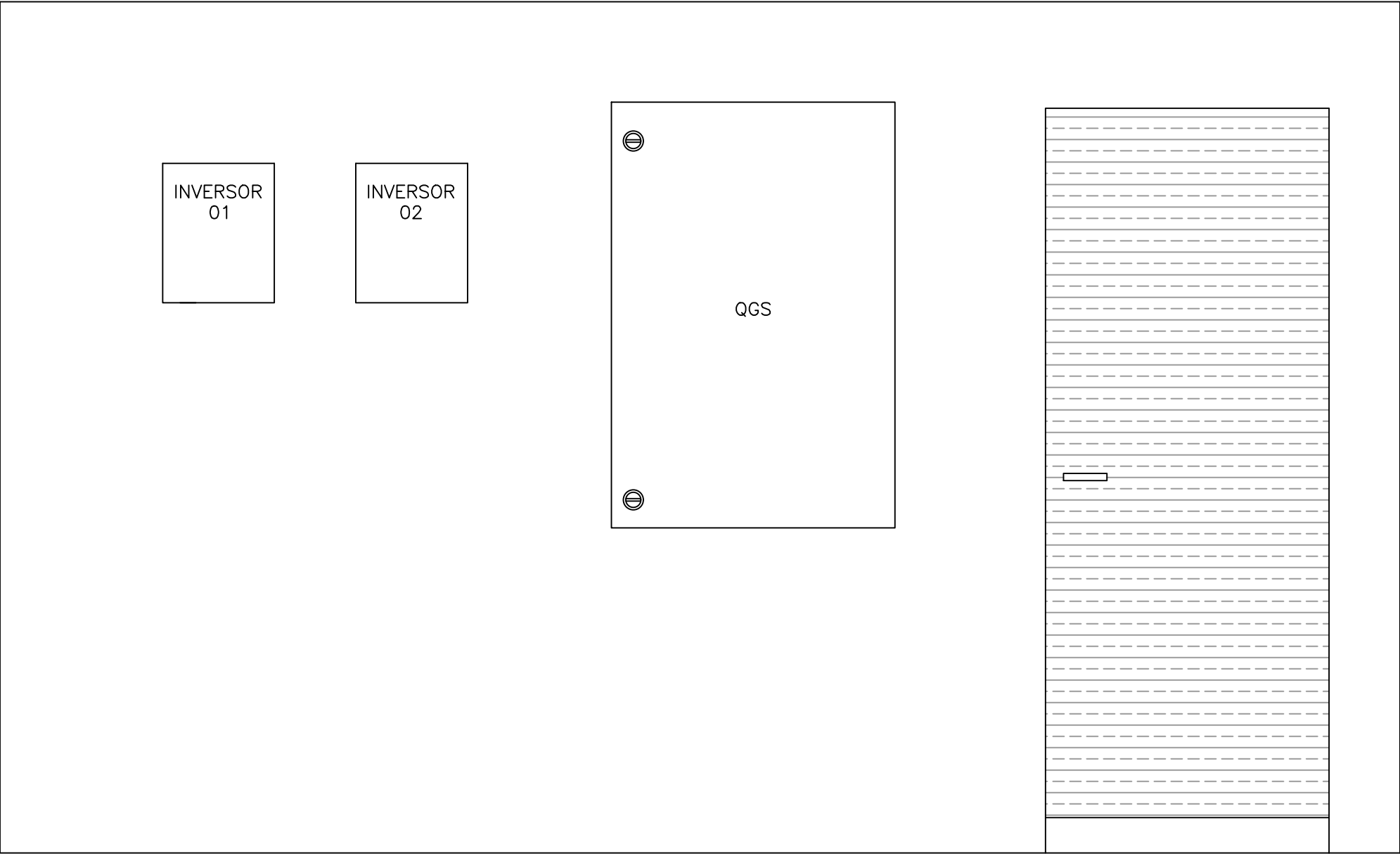
Observações			
* As medidas estão sujeitas a possíveis alterações, decorrentes aos ajustes em obra, devendo ser conferidas in loco. (Direitos autorais reservados).			
Título:		Projeto Fotovoltaico	
Local:		Instituto de Biociências - Rua UFMS, S/N - Cidade Universitária	
Escala:		Indicada	
Data de Emissão do Projeto:		Nº da Revisão:	Data da Revisão:
01/02/2021		N.01	01/02/2021
Conteúdo:			
Planta de Situação e Arranjo Físico das Placas.			
ARQUIVO		PJTFV_INBIO	01/04
DESENHO		Gabriel Silvestri	
DISTRIBUIDORA		Energisa - MS	
Proprietário			
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul			
CNPJ: 15.413.826/0001-50			



- LEGENDA:
- CONDUTORES POSITIVO, NEGATIVO E TERRA RESPECTIVAMENTE.
 - CONDUTORES NEUTRO, FASE, E TERRA, RESPECTIVAMENTE.
 - TUBULAÇÃO ELÉTRICA EM ELETRODUTO DE PVC CORRUGADO FLEXÍVEL EMBUTIDO NO PISO.
 - TUBULAÇÃO ELÉTRICA EM ELETRODUTO DE AÇO ZINCADO APARENTE.
 - TUBULAÇÃO ELÉTRICA EM ELETRODUTO DE PVC RÍGIDO APARENTE.
 - ELETRODUTO 3/4" DE INTERLIGAÇÃO DA STRING ATÉ CAIXA DE PASSAGEM EMBUTIDO NA ESTRUTURA.
 - CAIXA DE PASSAGEM DE ALVENARIA 40X40X40cm
 - TUBULAÇÃO DESCE.
 - TUBULAÇÃO SOBE.
 - LAYOUT DO PAINEL SOLAR
 - QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO GERAL

DIAGRAMA ELÉTRICO
ESCALA 1:175

1. A ENTRADA DE ENERGIA DEVERÁ SER EXECUTADA CONFORME ESPECIFICAÇÕES DA NDU002 (ENERGISA).
2. O CONDUTOR DE ATERRAMENTO DAS PLACAS DEVERÁ SER INTERLIGADO COM O ATERRAMENTO DO PADRÃO DE ENTRADA DE ENERGIA.
3. DEVERÁ SER INSTALADO NA CABINE DE MEDIÇÃO DE ENERGIA UM MEDIDOR BIDIRECIONAL PARA COMPENSAÇÃO DE ENERGIA.
4. O INVERSOR INSTALADO DEVERÁ POSSUIR PROTEÇÃO DE SUB E SOBRETENSÃO, PROTEÇÃO DE SUB E SOBREFREQUENCIA, PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE, RELÉ DE SINCRONISMO E PROTEÇÃO ANTI-ILHAMENTO.
5. DEVERÁ SER INSTALADA UMA PLACA DE ADVERTÊNCIA PRÓXIMO À CAIXA DE MEDIÇÃO / PROTEÇÃO COM OS SEGUINTE DIZERES: " CUIDADO – RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO – GERAÇÃO PRÓPRIA" CONFORME MODELO ESPECIFICADO NA NTD013 (ENERGISA)



CORTE AA'
ESCALA 1:15

Observações

* As medidas estão sujeitas a possíveis alterações, decorrentes aos ajustes em obra, devendo ser conferidas in loco. (Direitos autorais reservados).

Título:

Projeto Fotovoltaico

Local:

Instituto de Biociências - Rua UFMS, S/N - Cidade Universitária

Escala:

Indicada

Data de Emissão do Projeto:

01/02/2021

Nº da Revisão:

N.01

Data da Revisão:

01/02/2021

Conteúdo:

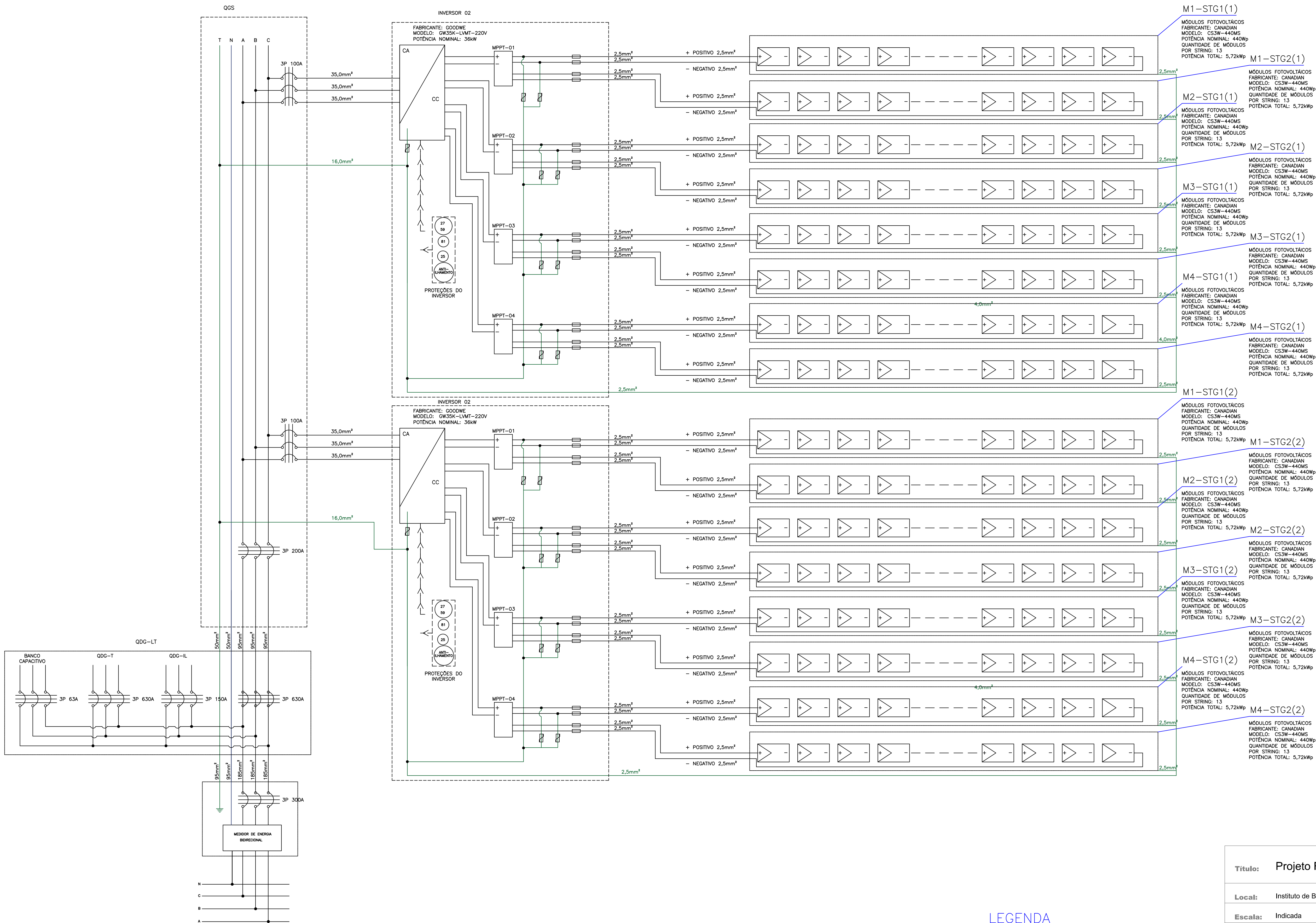
Diagrama elétrico e detalhamento do abrigo dos inversores

ARQUIVO	PJTfV_INBIO	Prancha 02/ 04
DESENHO	Gabriel Silvestri	
DISTRIBUIDORA	Energisa - MS	

Proprietário

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

CNPJ: 15.413.826/0001-50



- M1-STG1(1)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M1-STG2(1)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M2-STG1(1)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M2-STG2(1)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M3-STG1(1)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M3-STG2(1)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M4-STG1(1)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M4-STG2(1)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M1-STG1(2)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M1-STG2(2)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M2-STG1(2)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M2-STG2(2)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M3-STG1(2)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M3-STG2(2)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M4-STG1(2)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp
- M4-STG2(2)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
FABRICANTE: CANADIAN
MODELO: CS3W-440MS
POTENCIA NOMINAL: 440Wp
QUANTIDADE DE MÓDULOS
POR STRING: 13
POTENCIA TOTAL: 5,72kWp

DIAGRAMA TRIFILAR
SEM ESCALA

LEGENDA

- PAINEL SOLAR MONOCRISTALINO 440W/40,1V TAMANHO 2108X1048X40mm
- INVERSOR TRIFÁSICO 36kW/220V COM 4 MPPTs

Título: Projeto Fotovoltaico			
Local: Instituto de Biociências - Rua UFMS, S/N - Cidade Universitária			
Escala: Indicada			
Data de Emissão do Projeto: 01/02/2021		Nº da Revisão: N.01	
		Data da Revisão: 01/02/2021	
Conteúdo:			
Diagrama Trifilar Inversores 01 e 02.			
ARQUIVO		PJTFV_INBIO	
DESENHO		Gabriel Silvestri	
DISTRIBUIDORA		Energisa - MS	
		Prancha	
		04/ 04	
Proprietário			
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul			
CNPJ: 15.413.826/0001-50			

LEGENDA

- PAINEL SOLAR MONOCRISTALINO 440W/40,1V TAMANHO 2108X1048X40mm
- INVERSOR TRIFÁSICO 36KW/220V COM 4 MPPTS

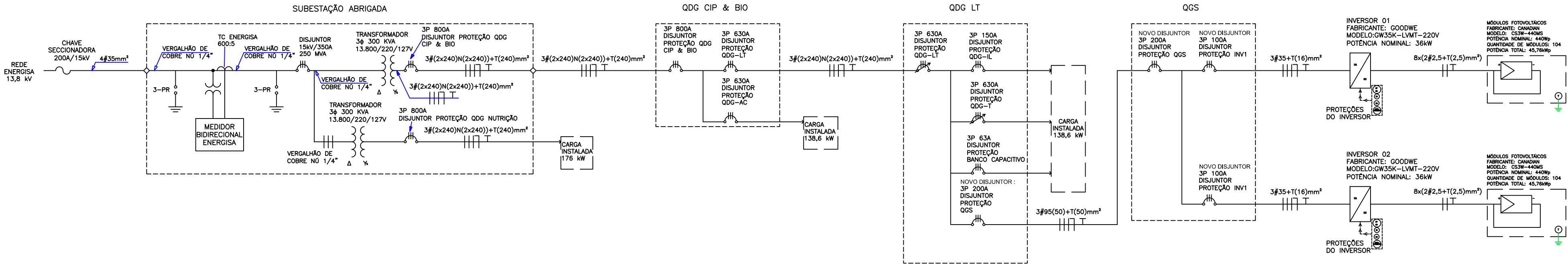
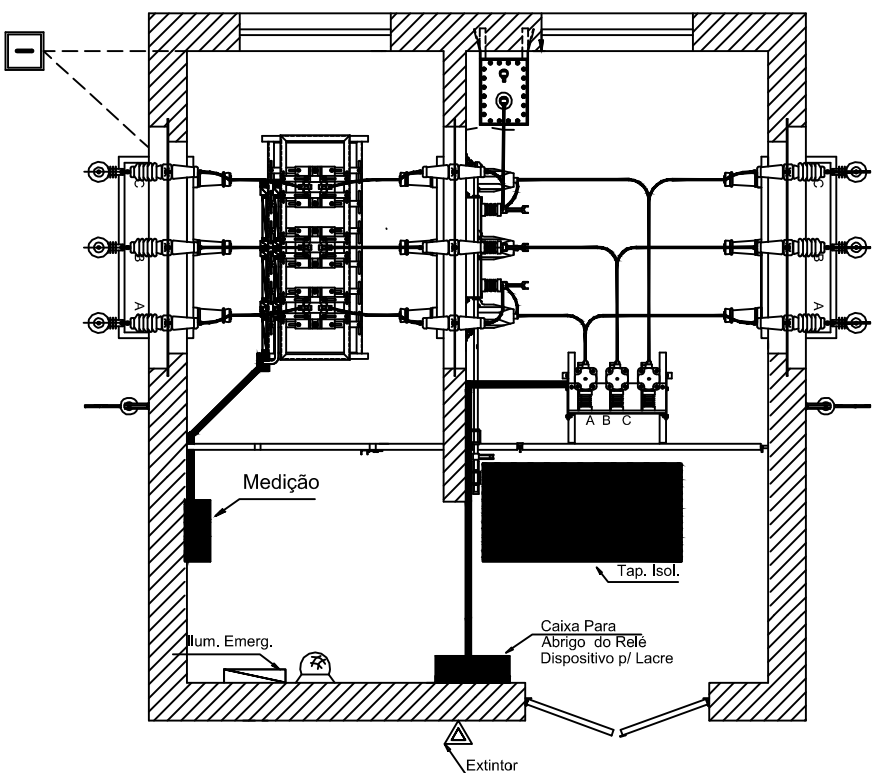
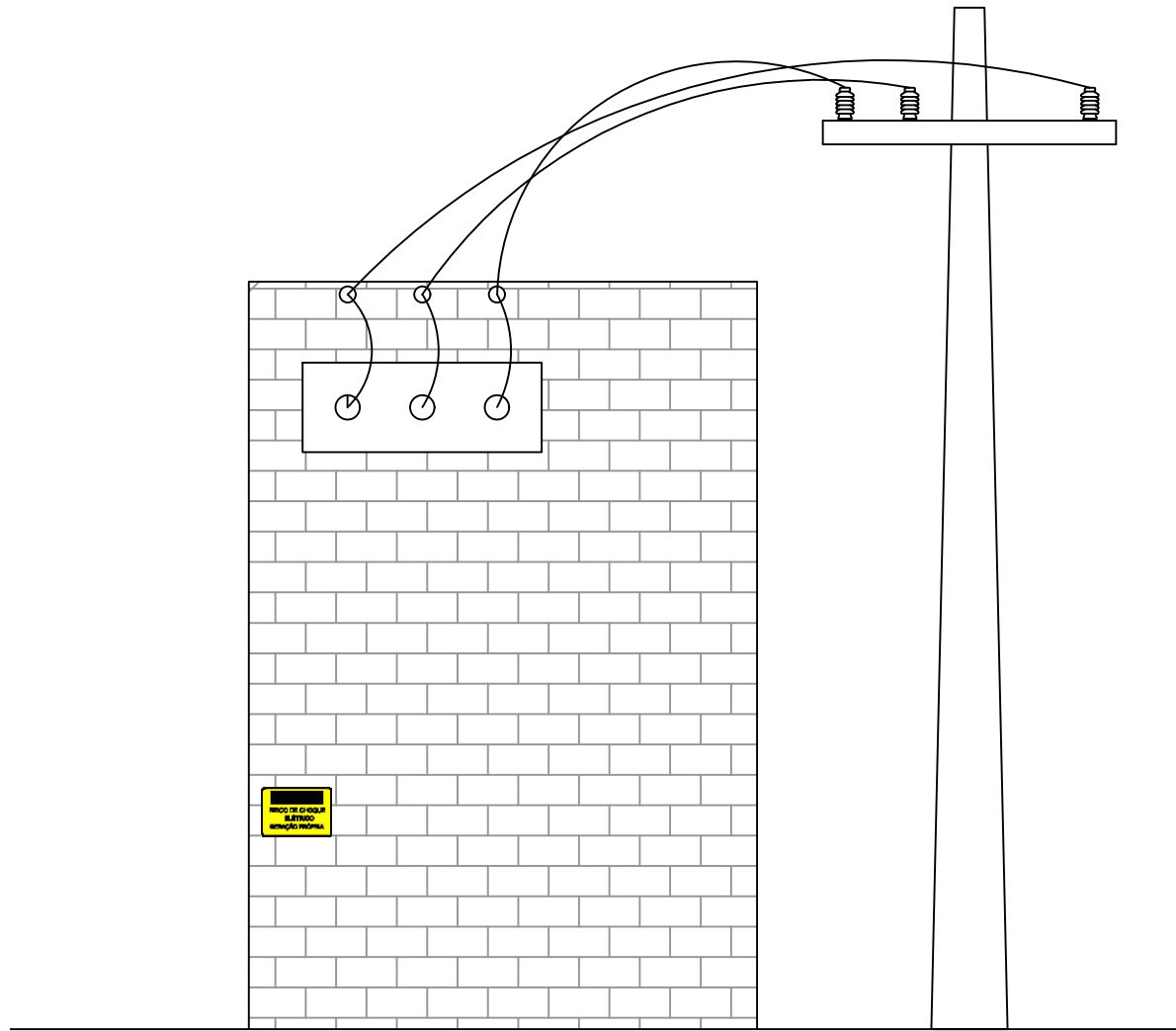


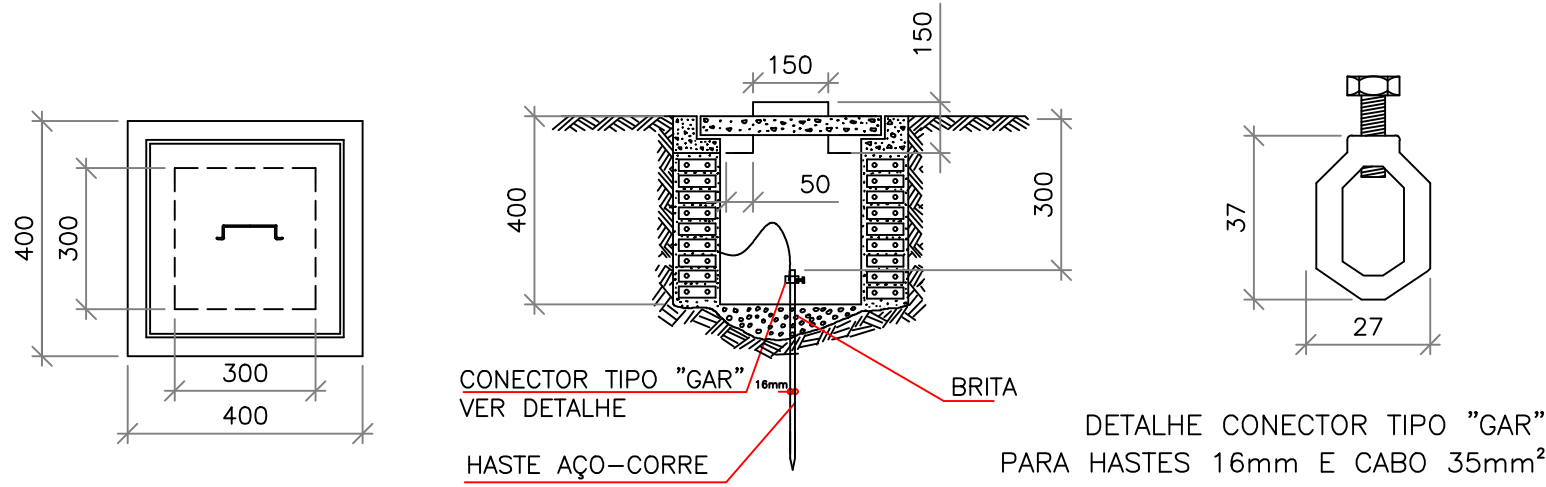
DIAGRAMA UNIFILAR
ESCALA N/A



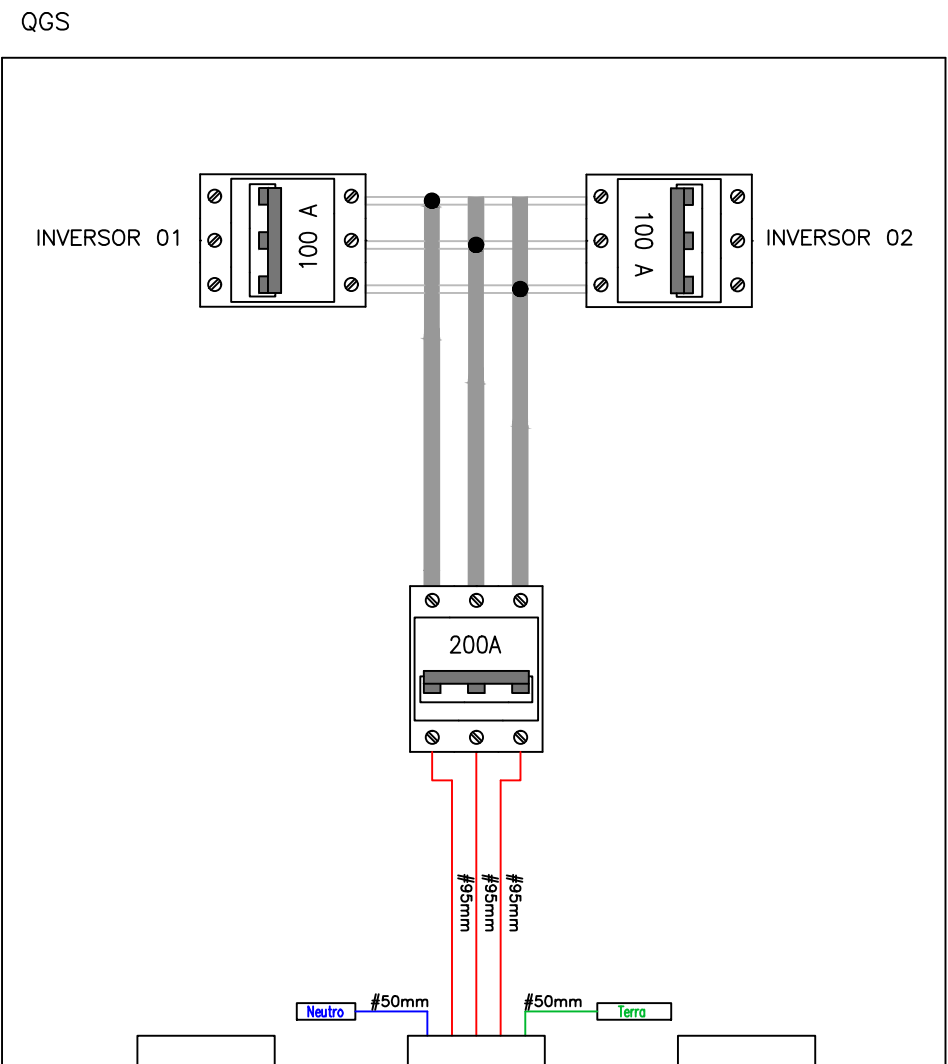
DETALHES DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO
ESCALA 1/50



PONTO DE ENTREGA DA REDE
ESCALA 1/50



DETALHES DA CAIXA DE INSPEÇÃO DO ATERRAMENTO
SEM ESCALA



QUADRO DE GERAÇÃO SOLAR
ESCALA 1/50

NOTAS

1. A ENTRADA DE ENERGIA DEVERÁ SER EXECUTADA CONFORME ESPECIFICAÇÕES DA NDU002 (ENERGISA).
2. O CONDUTOR DE ATERRAMENTO DAS PLACAS DEVERÁ SER INTERLIGADO COM O ATERRAMENTO DO PADRÃO DE ENTRADA DE ENERGIA.
3. DEVERÁ SER INSTALADO NA CABINE DE MEDIÇÃO DE ENERGIA UM MEDIDOR BIDIRECIONAL PARA COMPENSAÇÃO DE ENERGIA.
4. O INVERSOR INSTALADO DEVERÁ POSSUIR PROTEÇÃO DE SUB E SOBRETENSÃO, PROTEÇÃO DE SUB E SOBREFREQUENCIA, PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE, RELÉ DE SINCRONISMO E PROTEÇÃO ANTI-ILHAMENTO.
5. DEVERÁ SER INSTALADA UMA PLACA DE ADVERTÊNCIA PRÓXIMO À CAIXA DE MEDIÇÃO / PROTEÇÃO COM OS SEGUINTE DIZERES: " CUIDADO – RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO – GERAÇÃO PRÓPRIA" CONFORME MODELO ESPECIFICADO NA NTD013 (ENERGISA)

Observações

* As medidas estão sujeitas a possíveis alterações, decorrentes aos ajustes em obra, devendo ser conferidas in loco. (Direitos autorais reservados).

Título:Projeto Fotovoltaico

Local:Instituto de Biociências - Rua UFMS, S/N - Cidade Universitária

Escala:Indicada

Data de Emissão do Projeto:01/02/2021

Nº da Revisão:N.01

Data da Revisão:01/02/2021

Conteúdo:
Diagrama Unifilar, Ponto de Entrega, Posto de Transformação e Quadro de Geração Solar

ARQUIVO	PJTfV_INBIO	Prancha 03/04
DESENHO	Gabriel Silvestri	
DISTRIBUIDORA	Energisa - MS	

Proprietário

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

CNPJ: 15.413.826/0001-50