

Submitted: Feb 16th, 2024

Approved: Mar 22th, 2024

Desenvolvimento de um projeto residencial de energia fotovoltaica *on-grid*: atendendo às regulamentações específicas

Development of a residential on-grid photovoltaic project: meeting specific regulations

Desarrollo de un proyecto residencial de energía fotovoltaica en red: cumplimiento de la normativa específica

Everton Mario de Oliveira

Bacharelado em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: Curitiba, Paraná, Brasil

E-mail: everton00905@unifatecpr.com.br

João Paulo Perbiche

Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná.

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: Curitiba, Paraná, Brasil

E-mail: joao.perbiche@unifatecpr.com.br

RESUMO

A energia elétrica desempenha um papel fundamental para o desenvolvimento socioeconômico de uma sociedade. Dentre as variadas fontes de geração energética, a energia solar fotovoltaica merece destaque, convertendo a energia solar em energia elétrica. Um exemplo notável dessa tecnologia é o sistema fotovoltaico *on-grid*, que opera em sincronia com a rede elétrica, contribuindo para uma significativa redução na demanda por energia convencional. Desta forma, propõe-se a elaboração de um projeto de energia solar fotovoltaica em conformidade com as normativas dos órgãos reguladores, visando à conexão segura e eficiente à rede de distribuição de energia elétrica.

Palavras-chave: energia solar, fotovoltaico, *on-grid*.

ABSTRACT

Electric energy plays a fundamental role in the socioeconomic development of a society. Among the various sources of energy generation, photovoltaic solar energy stands out, converting solar energy into electricity. A notable example of this technology is the on-grid photovoltaic system, which operates in synchronization with the electrical grid, contributing to a significant reduction in the demand for conventional energy. Thus, this project proposes the development of a photovoltaic solar energy system in accordance with regulatory guidelines to ensure a safe and efficient connection to the power distribution network.

Keywords: solar energy, photovoltaic, on-grid.

RESUMEN

La electricidad juega un papel fundamental en el desarrollo socioeconómico de una sociedad. Entre las diversas fuentes de generación de energía destaca la energía solar fotovoltaica, que convierte la energía solar en energía eléctrica. Un ejemplo notable de esta tecnología es el sistema fotovoltaico en red, que funciona de forma sincronizada con la red eléctrica, contribuyendo a una reducción significativa de la demanda de energía convencional. De este modo, se propone la elaboración de un proyecto de energía solar fotovoltaica conforme a la normativa de los organismos reguladores, con vistas a una conexión segura y eficiente a la red de distribución eléctrica.

Palabras clave: energía solar, fotovoltaica, en red.

1 INTRODUÇÃO

A energia é um recurso fundamental para o desenvolvimento de qualquer região, como destacado por Carvalho e Borges (2006). Dessa forma, o fornecimento de uma fonte estável de energia elétrica poderia atender significativamente às necessidades da população. Nesse sentido, a energia solar emerge como uma das opções mais confiáveis, conforme evidenciado por Stecher (2014).

O ser humano vem utilizando a energia solar ao longo de sua história e com esse recurso, tem conseguido suprir parte de suas necessidades de iluminação, aquecimento, desenvolvimento industrial e alimentação (DIAS *et al*, 2017). Porém, segundo Marques, Krauter e Lima (2009), somente após a década de 1950, o aproveitamento da energia solar como fonte alternativa de energia elétrica começou a ocorrer efetivamente.

Existem duas formas distintas de converter energia solar em energia elétrica: a heliotérmica, que utiliza espelhos para direcionar e concentrar a radiação solar, e a utilização de placas fotovoltaicas (CORDEIRO, 2019). Neste último caso, a radiação solar incide sobre a placa fotovoltaica, atravessando a camada transparente de vidro e alcançando o material semicondutor, que pode ser composto por silício ou outro material com boa condutividade elétrica. Neste momento, a energia solar energiza o material semicondutor, induzindo o movimento dos elétrons e gerando uma corrente elétrica (MILLER, 2007).

O sistema de geração de energia solar fotovoltaica demonstra uma notável durabilidade, com uma vida útil esperada de 20 a 25 anos. Entretanto, estudos recentes

conduzidos internacionalmente sugerem que os painéis solares podem superar os 40 anos de vida útil. Além disso, destacam-se pela sua resistência às intempéries, incluindo chuva, granizo e exposição solar intensa. A manutenção é simples e pode ser realizada pelo próprio proprietário, limitando-se à limpeza das placas.

A utilização da energia solar fotovoltaica como fonte de eletricidade oferece uma série de vantagens significativas. Entre elas, destaca-se a redução da demanda de energia proveniente de fontes convencionais, como hidroelétricas e termoeletricas, resultando em economia na conta de energia dos consumidores (NASCIMENTO, 2004). Além disso, a energia solar fotovoltaica é uma fonte renovável e sustentável de geração de energia elétrica, pois não causa impactos ambientais adversos (MILLER, 2007) e não produz resíduos poluentes como óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, óxido nítrico, entre outros (TOLMASQUIM, 2016).

Como evidenciado, um sistema de energia fotovoltaica oferece uma série de vantagens econômicas, sociais e ambientais. Nesse sentido, o principal objetivo esperado com a realização desta pesquisa é desenvolver um projeto residencial de energia fotovoltaica *on-grid* que esteja em conformidade com a legislação aplicável e atenda aos critérios específicos para conexão à rede de distribuição de energia elétrica.

Para atender esse objetivo, pretende-se conhecer as características do sistema de geração de energia fotovoltaica *on-grid*; compreender a legislação e normatização estabelecida pela Copel e outros órgãos competentes para a instalação de sistemas *on-grid* de energia fotovoltaica; dimensionar um sistema residencial de geração de energia fotovoltaica *on-grid* conforme a legislação da Copel.

2 METODOLOGIA

A pesquisa propõe a elaboração de um projeto de energia solar fotovoltaica *on-grid* residencial cumprindo com as normas e legislações pertinentes, garantindo a conformidade para ligação do sistema à rede de distribuição de energia. Para que o projeto seja concretizado, serão necessários, primeiramente, conhecer o funcionamento do sistema *on-grid*, estudar e compreender as normas e legislação para instalação de sistemas fotovoltaicos *on-grid* e após, realizar o dimensionamento do sistema *on-grid*.

2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS *ON-GRID*

Na etapa inicial deste projeto, será realizado um levantamento bibliográfico de caráter exploratório e descritivo, por meio de pesquisas em livros, artigos científicos, periódicos, monografias, dissertações, teses e recursos *online* de órgãos competentes, para identificar as características e vantagens dos sistemas de geração de energia solar fotovoltaico *on-grid*.

2.2 ESTUDO E COMPREENSÃO DAS NORMAS E LEGISLAÇÃO

Pesquisas bibliográficas também serão desenvolvidas com o intuito de conhecer e compreender as normas e legislação que regulamentam os projetos de geração de energia solar fotovoltaica *on-grid*. Nesse sentido, serão consultados os recursos disponíveis nos *websites* da Copel e de outras entidades reguladoras pertinentes.

Os dados coletados nas fases iniciais da pesquisa serão submetidos a uma análise qualitativa, proporcionando uma base sólida para o desenvolvimento da próxima etapa do projeto.

2.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO *ON-GRID*

O sistema fotovoltaico *on-grid* será dimensionado de acordo com as regulamentações estabelecidas pelos órgãos competentes, garantindo sua instalação e conexão adequada à rede de distribuição de energia elétrica.

Inicialmente, será realizado o cálculo do consumo médio mensal de energia elétrica da residência específica. Esses dados serão fundamentais para dimensionar a potência necessária dos módulos fotovoltaicos, selecionar o inversor apropriado, determinar os dispositivos de proteção e especificar o cabeamento necessário para a conexão do sistema.

Ao concluir a pesquisa, será elaborado o diagrama do projeto de instalação utilizando o *software* AutoCAD da Autodesk, na versão disponibilizada para estudantes, proporcionando uma representação visual precisa e detalhada do projeto.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Santos (2019), os sistemas fotovoltaicos podem ser categorizados em três distintos tipos: sistemas conectados à rede (*on-grid*), sistemas autônomos (*off-grid*) e sistemas híbridos. Estas distinções são delineadas pela autonomia dos sistemas, pela composição dos dispositivos, pelos procedimentos relativos ao projeto, pelos custos de instalação e manutenção bem como pelos objetivos propostos (FREITAS, 2020).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, também conhecidos como sistemas *on-grid*, operam em perfeita sincronia com a rede de distribuição de energia elétrica. Em caso de interrupção no fornecimento de energia pela rede, esses sistemas são projetados para desligar automaticamente visando garantir a segurança. São comumente instalados em locais que possuam acesso à rede de distribuição elétrica (SANTOS, 2019).

Segundo Alves (2019), os sistemas *off-grid*, também referidos como sistemas isolados, operam de forma independente da rede elétrica principal. São frequentemente utilizados em regiões remotas ou com acesso limitado à infraestrutura elétrica, como zonas rurais, fazendas, sítios e praias, onde o fornecimento de energia é escasso ou irregular. Esses sistemas são caracterizados pela presença de um sistema de armazenamento de energia, geralmente composto por baterias, permitindo a utilização da energia captada mesmo quando não há disponibilidade imediata de geração fotovoltaica.

Os sistemas híbridos, conectados à rede e dotados de capacidade de armazenamento de energia por meio de baterias, têm se destacado por sua versatilidade. Os sistemas fotovoltaicos híbridos são notáveis pela sua capacidade de integração com a rede de distribuição, possibilitando seu funcionamento contínuo mesmo durante interrupções no fornecimento da concessionária de energia elétrica (SANTOS, 2019).

3.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS *ON-GRID*

Segundo Santos (2019), as vantagens do sistema *on-grid* incluem uma menor quantidade de componentes necessários para sua operação, maior desempenho em comparação com os sistemas *off-grid* e a dispensa de baterias e controladores de carga. Adicionalmente, permite aos consumidores gerar créditos de energia e consumi-los em até 60 meses, além de proporcionar uma redução de até 95% no valor da conta de energia elétrica.

O sistema fotovoltaico *on-grid* aproveita a energia solar como sua fonte primária de energia. Esse sistema não requer o uso de baterias, já que toda a energia gerada pelos painéis solares é direcionada para alimentar os dispositivos elétricos da residência ou, em casos que excedam essa demanda, a energia é enviada diretamente para a rede elétrica (BORTOLOTO *et al*, 2017).

Santos (2019) descreve a estrutura do sistema fotovoltaico *on-grid*, que compreende os seguintes elementos:

- Um conjunto de módulos fotovoltaicos, responsáveis por captar a energia solar.
- Um inversor interativo, amplamente conhecido como *Grid-tied Interactive Inverter*, encarregado de converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) e possibilita a interação do sistema com a rede de distribuição elétrica.
- Um medidor de energia bidirecional para monitorar tanto a energia consumida quanto a energia excedente que é injetada na rede.
- Estruturas de metal projetadas para fixar os módulos fotovoltaicos nos telhados de forma segura e eficiente.
- Componentes elétricos de proteção, garantindo a segurança e o funcionamento adequado do sistema.
- Cabos e conectores para estabelecer as conexões elétricas necessárias entre os diversos componentes do sistema.

3.2 ESTUDO E COMPREENSÃO DAS NORMAS E LEGISLAÇÃO

De acordo com as diretrizes estabelecidas pela Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021, alterada posteriormente pela Resolução Normativa ANEEL nº 1.059/2023, os consumidores têm permissão para instalar geradores de pequeno porte em suas unidades consumidoras e utilizar o sistema elétrico da Copel para injetar o excedente de energia (COPEL, 2024).

Para conectar o sistema de geração de energia fotovoltaica à rede de distribuição da concessionária, é imprescindível que o projeto esteja em conformidade com a legislação vigente. A seguir, são citadas as normas e legislações aplicáveis para sistemas de geração de energia fotovoltaica conectada à rede de distribuição.

3.2.1 Aneel

Resolução Normativa n° 1000/2021 - Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica.

Resolução Normativa n° 414/2010 - Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica.

Resoluções Normativas n° 482 e 517 e 687 - Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

Resolução Normativa n° 956/2021 - Estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).

3.2.2 Normas Técnicas Brasileiras (NBRs)

NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão.

NBR 16612 - Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C. C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

NBR 280 - Condutores de cabos isolados.

NBR 16690 - Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.

NBR 5419-3 - Proteção contra descargas atmosféricas: Danos físicos a estruturas e perigos à vida.

3.2.3 Copel

NTC 905100 - Geração distribuída.

NTC 905200 - Acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema da Copel.
NTC 903105 - Operação em paralelismo momentâneo.

NTC 903107 - Operação isolada em emergência. Guia projetos proteção geração distribuída.

Modelo padrão do projetos de proteção. Memorial modelo UFV.

3.2.4 Homologação na Copel

Para a homologação do projeto de geração de energia fotovoltaica, a Copel solicita a seguinte documentação:

- Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) emitida por um responsável técnico pela elaboração e instalação do projeto fotovoltaico.
- Diagrama unifilar da instalação.
- Memorial descritivo da instalação.
- Número de registro da concessão do Inmetro do inversor ou certificado de conformidade do inversor.
- Documentação do cliente.
- Formulários da Copel.

3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO *ON-GRID*

Analisando as faturas de consumo de energia elétrica dos últimos 12 meses, verifica-se que o consumo médio mensal na residência é de 111,58 kW/h. Considerando que poderá haver um aporte no consumo de energia elétrica nos próximos anos, opta-se por dimensionar o sistema acrescido de 50% sobre o consumo médio mensal.

$$oêca = 111,58 + \frac{111,58 \times 50}{100}$$
$$oêca = 167,37 \text{ k/h}$$

Dessa forma, será necessário gerar aproximadamente 168 kW/h de energia elétrica a cada mês ou 5,6 kW/h por dia.

3.3.1 Índice de produção total de energia fotovoltaica

De acordo com o Global Solar Atlas, para as coodenadas -25.85135° e -049.371058°, que indicam a localização da residência, o índice de produção total de energia fotovoltaica (irradiação) é de 4,634 kW/h/m² por dia (INTERNATIONAL

SOLAR ALLIANCE, 2024).

3.3.2 Rendimento

As perdas de energia em sistemas fotovoltaicos são causadas por diversos fatores, como sombreamento; acúmulo de poeira; *mismatch*, que é a diferença entre a quantidade de energia gerada por dois ou mais painéis fotovoltaicos; variações de temperatura; além de perdas no cabeamento de corrente contínua e alternada e no inversor (SOUSA; FRANCO, 2018). Neste estudo, foram consideradas as perdas referenciadas pela literatura. Bloemer e Macedo (2020) apontaram uma taxa de perdas de 20% em um projeto desenvolvido em Foz do Iguaçu, Paraná, enquanto Sousa e Franco (2018) observaram perdas de 18% em estudos realizados em Loanda, também no Paraná. Assim, optou-se por adotar um índice de perdas de 20% para o dimensionamento do projeto, resultando em um rendimento total do sistema de 80%.

3.3.3 Escolha dos equipamentos e materiais

Para o dimensionamento do projeto foram selecionados os seguintes equipamentos e materiais:

Painel fotovoltaico: modelo LNVU-555M ; marca Luxen Solar; potência 555 W.

Inversor: modelo SUN2000G3; marca Deye; potência 2000 W.

Condutores: cabos de cobre de 4 mm² e de 6 mm².

Conectores: MC4.

Dispositivo DPS: Clamper Front V 275V 20kA.

Chave seccionadora: 1000 Vcc e 32 A.

Fusível: 16 A

3.3.4 Cálculo da quantidade de painéis

Para calcular a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários será utilizada a equação:

$$u_{\text{pane e aés}} = \frac{P_{\text{oc}} \times \eta_{\text{inv}}}{\eta_{\text{ca}} \times \eta_{\text{tra}} \times \eta_{\text{con}}}$$

$$u_{\text{pane e aés}} = \frac{5,6}{0,555 \times 4,634 \times 0,8}$$

$$u_{\text{pane e aés}} = 2,72$$

Logo, serão necessários três painéis de 555 W, totalizando 1665 W de potência. O inversor selecionado deve ser capaz de suportar essa carga, justificando a escolha de um inversor com capacidade de 2000 W.

3.3.5 Informações referentes aos demais materiais e dispositivos

Os painéis fotovoltaicos fornecem uma tensão de máxima potência de 42,43 V e uma corrente de máxima potência de 13,01 A. Assim, no lado CC, serão utilizados condutores solares de 6 mm², resistentes a raios UV, para assegurar maior segurança e durabilidade do sistema. Além disso, foram especificados um dispositivo DPS de 275 V e 20 kA, um fusível de 16 A e uma chave seccionadora de 1000 VCC e 32 A.

O inversor fornece, em sua saída, uma tensão de 220 V e uma corrente máxima de 10,1 A. Para o lado CA, será utilizado um condutor de 4 mm², além de um dispositivo DPS de 275 VCA e 20 kA e um disjuntor de 25 A.

O sistema de aterramento foi projetado em conformidade com os requisitos das normas NBR 5410, NBR 16690, NBR 16612 e NBR 5419-3. São utilizados condutores de 6 mm² conectados a todos os dispositivos e à estrutura de fixação dos painéis fotovoltaicos, além de haste de aterramento de 10 mm de diâmetro e 2,40 m de comprimento.

O diagrama unifilar da instalação, um dos documentos exigidos para a homologação do projeto, foi elaborado com o auxílio do *software* AutoCAD, da Autodesk, seguindo os modelos e guias disponibilizados pela Copel, conforme mencionado nesta pesquisa. Além disso, foram respeitados os requisitos das Normas Técnicas da Copel, as resoluções da Aneel e as normas brasileiras da ABNT. O diagrama unifilar está representado no APÊNDICE A.

Uma planilha de materiais e custos foi elaborada para demonstrar o investimento

necessário para a instalação do sistema de geração de energia fotovoltaica, bem como o tempo estimado para o retorno desse investimento. A referida planilha pode ser encontrada no APÊNDICE B.

No ato da homologação junto à Copel, devem ser anexados os seguintes documentos: a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do responsável pelo desenvolvimento do projeto, o memorial descritivo da instalação disponibilizado pela Copel e ajustado com as informações do projeto, o número de registro de concessão do Inmetro ou o certificado de conformidade do inversor, e a documentação do cliente. Neste momento, tais documentos não serão elaborados, pois se trata de um projeto acadêmico com o objetivo de familiarizar-se com os procedimentos necessários para a homologação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de geração de energia fotovoltaica é uma alternativa eficaz para reduzir os gastos com a conta de energia elétrica convencional. Esse sistema pode suprir toda a demanda de energia do consumidor e até gerar um excedente, que é direcionado à rede de distribuição da concessionária. Esse excedente resulta em créditos de energia que podem ser utilizados futuramente, proporcionando ainda mais economia.

Os sistemas fotovoltaicos *on-grid* são mais eficientes e econômicos em comparação com os sistemas *off-grid*, pois utilizam menos componentes, possuem menor custo de instalação, permitem que o excesso de energia gerada seja enviado para a rede elétrica e oferecem maior facilidade de manutenção e expansão.

O projeto de geração de energia solar fotovoltaica é dimensionado conforme os critérios estabelecidos pela Aneel, pela ABNT e pela Copel. Dessa forma, a operação do sistema torna-se segura e eficiente, garantindo que a energia gerada atenda aos padrões exigidos e possa ser conectada à rede da concessionária.

Após a análise da fatura de energia elétrica da residência, foi possível calcular a quantidade de energia necessária para ser gerada pelo sistema. Com esses dados, foram selecionados os modelos dos painéis e do inversor e, com base em suas especificações técnicas, foi realizado o dimensionamento dos condutores e do sistema de proteção.

O diagrama unifilar foi elaborado conforme a necessidade de geração de energia do sistema projetado, seguindo as regulamentações específicas das legislações aplicáveis, garantindo a conexão ao sistema de distribuição da Copel.

A realização deste trabalho acadêmico possibilitou a obtenção de um maior conhecimento técnico referente às normas e procedimentos necessários para o desenvolvimento de projetos de energia fotovoltaica *on-grid*.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 15 set. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 17 abr. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 517, de 11 de dezembro de 2012. Altera a Resolução Normativa nº 482/2012, para aperfeiçoar as condições gerais de acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 dez. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Estabelece critérios para a aplicação da modalidade de geração compartilhada e outras alterações nas regras de microgeração e minigeração distribuída. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 25 nov. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 956, de 29 de junho de 2021. Estabelece alterações nas condições de fornecimento de energia elétrica e nos procedimentos comerciais das distribuidoras. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 30 jun. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021. Estabelece as disposições de caráter geral aplicáveis às distribuidoras de energia elétrica. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 dez. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 1.059, de 23 de maio de 2023. Estabelece alterações nos procedimentos para microgeração e minigeração distribuída. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 24 maio 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 280: condutores de cabos isolados. Rio de Janeiro, 1965.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5410: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5419-3: proteção contra descargas atmosféricas – parte 3: danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16690: sistemas fotovoltaicos (FV) – requisitos mínimos para sistemas conectados à rede elétrica (on-grid). Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16612: sistemas fotovoltaicos – características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro, 2020.

ALVES, M. O. L. **Energia Solar: Estudo da Geração de Energia Elétrica Através dos Sistemas Fotovoltaicos On-Grid e Off-Grid**. 2019. 76 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Ouro Preto. João Monlevade, MG, 2019.

BLOEMER, M.; MACEDO, W. **Projeto fotovoltaico: homologação Copel**. 2020. 43 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Uniamérica, Foz do Iguaçu, 2020.

BORTOLOTO, V. A.; SOUZA, A.; GOES, G.; MARTINS, M. A.; BERGHE, M. J.; MONTANHA, G. K. Geração de Energia Solar On Grid e Off Grid. In: Anais da 6ª Jornada Científica e Tecnológica da FATEC de Botucatu. Botucatu, São Paulo, 2017.

CARVALHO, P. C. M.; BORGES, M. R. Energia solar fotovoltaica no semi-árido: estudo de caso sobre a atuação do PRODEEM em Petrolina-PE. **Encontro de Energia no Meio Rural AGRENER**. Campinas, 2006.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. NTC 905100: Geração distribuída. Curitiba, 2015.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. NTC 905200: Acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema da Copel. Curitiba, 2015.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. NTC 903105: Operação em paralelismo momentâneo. Curitiba, 2017.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. NTC 903107: Operação isolada em emergência. Curitiba, 2017.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/poder-publico/micro-e-mini-geracao/>. Acesso em: 29/03/2024.

CORDEIRO, B. S. **Análise de estudos ambientais de empreendimentos fotovoltaicos de geração centralizada no Brasil**. 2019. 70 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.

DIAS, C. T. C.; SILVA, W. K. M.; FREITAS, G. P.; NASCIMENTO, J. F. Energia solar no Brasil. **InterScientia**. Vol. 5 • Nº 1 • Ano 2017.

FREITAS, I. A. R. **Sistemas Fotovoltaicos On-grid e Off-grid**. 2020. 71 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2020.

INTERNATIONAL SOLAR ALLIANCE. Global Solar Atlas. Global Solar Atlas, 2023. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/map>>. Acesso em: 10/09/2024.

MARQUES, R. C.; KRAUTER, S. C. W.; LIMA, L. C. Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia energética para o nordeste brasileiro. **Rev. Tecnol.** Fortaleza, v. 30, n. 2, p. 153-162, dez. 2009.

MILLER, G. T. **Ciência Ambiental**. São Paulo: Cengage Learning. 11° ed. 2007.

NASCIMENTO, C. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. 2004. 23 f. Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004.

SANTOS, R. A. **Estudos de Caso e Comparação da Viabilidade Econômica para a Implementação de um Sistema Fotovoltaico On-Grid e Off-Grid**. 2019. 147 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário UNIFACVEST. Lages, SC, 2019.

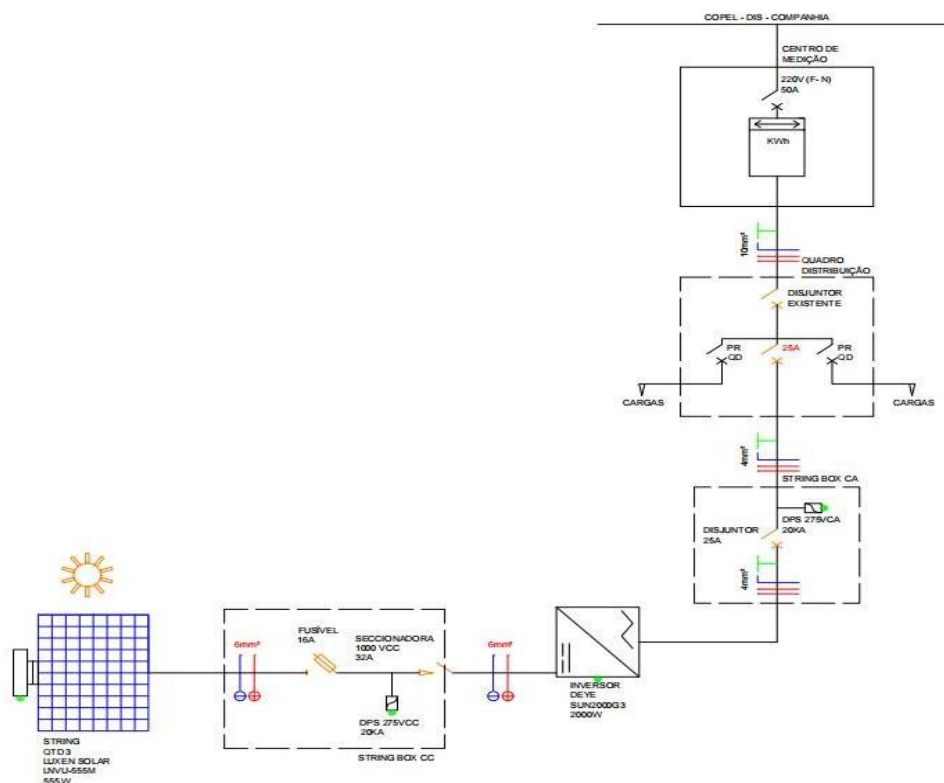
SOUSA, C. P.; FRANCO, T. A. S. **Projeto e instalação de um sistema fotovoltaico residencial conectado a rede de distribuição**. 2018. 112 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

STECHER, L. C. **Cálculo de viabilidade econômica de fontes alternativas de energia considerando seus custos ambientais para pequenas comunidades da região nordeste brasileira**. 2014. 171 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Reatores) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE: Rio de Janeiro, 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A



APÊNDICE B

Planilha de materiais e custos					
Material/dispositivo	Marca	Modelo	Quantidade	Valor unitário (R\$)*	Valor total (R\$)*
Painel	Luxen Solar	LNVU-555M	3	717,3	2151,9
Inversor	Deye	SUN2000G3	1	1629	1629
DPS	Clamper	Front V 275V 20kA	2	41,99	83,98
Chave seccionadora	Sibratec	SC100R-PM32R-4T	1	280,81	280,81
Fusível	JNG	16a 1000v Gpv	1	77,43	77,43
Condutor 4 mm ²	Cordeiro	Cortox SOLAR 4 mm ²	10 m	4,3	43
Condutor 6 mm ²	Cordeiro	Cortox SOLAR 6 mm ²	10 m	5,86	58,6
Conector	SOYO	MC4 30A 1000VCC	10	2,95	29,5
Custo total (R\$)*					4354,22

* Valores estimados para Dezembro de 2024.

O valor médio da conta de energia utilizada para desenvolver o projeto é de R\$ 121,00. Logo, o investimento para a instalação do sistema de geração de energia fotovoltaica seria quitado em torno de 36 meses. Porém, ainda é necessário realizar o pagamento de algumas taxas da Copel, não sendo possível zerar totalmente a conta de energia. Desta forma, estima-se que o investimento seja quitado entre 48 e 60 meses.