



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS - UFGD

FACULDADE DE ENGENHARIA - FAEN

ENGENHARIA DE ENERGIA

**DIMENSIONAMENTO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DE
UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA CLASSE 34,5 KV**

PEDRO GONÇALVES SANCHES PEREIRA

DOURADOS - MS

2023

PEDRO GONÇALVES SANCHES PEREIRA

**DIMENSIONAMENTO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DE
UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA CLASSE 34,5 KV**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a banca examinadora da
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal da Grande Dourados para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia de Energia.

Orientador:

Prof. Dr. Etienne Biasotto.

Área de Concentração: 3.04.04.00-2
Sistemas Elétricos de Potência

DOURADOS – MS

2023

PEDRO GONÇALVES SANCHES PEREIRA

**DIMENSIONAMENTO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA
SUBESTAÇÃO ELÉTRICA CLASSE 34,5 KV**

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.00-2, Sistemas Elétricos de Potência, pela comissão formada por:

Documento assinado digitalmente
 **ETIENNE BIASOTTO**
Data: 12/12/2023 16:43:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador: Prof. Dr. Etienne Biasotto
FAEN - UFGD



Prof. Dr. Orlando Moreira Júnior
FAEN - UFGD

Documento assinado digitalmente
 **GERSON BESSA GIBELLI**
Data: 21/12/2023 18:04:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gerson Bessa Gibelli
FAEN - UFGD

**DOURADOS -MS
13 DE NOVEMBRO DE 2023**

DIMENSIONAMENTO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA CLASSE 34,5 KV

Pedro Gonçalves Sanches Pereira¹; Etienne Biasotto²

Discente do curso de Engenharia de Energia¹; Docente do curso de Engenharia de Energia²

pgsp97@gmail.com¹; etiennebiasotto@ufgd.edu.br²

RESUMO – As subestações de energia elétrica têm como objetivo a transmissão e distribuição do fluxo de potência da rede da concessionária até o consumidor e/ou gerador de energia. Para o bom funcionamento de uma subestação, é necessário um projeto elétrico completo, que consiste no entendimento das necessidades do usuário, coleta dos dados do local e dimensionamento dos equipamentos e proteções conforme as normas vigentes. Este artigo descreve a elaboração do projeto de uma subestação abrigada, com potência aparente de 500 kVA, relação de transformação de 34,5 kV (alta tensão) para 0,8 kV (baixa tensão) e ramal de entrada subterrâneo. A subestação será projetada e dimensionada para a conexão de uma usina solar fotovoltaica, com potência de pico de 450 kWp, situada na cidade de Ponta Porã, no estado de Mato Grosso do Sul.

Palavras-chave: Subestação abrigada. Ramal subterrâneo. Fotovoltaica.

ABSTRACT – Electric power substations have as their objective the transmission and distribution of power flow from the utility network to the consumer/generator of energy. For a substation to work well, a complete electrical project is required, which consists in understanding the client's needs, collecting data from the site, and dimensioning the equipment and protections according to the norms in effect. This paper describes the design for a sheltered substation, with an apparent power of 500 kVA, 34.5 kV (high voltage) to 0.8 kV (low voltage) transformer ratio, and underground branch line. The substation will be designed and dimensioned for the connection of a solar photovoltaic plant, with peak power of 450 kWp, located in the city of Ponta Porã in the state of Mato Grosso do Sul.

Keywords: Sheltered substation. Underground cables. Photovoltaic.

1 INTRODUÇÃO

A geração distribuída de energia elétrica no Brasil teve seu início em 17 de abril de 2012, data em que entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, revisada pela Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015 e posteriormente atualizada pela Resolução Normativa ANEEL nº 1059/2023. Com isso o consumidor brasileiro pode gerar a sua própria energia elétrica, a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, e ainda injetar o excedente na rede de distribuição. São classificadas como microgeração distribuída as centrais geradoras com potência instalada de até 75 quilowatts (kW) e minigeração aquelas com potência instalada maior que 75 kW e menor ou igual a 5 MW (ANEEL, 2023).

O crescimento da mini e microgeração tem sido incentivado nos últimos anos por diversas ações regulatórias, como, por exemplo, a possibilidade de compensar a energia excedente de uma central geradora em outras unidades consumidoras, desde que estejam na mesma titularidade e sob responsabilidade da mesma concessionária de energia (ANEEL, 2023). Esses estímulos se justificam pelos benefícios que a categoria proporciona para o sistema elétrico brasileiro, como a redução dos impactos ambientais, a diminuição de perdas nas linhas de

transmissão e a diversificação da matriz elétrica (ABSOLAR, 2021).

Neste atual cenário, muitos consumidores optam por investir em centrais geradoras com mini e microgeração. Dentre as fontes renováveis utilizadas que mais cresceram destaca-se a solar fotovoltaica, que no ano de 2021 atraiu R\$ 21,8 bilhões em investimentos para o setor e apresentou um aumento de 65 % na potência instalada entre o final de 2020 e o final de 2021, saltando de 7,9 para 13 GW (ABSOLAR, 2022).

As subestações exercem papel fundamental na conexão entre as usinas e a rede de distribuição e são responsáveis por transferir a energia produzida e regular as suas características para os padrões de tensão e corrente desejáveis. Toda central geradora com potência de geração que se enquadre em minigeração ($75 \text{ kW} < P \leq 5 \text{ MW}$) deve ser, obrigatoriamente, conectada por uma subestação particular.

Para a conexão de centrais geradoras com potência de pico acima de 300 kWp, é necessária a elaboração de projeto e instalação de uma subestação particular (ou subestação de consumidor) em cabine abrigada. O projeto deve ser elaborado de acordo com as Normas Técnicas Brasileiras (NBR) e os critérios vigentes da concessionária, que, no caso do objeto deste artigo, estão compreendidos nas Normas Técnicas Unificadas 002 (Fornecimento de

Energia Elétrica em Tensão Primária) e 015 (Critérios para a Conexão em Média Tensão de ACESSANTES de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição) da Energisa Mato Grosso do Sul (ENERGISA, 2022). Fica a cargo da concessionária a análise e homologação do projeto apresentado pelo acessante e, somente após a aprovação, a subestação poderá passar pela etapa de comissionamento.

Neste artigo, será descrita a elaboração de um projeto elétrico de uma subestação abrigada, que será instalada para a conexão de uma usina solar fotovoltaica, situada na cidade de Ponta Porã, no estado do Mato Grosso do Sul, sob concessão da Energisa Mato Grosso do Sul (EMS).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Sustentado pela literatura, este capítulo apresentará os conceitos importantes para a realização do trabalho. Serão abordados os requisitos necessários para o desenvolvimento de um projeto de subestação abrigada em alvenaria para conexão de minigeração.

2.1 SUBESTAÇÃO

Segundo Mamede (2017), uma subestação é composta por um conjunto de condutores e equipamentos que tem como objetivo adequar as características da energia elétrica, possibilitando a distribuição até o consumidor em níveis adequados de corrente

e tensão. As subestações podem ser classificadas conforme a sua função da seguinte forma:

- Subestação central de transmissão: São instaladas próximas às usinas produtoras de energia. Seu objetivo é elevar o nível de tensão da rede de transmissão, para que seja possível transmitir a energia por longas distâncias, com poucas perdas.
- Subestação receptora de transmissão: São instaladas perto dos grandes centros de carga e recebem, pela linha de transmissão, a energia vinda da subestação central.
- Subestação de subtransmissão: Fica centralizada no bloco de cargas e é alimentada pela subestação receptora. Dela derivam os circuitos dos alimentadores de distribuição.
- Subestação de consumidor: Também chamada de subestação particular por algumas distribuidoras, sendo construída em propriedade particular do consumidor e é suprida pelos alimentadores de distribuição. Na qual faz a conexão entre o circuito de potência, em alta tensão, com as instalações do usuário, em baixa tensão. Tem o objetivo de fornecer energia elétrica a um único consumidor final, atendendo às suas necessidades energéticas.

2.2 SUBESTAÇÃO DE CONSUMIDOR

De acordo com Mamede (2017), as subestações particulares podem ser classificadas pelo seu tipo de método construtivo, que é definido levando em consideração as condições técnicas e econômicas do projeto. No geral, podem ser classificadas como:

- Subestação em alvenaria: são aquelas em que os equipamentos são instalados em abrigo de alvenaria, de forma que fiquem protegidos das intempéries. O abrigo geralmente é uma edificação dividida em cabines, onde cada uma delas possui uma função específica. Geralmente são utilizadas em instalações com espaço disponível perto do centro de cargas, pois esse tipo de instalação requer uma área construída relativamente grande.
- Subestação modular metálica: também chamada de subestação blindada ou em invólucro metálico, é uma opção mais compacta, geralmente utilizada nos casos em que o espaço disponível é reduzido. Como o nome sugere, é construída dentro de um invólucro metálico, dividido internamente em cabines. Nessa modalidade, os principais equipamentos, mas não necessariamente o transformador,

ficam encerrados nos cubículos ou cabines.

- Subestação de instalação exterior: diferente das duas anteriores, nesse modelo de subestação, os equipamentos ficam ao tempo, portanto, requerem o uso de aparelhos que permitam o funcionamento em condições adversas. Pode ser instalada em postes ou torres, plataforma elevada de concreto e até mesmo sobre a cobertura de edifícios. Sua utilização varia de acordo com as normas das concessionárias. Na EMS, por exemplo, as subestações externas em poste são limitadas a 300 kVA e as subestações externas no nível do solo são permitidas apenas em determinados níveis de tensão (ENERGISA, 2019).

2.3 PONTO DE ENTREGA

É o ponto de conexão entre as instalações elétricas do cliente e a rede de distribuição da concessionária de energia. Localiza-se no limite da via pública com a propriedade do consumidor. O ponto de entrega define o limite de responsabilidade do fornecimento de energia da concessionária: a partir deste ponto as instalações são de responsabilidade do consumidor (ENERGISA, 2019).

2.4 COMPONENTES DE UMA SUBESTAÇÃO

Além da parte civil, uma subestação é composta por dispositivos de manobra, controle e proteção, podendo também incluir estruturas de montagem, transformadores, equipamentos conversores e outros (ABNT, 1992). Em uma subestação abrigada em alvenaria, os equipamentos ficam divididos em quatro setores: Ramal de entrada, medição, proteção e transformação (ENERGISA, 2019).

Nos próximos tópicos, serão apresentados os setores que compõem uma subestação e os seus principais equipamentos, na mesma sequência em que são instalados fisicamente, tendo como ponto de partida o ramal de entrada e como ponto final, a cabine de transformação.

2.4.1 RAMAL DE ENTRADA

O ramal de entrada consiste no trecho do circuito entre o ponto de entrega até a entrada da medição. Nele os condutores podem ser aéreos ou subterrâneos (MAMEDE, 2017).

O ramal aéreo é composto por cabos nus suspensos, fixados em estruturas isoladoras próprias para instalações aéreas. E para o caso do ramal subterrâneo, os condutores devem ser isolados e instalados em eletrodutos ou enterrados diretamente no solo (MAMEDE, 2017).

Na área de concessão da EMS, o ramal subterrâneo é permitido mediante as seguintes condições (ENERGISA, 2019):

- Os condutores devem ser unipolares, de cobre e instalados em eletrodutos de aço galvanizado, conforme a NBR 5624.
- Não é permitida a passagem do ramal por vias públicas ou propriedades de terceiros.
- É necessária a instalação de um cabo reserva, que será energizado e sinalizado com placa de advertência “Perigo de Morte – Cabo Energizado”.
- Deve dispor de caixa de passagem na base do poste onde descem os condutores, em cada curva do ramal subterrâneo e na entrada da subestação.
- Deve dispor de para-raios na estrutura de derivação da rede.

2.4.1.1 PARA-RAIOS

Os para-raios são equipamentos essenciais para o bom funcionamento de uma subestação. São eles os responsáveis por proteger os demais equipamentos de possíveis sobretensões, que podem ser ocasionadas por manobras no sistema ou descargas atmosféricas. Em condições normais, o para-raios funciona como um circuito aberto; porém, quando ocorre uma sobretensão, atua impedindo que a tensão

ultrapasse um certo limite predefinido (D'AJUZ, 1985).

Em comparação ao sistema que protege, o para-raios é um equipamento simples e de baixo custo. É constituído de um elemento resistivo que pode ou não ser ligado a um centelhador (PEREIRA, [s.d.]).

No caso das subestações na área de concessão da Energisa, é prevista pela norma técnica a instalação de para-raios com resistor não linear ZnO (Óxido de Zinco), com isolamento polimérico compatível com a classe de tensão da subestação. Deverão ser instalados na derivação da rede da concessionária e também na entrada da cabine de medição (ENERGISA, 2019).

2.4.2 CABINE DE MEDIÇÃO

A cabine de medição é o compartimento no qual ficam instalados os equipamentos auxiliares da medição da concessionária e outros acessórios. O acesso a essa cela é restrito à distribuidora de energia, devendo ser lacrado para não possibilitar a entrada de terceiros.

2.4.2.1 MUFLA TERMINAL

A mufla terminal, também chamada de terminação, é responsável por fazer a transição entre um condutor isolado para um condutor nu ou terminal de equipamento, de forma que as condições de isolamento na extremidade do condutor isolado sejam reestabelecidas. Atualmente as muflas do tipo

termocontrátil são amplamente utilizadas para este propósito (MAMEDE, 2019).

2.4.2.2 BARRAMENTO PRIMÁRIO

São os condutores que fazem a conexão entre as cabines da subestação e seus componentes. Podem ser feitos com vergalhões ou barras de seção retangular de cobre. O condutor é feito com o cobre obtido por meio da eletrólise, obtendo um nível de pureza de 99,99 % (MAMEDE, 2019).

2.4.2.3 TRANSFORMADOR DE CORRENTE

De acordo com Mamede (2019), são equipamentos utilizados para transformar a corrente em valores menores, na maioria dos casos 1 A ou 5 A, de forma que a corrente que chega aos equipamentos de medição e proteção esteja padronizada. Dessa forma, os instrumentos ficam isolados do circuito de potência, proporcionando mais segurança ao operador.

Os transformadores de corrente (TC's) possuem dois enrolamentos, monofásicos, chamados de primário e secundário, que são isolados entre si eletricamente, entretanto acoplados magneticamente. O enrolamento primário é ligado em série com o circuito de alta tensão, enquanto o secundário fica conectado em série com o instrumento de medição ou proteção. A corrente que passa pela bobina do primário induz, no enrolamento secundário, uma corrente que é

reduzida de acordo com a relação de transformação do TC (MARDEGAN, 2010).

Para exemplificar, vamos considerar o seguinte caso: A relação de transformação de um TC é de 40 e no primário circula uma corrente de 200 A; logo a corrente no secundário será de 5 A ($200/40 = 5$). A relação de transformação também pode ser representada como 200:5 A (MAMEDE, 2019).

Em uma subestação abrigada, é necessária a instalação de dois tipos de TC's, o de proteção e o de medição, situados respectivamente nas cabines de medição e proteção. Os transformadores de corrente para medição não serão aprofundados neste trabalho, pois os mesmos são dimensionados e fornecidos pela distribuidora de energia.

Os TC's de proteção são os responsáveis por fornecer a leitura de corrente para o relé. A seguir serão apresentadas algumas características elétricas que são importantes para o dimensionamento correto dos TC's de proteção.

- Corrente Nominal: a corrente nominal primária do TC deve estar compatível com a corrente da carga que passa pelo circuito de alta tensão. As correntes nominais secundárias geralmente são iguais a 5 A. Apenas em alguns casos específicos, em que é necessário reduzir a queda de tensão no fio, é adotada a corrente de 1 A (MAMEDE, 2019).

- Carga Nominal: chamamos de carga a impedância que o circuito secundário do TC apresenta, considerando um determinado fator de potência e a corrente nominal secundária. A carga nominal é a máxima carga possível no secundário do TC sem que perca os requisitos de exatidão, e deve ser maior que a somatória da impedância dos cabos e dos equipamentos de medição ligados no TC (ABNT, 2021).
- Classe de Exatidão: são categorias atribuídas aos transformadores de corrente. Garantem que o erro composto de corrente do TC não será maior que o valor definido, em porcentagem, para a sua categoria, desde que esteja operando dentro do limite de exatidão. Para os TC's de proteção existem duas classes de exatidão padronizadas: 5P e 10P (ABNT, 2021).

Figura 1. TC para uso interno em epóxi.



Fonte: (REHTOM, 2023).

- Fator-limite de Exatidão: é o valor que multiplica a corrente nominal do primário, para obter a maior corrente primária que satisfaça os requisitos de erro composto do TC. Os fatores-limite de exatidão padronizados são: 5, 10, 15, 20 e 30 (ABNT, 2021).

2.4.2.4 TRANSFORMADOR DE PONTENCIAL

Os transformadores de potencial (TP's), assim como os TC's, são equipamentos utilizados tanto na proteção quanto na medição das subestações. São responsáveis por fornecer uma tensão padronizada, geralmente 115 V ou $115/\sqrt{3}$ V conforme a ABNT NBR 6855 (2021), para os instrumentos de medição e proteção. Assim, torna-se possível a aplicação de equipamentos menores e com isolamento baixo.

Figura 2. TP para uso interno em epóxi.



Fonte: (REHTOM, 2023).

Além dos serviços de medição e proteção, o TP também é utilizado para fornecer energia em baixa tensão para os serviços auxiliares da subestação, que podem

ser compostos por diversas cargas, entre: iluminação interna e de emergência, tomadas de uso geral, dispositivos de comunicação, sistema de proteção contra incêndio, ventilação, etc.

2.4.2.5 ISOLADORES

São os elementos responsáveis por sustentar e isolar os condutores de alta tensão. No caso das subestações, são utilizados para fixar rigidamente os vergalhões de cobre.

Os isoladores devem possuir as propriedades elétricas e mecânicas necessárias, para que sejam capazes de suportar os esforços gerados pelos condutores. Por isso, são fabricados basicamente com três tipos de materiais, que possuem resistência elétrica e mecânica adequadas: cerâmica, vidro ou fibra (MAMEDE, 2019).

2.4.3 CABINE DE PROTEÇÃO

É a cabine onde ficam instalados os elementos de proteção e seccionamento da subestação. A proteção deve atuar sempre que for identificada alguma anormalidade no funcionamento do sistema, podendo ser uma sobretensão, sobrecarga, curto-circuito, etc. A NBR 14039 (2021) define que, para subestações com potência de transformação acima de 300 kVA, a proteção geral obrigatoriamente deve ser feita com o uso de um disjuntor, acionado por um relé contendo

no mínimo as proteções 50 e 51 de fase e neutro. Dentro dessa cabine ainda são instalados outros elementos como: chaves, fusíveis, TC's e TP's.

2.4.3.1 RELÉ DE PROTEÇÃO

De acordo com Mamede (2017), o relé é uma classe de equipamento que abrange diversos tipos de dispositivos com diferentes formas, funções e aplicações. No caso da subestação, objeto deste artigo, foi utilizado um relé do tipo secundário, ou seja, que não atua diretamente no circuito de potência.

Figura 3. Relé Pextron URP 6000.



Fonte: (PEXTRON, 2023).

Essencialmente, o relé é o elemento responsável por adquirir e avaliar as informações fornecidas pelos TC's e TP's e, caso seja detectada alguma anormalidade, deve seccionar o disjuntor da cabine de proteção. Porém, com o avanço da tecnologia, ele passou a ser projetado para ter memória

de dados, o que possibilita diversas facilidades na operação, como por exemplo: monitoramento detalhado dos dados antes, durante e depois de cada ocorrência no sistema elétrico, conexão com computador para o ajuste das características de funcionamento, controle por acesso remoto, programação de alarmes e comandos, etc (MAMEDE, 2017).

Os relés possuem diversas funções de proteção e cada uma delas é representada por um número, de acordo com a norma ANSI IEC 61850. A norma da concessionária apresenta as funções mínimas de proteção que são necessárias para conexão de uma unidade geradora na rede de alta tensão, de acordo com a norma da Energisa NDU-015 (2022).

2.4.3.2 NOBREAK

É a fonte auxiliar para a alimentação da proteção geral e deve ser utilizado para garantir que não haja falta de fornecimento durante uma ocorrência. Pela norma NDU-015 (2019), é previsto um nobreak de no mínimo 1000 VA para essa finalidade.

2.4.3.3 CHAVE SECCIONADORA

De acordo com o Vocabulário Eletrotécnico Internacional – IEC (1984), seccionador é o dispositivo mecânico de comutação que, na posição de abertura, proporciona uma distância de isolamento suficiente para seccionar o circuito e, na

posição de fechamento, mantém a continuidade do circuito.

Nas subestações de consumidor, as chaves seccionadoras são utilizadas para realizar manobras, permitindo o isolamento de transformadores, barramentos, disjuntores, entre outros elementos do sistema, para realizar serviços de manutenção. Também possibilitam *by-pass* de dispositivos e transferência de cargas entre barramentos.

Figura 4. Chave seccionadora com fusível.



Fonte: (REDE COMPACTA, 2023).

A chave seccionadora é composta basicamente por um circuito principal, um circuito secundário de comando e um dispositivo de operação. Pode ou não possuir cartuchos de fusíveis fabricados em epóxi ou fenolite (MAMEDE, 2019).

2.4.3.4 DISJUNTOR DE ALTA TENSÃO

Diferente das chaves de manobra, o disjuntor é um equipamento capaz de interromper correntes maiores que a de carga

do sistema. Quando utilizado em conjunto com um relé, dispositivo que faz a sua parametrização, adquire características de proteção e interrompe correntes de curto-circuito.

Quando ocorre a separação dos contatos do disjuntor, é formado um arco elétrico que mantém a corrente circulando no circuito. É importante que este arco seja extinguido o mais rápido possível para o bom funcionamento da proteção. Com esse propósito, são utilizados diversos princípios de interrupção da corrente elétrica. Abaixo são citados os principais tipos de disjuntores, de acordo com suas respectivas técnicas de extinção do arco elétrico (MAMEDE, 2019).

- Disjuntor a óleo: nele, o processo de abertura dos contatos se dá no interior de um recipiente com óleo mineral. Durante a abertura, o arco elétrico se forma e, devido à sua alta temperatura, as camadas mais próximas do óleo são evaporadas formando um gás. Esse gás tende a subir, levando consigo o arco elétrico, que se alonga e se extingue (CARVALHO, 1995).

Essa técnica é muito utilizada em subestações de consumidor de pequeno e médio porte devido à sua simplicidade e baixo custo, porém vem perdendo espaço para os disjuntores a vácuo (MAMEDE, 2019).

- Disjuntor a vácuo: a sua técnica de interrupção consiste na abertura dos contatos em uma câmara com vácuo na ordem de 10^{-8} torr. Quando os contatos se abrem e forma-se o arco elétrico, é gerado um vapor metálico proveniente da decomposição dos contatos elétricos do disjuntor. A corrente flui por esse meio até passar pelo ponto zero natural da senoide. Próximo a esse ponto o vapor metálico se condensa rapidamente, em questão de microssegundos, e é restaurada a rigidez dielétrica entre os contatos (MAMEDE, 2019).

Os disjuntores a vácuo são indicados para instalações que necessitam de um grande número de manobras, pois a vida útil de seus contatos é longa em relação aos disjuntores a óleo. Além disso, permitem rápidas religações e suas necessidades de manutenção são muito reduzidas (CARVALHO, 1995).

- Disjuntores a SF_6 : nesse tipo de equipamento, a abertura dos contatos é feita em uma câmara contendo o gás SF_6 (hexafluoreto de enxofre). Funciona, resumidamente, da seguinte forma: no momento em que os contatos se abrem, é manifestado o arco elétrico e rapidamente o gás SF_6 atua absorvendo os elétrons livres da

região, reestabelecendo a rigidez dielétrica (MAMEDE, 2019).

Figura 5. Disjuntor a vácuo 36 kV.



Fonte: (C MULLER, 2023).

2.4.4 CABINE DE TRANSFORMAÇÃO

É a cela destinada à instalação dos transformadores de potência e pode ou não ter dispositivos de proteção individual. De acordo com a NBR 14039 (2021), para instalações que utilizem transformadores a óleo acima de 500 kVA é necessário um sistema de contenção ou drenagem do líquido.

2.4.4.1 TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA

O transformador de potência é o componente que converte a energia elétrica, com determinado nível de tensão e frequência, em uma energia elétrica de mesma frequência, porém com outro nível de tensão. Geralmente possui dois enrolamentos, o primário ligado ao circuito de alta tensão e o secundário ligado ao circuito das cargas de baixa tensão. Não existe

conexão direta entre a entrada e a saída do transformador. O fluxo da energia ocorre por meio de um campo magnético (CHAPMAN, 2013).

Figura 6. Transformador de potência trifásico.



Fonte: (JOCLAMAR, 2020).

A forma construtiva dos transformadores de potência pode variar em diversos aspectos, dependendo de sua finalidade. As principais particularidades dos transformadores são:

- Meio isolante: segundo Mamede (2019), os transformadores podem ser classificados pelo meio isolante utilizado. Existem dois tipos: transformadores a seco e transformadores em líquido isolante.

Os transformadores a seco possuem um custo elevado e são utilizados em locais onde existe um alto risco de incêndio, não sendo recomendado nesses casos o transformador em líquido isolante.

- Tipo de ligação: conforme Mamede (2019), os enrolamentos dos transformadores podem ser ligados de três formas diferentes.

A ligação em delta ou triângulo é aquela em que as bobinas são ligadas entre si, ou seja, o fim de uma é ligado ao início da outra. Esse tipo de ligação é comumente utilizado no primário dos transformadores, para permitir o transporte em alta tensão com apenas três condutores.

O arranjo em que todas as bobinas são ligadas ao mesmo ponto é chamado de ligação estrela. Geralmente é utilizada no secundário dos transformadores, de forma que fique disponível um condutor neutro para aterramento ou alimentação a quatro fios.

Existe ainda uma terceira forma de ligação, em zigue-zague, utilizada em casos específicos onde são necessárias três tensões de utilização diferentes. Os transformadores que possuem esse tipo de ligação são relativamente maiores e mais caros.

3 PROJETO DE SUBESTAÇÃO

Neste tópico serão expostas as informações preliminares para a elaboração do projeto elétrico da subestação, que foram levantadas observando as necessidades do consumidor e as características do

empreendimento. Esses dados foram obtidos por meio de vistorias, consultas à distribuidora de energia e pelo dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Posteriormente serão feitos os cálculos e considerações necessárias para definição dos equipamentos da subestação.

3.1 INFORMAÇÕES PRELIMINARES

3.1.1 EQUIPAMENTOS DO SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Os equipamentos do sistema fotovoltaico foram escolhidos com base na geração de energia pretendida pelo consumidor. Esse valor foi fixado após um estudo detalhado do padrão de consumo das unidades, incluindo a geradora e as beneficiárias que irão participar do sistema de compensação de energia. A análise feita apontou a necessidade dos seguintes equipamentos:

Tabela 1. Principais equipamentos do sistema fotovoltaico.

Inversores	Quantidade
Inversor Goodwe GW225K-HT	2
Módulo Risen RSM120-8-590BMDG	934

Fonte: Próprio autor.

3.1.2 DEMANDA DA UNIDADE

O levantamento de cargas e cálculo de demanda das instalações do consumidor geralmente é o ponto de partida para o dimensionamento de uma subestação. Esse cálculo é feito para definir a potência de

transformação necessária para o atendimento das necessidades energéticas.

Neste caso específico, as cargas do consumidor são inferiores a 75 kW e, portanto, segundo as normas da concessionária, poderia ser atendido em baixa tensão, sem a necessidade de instalação de uma subestação particular. Porém, a necessidade de um posto de transformação se dá pela potência de geração de energia, que é maior que 75 kW. Desta forma, a potência do transformador foi dimensionada levando em consideração apenas a potência de saída dos inversores:

Tabela 2. Potência de geração em (kW) dos inversores.

Inversores	Potência de Saída (kW)
Goodwe GW225K-HT	225
Goodwe GW225K-HT	225
Total	450

Fonte: Próprio autor.

3.1.3 TIPO DE LIGAÇÃO

Para obter as condições de conexão do empreendimento à rede da concessionária, foi solicitado um documento chamado “informação de acesso”. Esse documento fornece informações referentes ao tipo de ligação, tensão de conexão, frequência e outros parâmetros elétricos importantes para o estudo de proteção.

De acordo com a consulta de viabilidade feita à Energisa, a unidade será atendida por uma ligação trifásica derivada do

alimentador “POV-53” com tensão de 34,5 kV e frequência de 60 Hz.

3.1.4 DADOS DE CURTO-CIRCUITO DA REDE

De acordo com a informação de acesso fornecida pela distribuidora de energia, os dados referentes ao curto-circuito da rede são os apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de curto-circuito da rede.

Curto-circuito			
Trifásico (A)		Fase-terra (A)	
Módulo	Ângulo	Módulo	Ângulo
769,81	-56,88	734,76	-61,41

Fonte: (ENERGISA, 2021).

3.2 DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES

3.2.1 MUFLAS

Em razão de a entrada da subestação ser feita com ramal subterrâneo, é prevista pela norma da concessionária a instalação de muflas terminais de uso interno e externo. Serão instaladas quatro unidades, uma para cada fase e outra para o cabo reserva, tanto para as terminações de uso interno quanto para as de uso externo.

As muflas de uso externo serão instaladas no poste da distribuidora, para fazer a conexão entre os condutores da rede aérea com os cabos do ramal subterrâneo. Já as muflas de uso interno serão instaladas no cubículo de medição, para fazer a conexão dos cabos do ramal subterrâneo com os vergalhões de cobre.

A escolha de ambas é feita com base na tensão de atendimento da unidade e da

bitola do cabo do ramal subterrâneo. Para este projeto foi definido o uso da terminação termocontrátil “Raychem HVT-353”, própria para conexão com cabos 35 mm² e tensão de 34,5 kV.

3.2.2 PARA-RAIOS

Semelhante às muflas, é prevista pela norma a instalação de para-raios, tanto no poste da concessionária quanto no cubículo de medição. Entretanto, não é necessário o uso de uma unidade reserva, sendo preciso apenas uma para cada fase.

Foi escolhido o para-raios “Balestro PBP 36/10” com isolamento polimérico e corrente de descarga de 10 kA, conforme orientado na NDU 002, e com tensão nominal de 36 kV.

3.2.3 ISOLADORES

Da mesma forma que as muflas e para-raios, os isoladores são escolhidos com base na classe de tensão da subestação. Foi necessário, para suporte dos vergalhões, um total de onze isoladores pedestal em epóxi com tensão nominal de 36,2 kV.

3.2.4 CONDUTORES DE ALTA TENSÃO

3.2.4.1 RAMAL DE ENTRADA

Devido à proximidade entre a subestação e os módulos fotovoltaicos, foi feita a opção pelo ramal de entrada subterrâneo. Essa modalidade possibilita que a subestação em alvenaria seja mais compacta

e, portanto, não projete sombra sobre sistema.

O condutor deve se enquadrar nas exigências da concessionária, conforme descrito no tópico 2.4.1. Com relação à seção nominal, a norma estabelece quatro opções e as respectivas potências em kVA, conforme a Tabela 4.

Pode ser observado que a potência da subestação está dentro do kVA máximo admitido pelas quatro opções. Portanto, foi

3.2.4.2 BARRAMENTOS

O dimensionamento da seção dos barramentos deve ser feito de acordo com as normas da concessionária, que leva em

escolhida a seção de 35 mm², pois, entre as disponíveis no fornecedor, era a com o melhor custo.

3.3.6 TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA

A especificação desse equipamento deve ser feita com base nas suas particularidades e nas características da instalação: potência demandada pela unidade, meio isolante, tipo de ligação e nível de tensão primária e secundária.

consideração a potência de transformação. O espaçamento fase-fase e fase-terra também é adotado conforme o que determina a distribuidora de energia.

Tabela 4. Ramal de entrada subterrâneo – condutores de cobre.

SEÇÃO NOMINAL (mm ²)	CAPACIDADE DE MÁXIMA DE CORRENTE (A)		kVA MÁXIMO ADMISSÍVEL A 90 °C							
			11,4 kV		13,8 kV		22 kV		34,5 kV	
	EPR	XLPE	EPR	XLPE	EPR	XLPE	EPR	XLPE	EPR	XLPE
25	119	123	2.350	2.429	2.844	2.940	4.535	4.687	7.110	7.349
35	143	148	2.824	2.922	3.418	3.538	5.449	5.640	8.545	8.843
50	169	175	3.337	3.455	4.039	4.183	6.440	6.668	10.098	10.457
70	199	214	4.127	4.226	4.996	5.115	7.964	8.154	12.488	12.787

Fonte: (ENERGISA, 2019).

Tabela 5. Dimensionamento do barramento de cobre.

POTÊNCIA TOTAL DOS TRANSFORMADORES	TUBO		BARRA		VERGALHÃO
(kVA)	IPS	mm ²	Polegadas	mm ²	Polegadas
Até 1100	3/8	17.2	3/4 x 3/16	6.3	1/4
De 1101 a 1800	1/2	21.3	3/4 x 3/16	8	5/16
De 1801 a 2500	1/2	21.3	3/4 x 3/16	9.5	3/8
>2500	Apresentar memória de cálculo				

Fonte: (ENERGISA, 2019).

A potência nominal do transformador deve ser maior ou igual à demanda máxima da unidade em kVA. Para obter o valor da demanda em potência aparente (S), basta multiplicar a potência ativa (P) dos equipamentos pelo fator de potência (fp) dos mesmos, conforme a Equação 3.1.

$$S \text{ (kVA)} = P * fp \quad (3.1)$$

Considerando o fator de potência dos inversores obtido na folha de dados do fabricante, temos:

$$S = 450 * 1 = 450 \text{ kVA}$$

Portanto, foi adotado o valor de 500 kVA, sendo este o valor comercial mais próximo do obtido pelo cálculo da demanda.

Sobre o tipo de meio isolante, existe apenas uma restrição: a norma ABNT NBR 14039 não permite o uso de transformadores a óleo em subestações que são integradas à edificação do consumidor. Levando em conta que a subestação será construída à parte de qualquer outra edificação, foi escolhido o transformador a óleo, pois, ao ser cotado com o fornecedor, apresentou um menor custo em relação ao transformador a seco.

Com relação ao tipo de ligação, foi definido o uso de um transformador delta-estrela aterrado, conforme especifica a norma NDU 002.

A tensão primária do transformador deve estar de acordo com o nível de tensão da

rede do local, ou seja, 34,5 kV. Com relação à tensão do secundário, é interessante que esteja no mesmo nível dos principais equipamentos da unidade consumidora, neste caso, os inversores. Portanto, foi definida a tensão secundária em 800 V, que é a mesma da saída dos inversores.

3.2.6 DISJUNTOR DE ALTA TENSÃO

De acordo com a NDU 002, os disjuntores devem ser a vácuo ou SF₆, caso a subestação seja integrante do prédio, com corrente nominal mínima de 350 A e capacidade de interrupção mínima de 350 MVA. Além dessas especificações, a corrente nominal de primária e a corrente de curto-circuito trifásica devem estar dentro do limite suportado pelo disjuntor.

A corrente nominal do primário, ou corrente de carga, (I_n) é obtida pela equação 3.2, onde (D) é a demanda da unidade e (V_{np}) é a tensão primária. A corrente nominal do disjuntor deve ser maior que esse valor.

$$I_n \text{ (A)} = \frac{D}{\sqrt{3} * V_{np}} \quad (3.2)$$

$$I_n = \frac{450000}{\sqrt{3} * 34500} = 7,53 \text{ A}$$

A corrente de curto-circuito trifásica, informada pela concessionária na Tabela 3, deve ser menor que a corrente de curto-circuito nominal do disjuntor.

Seguindo as especificações da distribuidora, foi definido o disjuntor a vácuo

“C MULLER 36 kV”, que possui as seguintes características:

- Corrente nominal: 630 A;
- Capacidade de interrupção: 1500 MVA;
- Corrente de curto-circuito nominal: 25 kA.

3.2.7 CHAVE SECCIONADORA

Deve ser instalada uma chave seccionadora tripolar na entrada da cabine de proteção, para que seja possível fazer o seccionamento e manutenção do disjuntor. Essa chave deve ter classe de tensão e corrente compatíveis com o circuito de potência. Portanto, foi definido o uso de uma chave seccionadora tipo faca com classe de tensão 36 kV e corrente nominal de 400 A.

Também é prevista uma chave seccionadora com fusível tipo HH antes de cada unidade transformadora. A corrente do elo fusível ($I_{fusível}$) é dimensionada pela Equação 3.3, conforme sugere o fabricante.

$$I_{fusível} (A) = I_n * 2 \quad (3.3)$$

$$I_{fusível} = 15,06 \cong 20 A$$

Portanto, foi escolhida uma chave fusível tripolar com classe de tensão 36 kV e corrente nominal de 400 A, portando um elo fusível 20HH.

3.2.8 TRANSFORMADOR DE CORRENTE

A escolha da especificação de um transformador de corrente comporta os seguintes parâmetros: tensão nominal, corrente nominal primária, carga nominal, relação de transformação, classe de exatidão e fator limite de exatidão.

A tensão nominal de operação do TC é de 34,5 kV, portanto será especificado o valor comercial mais próximo, ou seja, 36 kV.

A determinação das outras características do TC é feita por meio de um processo iterativo, que tem por objetivo verificar se as características pré-definidas atendem ao critério de saturação, conforme descrito a seguir.

Dependendo da impedância total conectada no secundário do TC, relação de transformação e corrente de curto-circuito, o fluxo magnético gerado pode saturar o núcleo do transformador de corrente. Caso isso ocorra, o TC não reproduzirá fielmente a corrente primária no seu secundário, comprometendo a proteção do sistema (MARDEGAN, 2010).

Para saber se o TC irá saturar ou não, deve ser calculada a tensão do secundário ($V_{máx}$) considerando a máxima corrente de curto-circuito ($I_{CCmáx}$) e a impedância total conectada no TC (Z_T), conforme a Equação 3.5. Esse valor deve ser inferior à tensão de saturação do transformador de corrente.

A impedância total no secundário do TC (Z_T) é dada pela equação 3.4. Onde $R_{relé}$ é a resistência do relé, R_c é a resistência do condutor de 4 mm² que faz a conexão entre o TC e o relé, R_{TC} é a resistência do TC e X_{TC} a resistência indutiva do TC.

$$Z_T(\Omega) = \sqrt{(R_{relé} + R_c + R_{TC})^2 + X_{TC}^2} \quad (3.4)$$

$$V_{máx}(V) = \frac{I_{CCmáx}}{RTC} * Z_T \quad (3.5)$$

Para a primeira iteração foi escolhido um TC com as seguintes características:

- Corrente nominal primária: 50 A;
- Carga nominal: 5 VA;
- Relação de transformação: 50:5;
- Classe de exatidão: 10P;
- Fator limite de exatidão: 20.

Após definir os parâmetros iniciais do TC, o relé a ser utilizado, a distância e o tipo de cabo conectado ao secundário, foram obtidos os dados das resistências de cada componente com o respectivo fabricante. Aplicando as equações 3.4 e 3.5, tem-se:

$$Z_T = \sqrt{(0,007 + 0,141 + 0,036)^2 + 0,017^2}$$

$$Z_T = 0,184 \Omega$$

$$V_{máx} = \frac{768,810}{10} * 0,184 = 14,146 V$$

De acordo com a norma ABNT NBR 6856, a tensão de saturação para potência de 5 VA é 20 V. Portanto, as especificações indicadas na primeira iteração atendem ao

critério de saturação. Para este projeto foram instalados três transformadores de corrente, um para cada fase do sistema.

3.2.9 TRANSFORMADOR DE PONTENCIAL

São previstos no projeto três tipos de transformadores de potencial, dimensionados para executar diferentes funções dentro do sistema da subestação.

3.2.9.1 SERVIÇOS AUXILIARES E PROTEÇÃO

Os serviços auxiliares e a proteção do sistema terão, para cada um, um TP dedicado para a alimentação de suas cargas. Esses dois TP's serão conectados em uma ligação delta aberto.

O dimensionamento do TP para serviços auxiliares foi feito com base na demanda apresentada na Tabela 6. Já o TP para alimentação das cargas da proteção foi definido de acordo com as recomendações do fornecedor dos equipamentos de proteção.

Tabela 6. Demanda dos serviços auxiliares.

Carga	Quantidade	Demanda (kVA)
Lâmpada Emergência	2	0,38
Lâmpada Fluorescente	4	0,06
Tomada	4	0,50
Total		0,94

Fonte: Próprio autor.

Foram definidas, para ambos, as seguintes características:

- Potência térmica: 1000 VA;
- Grupo: 1;
- Relação de transformação: 34500:220.

3.2.9.2 SINAL DE PROTEÇÃO

Serão utilizados três transformadores de potencial, ligados em estrela, para fornecer os dados de tensão para o relé. Os TP's terão as seguintes características:

- Potência térmica: 1000 VA;
- Grupo: 2;
- Relação de transformação: $34500/\sqrt{3} : 115$;
- Classe de exatidão: 0,3.

3.2.10 RELÉ

O relé deve possuir todos os parâmetros de proteção solicitados pela concessionária, conforme Tabela 7. Portanto, foi escolhido o relé “Pextron URP 6000”, que atende todas as especificações.

Tabela 7. Funções mínimas de proteção para minigeração conectada em alta tensão.

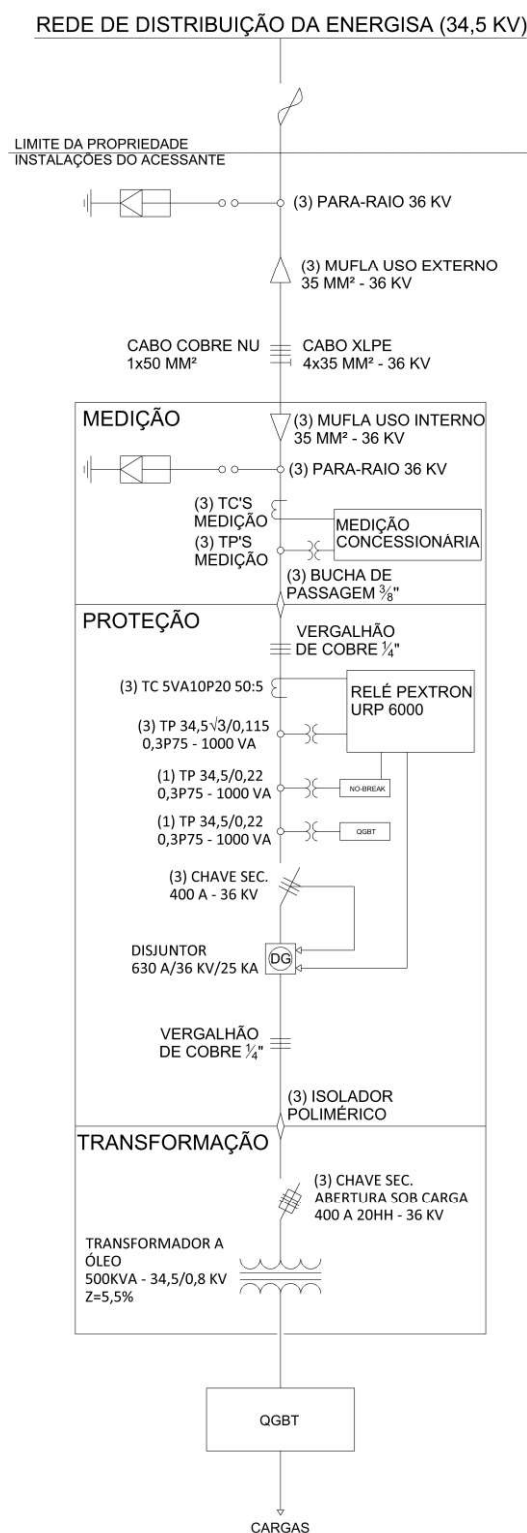
Código	Proteção
21	Relé de distância de fase
21N	Relé de distância de neutro
25	Verificação de sincronismo
27	Relé de subtensão
32	Relé direcional de potência
46	Relé de reversão de corrente
47	Relé de reversão de tensão
50/51	Relé de sobrecorrente
59	Relé de sobretensão
59N	Relé de sobretensão de neutro
62	Relé de tempo de conexão
67	Relé de sobrecorrente direcional
67N	Relé de sobrecorrente direcional de neutro
78	Relé de medição de ângulo de fase
81	Relé de frequência

Fonte: (ENERGISA, 2022).

3.3 DIAGRAMA UNIFILAR

Após a definição de todos os equipamentos do sistema, o diagrama unifilar ficou conforme a Figura 7.

Figura 7. Diagrama unifilar.



Fonte: Próprio autor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso apresentado neste trabalho foi desenvolvido com o objetivo de formar um roteiro básico para elaboração de projeto de subestação, mais especificamente para conexão de centrais minigeradoras ao sistema elétrico.

No desenvolvimento do trabalho, foi possível introduzir noções sobre a importância das subestações no contexto atual do setor elétrico brasileiro, em que cada consumidor tem o direito de se tornar gerador de energia.

Com apoio na literatura, foram apresentados os principais componentes e conceitos necessários para o entendimento do funcionamento da subestação de consumidor. Por fim, com base nos conceitos aprendidos ao longo da graduação e em observância às normas técnicas brasileiras e da concessionária, foi determinada a especificação dos equipamentos a serem instalados.

Portanto, conclui-se que o objetivo principal do trabalho foi alcançado, ou seja, foi possível realizar o levantamento de demanda, dimensionamento do transformador, elementos de proteção e condutores.

Vale ressaltar que o projeto de uma subestação abrigada deve considerar outros aspectos que não puderam ser mencionados neste trabalho, devido à grande extensão da área de conhecimento que os abrange. O

projeto completo deve conter um estudo de proteção e seletividade, estudo da malha de aterramento e construção do layout da subestação. Esses assuntos podem ser abordados em futuros trabalhos.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **2022: o melhor ano da energia solar no Brasil.** 2022. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/2022-o-melhor-ano-da-energia-solar-no-brasil/#:~:text=Para%20a%20gera%C3%A7%C3%A3o%20pr%C3%B3pria%20de,at%C3%A9%20o%20final%20do%20ano>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

ABSOLAR. **ABSOLAR projeta que GD solar pode trazer R\$ 13,3 bilhões em benefícios para consumidores do setor elétrico até 2035.** 2021. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/absolar-projeta-que-gd-solar-pode-trazer-r-133-bilhoes-em-beneficios-para-consumidores-do-setor-eletrico-ate-2035/#:~:text=ABSOLAR%20projeta%20que%20GD%20solar>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Geração Distribuída.** 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa Aneel Nº 1.000.** 2021. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa Aneel Nº 1.059.** 2023. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5460: Sistemas elétricos de potência.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6855: Transformador de potencial indutivo com isolamento sólida para tensão máxima igual ou inferior a 52 kV - Especificação e ensaios.** Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6856: Transformador de corrente com isolamento sólida para tensão máxima igual ou inferior a 52 kV - Especificação e ensaios.** Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão, de 1,0 kV a 36,2 kV.** Rio de Janeiro, 2021.

CARVALHO, Antônio Carlos Cavalcanti de. et al. **Disjuntores e Chaves: Aplicação em Sistemas de Potência.** Rio de Janeiro: EDUFF, 1995.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas.** 5ª ed. Rio Grande do Sul: AMGH, 2013.

C MULLER, Disjuntor 36kV. **C MULLER**, 2021. Disponível em: <<https://cmuller.com.br/disjuntor-36kv/>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

D'AJUZ, Ary. et al. **Equipamentos Elétricos: Especificação e Aplicação em Subestações de Alta Tensão.** Rio de Janeiro: Furnas Centrais Elétricas - SA, 1985.

ENERGISA. **Norma de Distribuição Unificada NDU 002: Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária.** Minas Gerais, 2019.

ENERGISA. **Norma de Distribuição Unificada NDU 015: Critérios para a Conexão em Média Tensão de ACESSANTES de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição.** Paraíba, 2022.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60050 - International Electrotechnical Vocabulary - Details for IEC number 441-14-05: "disconnector". **Electropedia**, 1984. Disponível em: <<https://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=441-14-05>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

JOCLAMAR. Transformador trifásico a óleo. **Joclamar**, 2020. Disponível em: <https://joclamar.com.br/product/transformador-trifasico-a-oleo-231kv-500kva-380220v/>. Acesso em: 07 jul. 2023.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais: de acordo com a norma brasileira NBR 5419:2015.** 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de Equipamentos Elétricos.** 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

MARDEGAN, Cláudio. **Proteção e Seletividade.** São Paulo: O Setor Elétrico, 2010.

PEREIRA, Marco Polo. **Considerações Básicas sobre Pára-raios.** Rio de Janeiro: Furnas Centrais Elétricas - SA, [s.d.].

PEXTRON. **Pextron**, 2021. As Melhores Soluções para a Proteção de Sistemas de Geração Distribuída e Geração Centralizada. Disponível em: <<https://www.pextron.com/index.php/pt-br/>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

REDE COMPACTA. Chave Seccionadora. **Rede Compacta**, 2022. Disponível em: <<https://redecompacta.com.br/produto/chave-seccionadora/>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

REHTOM. **Rehtom**, 2023. Linha de Transformadores para Instrumentos. Disponível em: <<https://www.rehtom.com.br/>>. Acesso em: 19 jun. 2023.