



Desenvolvimento e Implementação Cabine de Subestação em Média Tensão

Development and Implementation of a Medium Voltage Substation Enclosure

Matheus Ricardo Souza de Lima

Graduando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

Ronaldo Gomes Figueira

Orientador. Docente Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

Fabiana Florian

Coorientador. Docente Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

Resumo: A energia elétrica é indispensável para as pessoas e empresas. A Evolução constata da tecnologia cada vez mais presente em nossas vidas, como por exemplo: com o aumento da automação industrial, interligação de redes de conhecimento, dentre outros. As unidades industriais e grandes aglomerados comerciais demandam grande proporção da energia produzida em nosso país, e desta forma, optam, muitas vezes, pela compra de energia elétrica em média/alta tensão. Escolha válida pelo seu baixo custo quando comparada ao fornecimento em baixa tensão. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é apresentar um estudo relacionado ao desenvolvimento de uma cabine de subestação em média tensão, especificamente Medição, proteção e transformação (CPFL, 2023), na Couro Pele Acabamento de Couro LTDA, localizada na cidade de Bocaina / SP. O desenvolvimento deste trabalho teve por base as literaturas da área mais especificamente as normativas das concessionárias de energia, especialmente as da Companhia Energética de São Paulo (CPFL), destaca-se a norma ND 5.3 – Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão, norma esta consoante com atos e normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Neste trabalho apresenta-se a escolha da entrada de energia da subestação, o levantamento de carga do consumidor, o diagrama unifilar e os procedimentos e execução dos setores de medição, proteção e transformação da subestação. A referida obra foi aprovada recebendo elogios da concessionária e está em pleno funcionamento.

Palavras-chave: fornecimento de energia elétrica; subestação; média tensão; CPFL.

Abstract: Electrical energy is indispensable for people and businesses. The constant evolution of technology is increasingly present in our lives, for example: with the increase in industrial automation, interconnection of knowledge networks, among others. Industrial units and large commercial complexes demand a large proportion of the energy produced in our country, and therefore, often opt for the purchase of electrical energy at medium/high voltage. This choice is valid due to its lower cost compared to low-voltage supply. Therefore, the objective of this work is to present an study related to the development of a medium-voltage substation enclosure, specifically for metering, protection, and transformation (CPFL, 2023), at Couro Pele Acabamento de Couro LTDA, located in the city of Bocaina/SP. The development of this work was based on the literature in the area, more specifically the regulations of energy concessionaires, especially those of the São Paulo Energy Company (CPFL), highlighting standard ND 5.3 – Supply of Electrical Energy in Medium Voltage, a standard consistent

with acts and regulations of the National Electric Energy Agency (ANEEL) and the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT). This work presents the choice of the substation's power input, the consumer's load survey, the single-line diagram, and the procedures and execution of the metering, protection, and transformation sectors of the substation. The aforementioned project was approved, receiving praise from the concessionaire, and is fully operational.

Keywords: electrical energy supply; substation; medium voltage.

INTRODUÇÃO

A sociedade, atualmente, conforme relatam Almeida e Ferreira (2022), demanda de soluções para melhorar o sistema de fornecimento de energia elétrica, buscando aprimorar o sistema de distribuição. Essa demanda vem do crescimento do uso da energia elétrica.

Para Mendes (2018 *apud* Ritter, 2023), esse crescimento constante faz com que haja um contínuo planejamento e realização de melhorias nos sistemas elétricos, para que a energia chegue ao consumidor final. “Para a entrada de energia elétrica até o consumidor final, as subestações desempenham papel primordial no Sistema Elétrico. São através delas, que é possível mudar os parâmetros elétricos como tensão e corrente, ou até mesmo, frequência” (Ritter, 2023, p.9). neste caso, as cabines de média tensão são componentes essenciais, já que garantem a distribuição eficiente de energia, atuando como interface entre os sistemas de média e baixa tensão.

De acordo com Barros e Greda, 2013 *apud* Rodrigues *et al.*, 2017), uma subestação de energia elétrica é o ponto de ligação entre as redes de transmissão e distribuição da concessionária e o consumidor. Ela compreende um “ramal de entrada, poste, ou pontalete particular, caixas, dispositivo de proteção, aterramento e ferragens, de responsabilidade do consumidor, preparada de forma a permitir a ligação da unidade consumidora a rede de transporte da concessionária” (CEMIG, 2013 *apud* Rodrigues *et al.*, 2017).

Entendendo o uso de subestações como melhoria na distribuição de energia, o presente estudo tem por objetivo geral desenvolver uma cabine de média tensão. E como objetivos específicos, realizar um estudo de probabilidade técnica e econômica para o projeto da cabine; projetar a cabine, com especificações adequadas às necessidades da rede elétrica local; e desenvolver soluções técnicas de proteção e controle da cabine, para garantir a segurança e a confiabilidade do sistema.

Este estudo se justifica pela necessidade de maior compreensão de como se desenvolve e implementa uma cabine de subestação em média tensão num local que demanda de energia constante. Para isso, além de uma fundamentação teórica, por meio de uma pesquisa bibliográfica (estudos acadêmicos, Normas Regulamentadoras e livros), será realizado um estudo de caso na empresa Couro Pele Acabamento de Couro LTDA, localizada no município de Bocaina/SP,

acompanhando a implementação real de uma cabine de subestação de média tensão, no local, considerando informações técnicas e a participação de profissionais do setor, como engenheiros eletricistas, técnicos e a empresa solicitante. Com isso, este estudo se enquadra como uma pesquisa aplicada, já que seu foco é resolver um problema prático, por meio de uma solução técnica.

Por fim, após a implementação da cabine, ainda será realizada um teste de seu desempenho.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conceitos e Características de Subestação Elétrica

De acordo com Gonçalves (2017 *apud* Ritter, 2023), subestação de energia elétrica (SE), é uma instalação de energia que serve como ponto de conexões entre as linhas de transmissão e distribuição de energia, tendo como função adequar os níveis de tensão e as correntes das redes que a interligam. Sua ação proporciona proteção ao sistema elétrico e controla o fluxo de potência entre a geração e a carga.

ANEEL (2011 *apud* Almeida; Ferreira, 2022) define subestação como sendo um conjunto de instalações elétricas em média ou alta tensão que contém equipamentos, condutores e acessórios que têm como intuito proteger, medir e transformar grandezas elétricas.

As subestações são classificadas com base em seu nível de tensão, de sua função e de sua aplicação na rede. São cinco faixas de tensões distintas, segundo Angst (2019 *apud* Ritter, 2023), sendo de baixa tensão, média tensão, alta tensão, extra-alta tensão e ultra-alta tensão.

Em relação aos níveis de tensão, Ritter (2023) relata que eles variam desde a baixa tensão de 380/220V a 1 kV, até às subestações ultra-alta tensão, com níveis de tensão acima de 800kV. A subestação de média tensão tem nível entre 1kV e 34,5kV; a subestação de alta tensão tem nível entre 34,5kV e 230kV; e a subestação tem nível entre 230kV a 800kV.

No que diz respeito à sua função, as subestações são classificadas como elevadoras, abaixadoras, de manobra e de conversão (Muzy, 2012 *apud* Ritter, 2023). Segundo Gonçalves (2017 *apud* Ritter, 2023), as subestações elevadoras têm o objetivo de elevar o nível de tensão da geração para interligação com as linhas de transmissão e, por isso, se localizam nas saídas das usinas de geração de energia elétrica. Essas linhas de transmissão enviam energia elétrica a longas distâncias, necessitando que elas operem em altas tensões, para que seja minimizada a perda por efeito Joule.

Já as subestações abaixadoras têm como função reduzir o nível de tensão. Normalmente eles se situam entre as linhas de transmissão (alta tensão) e as linhas de distribuição (média tensão), entretanto, também, são usadas em indústrias, concessionárias, grandes consumidores, dentre outros consumidores

que necessitam de rebaixamento de tensão (Oliveira, 2002 *apud* Ritter, 2023).

Em relação às subestações de manobra ou seccionadoras, como também são conhecidas, sabe-se, de acordo com França (2012 *apud* Ritter, 2023), que elas não operam com mudança de níveis de tensão, tendo como função seccionar e manobrar as redes de transmissão do sistema elétrico. Elas são usadas para minimizar o espalhamento de defeitos e redirecionar a rede. “Os tipos de equipamentos utilizados nessas instalações são majoritariamente iguais às subestações convencionais, o que as diferem é apenas a não utilização do transformador de potência” (Gonçalves, 2017 *apud* Ritter, 2023, p.13).

Segundo Oliveira (2022 *apud* Ritter, 2023), as subestações conversoras têm a função de converter o nível da frequência da rede e são usadas em redes de corrente contínua (CC). Essa conversão ocorre interligando redes CC com redes de corrente alternada (CA) e de redes CA para CC.

No que se refere à aplicação na rede, as subestações podem ser classificadas como central de transmissão, subtransmissão ou subestações consumidoras, conforme relata Santos (2011 *apud* Ritter, 2023). Para melhor compreensão, a figura 1 demonstra as etapas em que as subestações são aplicadas ao longo da rede elétrica.

Figura 1 - Aplicação das subestações dentro do Sistema Elétrico de Potência.



Fonte: Ritter, 2023.

As subestações centrais de transmissão têm a função de elevar o nível de tensão da saída das unidades geradoras, possibilitando uma transformação dos níveis de tensão adequados para as linhas de transmissão. O uso deste tipo de

subestação se faz necessário para amenizar as perdas recorrentes em longas distâncias de transmissão, sendo de alta tensão (Santos, 2011 *apud* Ritter, 2023).

Interligadas junto às subestações centradas de transmissão, as subestações receptoras de transmissão atendem em alta tensão grandes clientes consumidores. Diferentemente, as subestações de subtransmissão ou distribuição transportam energia dos ramais primários, nível de tensão de distribuição, até o consumidor final, como também, alimentam as subestações consumidoras (Santos, 2011 *apud* Ritter, 2023, p.14).

Já as subestações consumidoras ou de cliente se caracterizam, segundo Ritter (2023), pelo fornecimento de energia elétrica em tensão primária, sendo maior ou igual a 2,3kV. Elas são compostas por instalações, ramais, equipamentos elétricos e mais outros componentes que fornecem energia para apenas um ponto de entrega, com medição individual numa mesma propriedade e são instalados em locais que demandam de mais de 5kW (CPFL, 2022 *apud* Ritter, 2023), mas que precisam de transformação nível de tensão primária, de distribuição, para baixa tensão.

Existe outro tipo de classificação das subestações de energia, em relação à instalação, podendo ser abrigadas ou ao tempo, que significa que, de acordo com Gonçalves (2017 *apud* Ritter, 2023), as subestações ao tempo são externas (a céu aberto) e, com isso, estão sujeitas às intempéries atmosféricas, necessitando, com frequência, de manutenção; e que as subestações abrigadas são construídas dentro de cabines, que podem ser metálicas ou em alvenaria, se protegendo mais das condições climáticas.

Conforme Barros e Gedra (2009 *apud* Almeida; Ferreira, 2022), uma subestação que pode ser utilizada nestes dois tipos de subestação é a subestação blindada (Figura 2), que possui equipamentos instalados no interior de cubículos fabricados em chapas metálicas.

Figura 2 - Subestação blindada para uso abrigado.



Fonte: BRVAL (s/d *apud* Almeida; Ferreira, 2022)

As subestações de energia são formadas por equipamentos elétricos e alguns acessórios, como já mencionados, que, agrupados, possibilitam a transformações de grandezas elétricas para níveis adequados para consumo e mudam a tensão e corrente, viabilizando a atuação do sistema de proteção por meio de medições (Almeida; Ferreira, 2022).

Equipamentos de subestações

Segundo França (2012 *apud* Ritter, 2023, p.15), alguns equipamentos são indispensáveis para implementar uma subestação, como o transformador de potência ou de distribuição (Figura 3), pois é responsável pela mudança no nível de tensão. “O rebaixamento ou elevação de tensão nas redes possibilitam reduzir as perdas de energia e os custos de transmissão”.

Figura 3 - Transformador de distribuição.



Fonte: WEG (2023 *apud* Ritter, 2023)

Este tipo de transformador possui núcleo magnético tipo Jencore, o que permite otimizar as perdas de vazio e reduzir a corrente de excitação. Conforme relata Ritter (2023), ele é destinado a redes de distribuição de energia, a edifícios residenciais e comerciais, a indústrias e empreendimentos em geral, podendo ser instalado em postes ou plataformas.

Existe também o transformador de corrente (Figura 4), que, de acordo com Ritter (2023), é um equipamento que protege o circuito contra alta tensão que vem do circuito primário da rede. Ele transforma o nível de corrente do circuito primário em níveis menores e proporcionais aos equipamentos de medição e proteção da subestação e condutores (Helt, 2016 *apud* Ritter, 2023).

Figura 4 - Transformador de corrente de média tensão.

Fonte: Siemens (2019 apud Ritter, 2023).

Segundo Heldt (2016 *apud* Ritter, 2023), o transformador de corrente é um equipamento instalado em série com a rede de alimentação, sendo que seu circuito primário se conecta com a rede e seu circuito secundário é interligado aos dispositivos de controle, como medidores e relés de proteção.

Sobre o transformador de potencial (Figura 5), Chapman (2013 *apud* Ritter, 2023, p.16) diz que ele é um equipamento de transformação de tensão para níveis, tornando esses níveis apropriados aos instrumentos de medição e proteção da subestação. “A potência nominal deste equipamento é baixa e a tensão do secundário é estabelecida em 115V ou $115/\sqrt{3}$ V”.

Figura 5 - Transformadores de potencial.

Fonte: Rehtom Eletromecânica (2023 *apud* Ritter, 2023).

Outro equipamento utilizado em subestações elétricas é a chave seccionadora (Figura 6) ou seccionador, que é responsável por segmentar os circuitos elétricos quanto à passagem de corrente. Seu principal papel, dentro da subestação, é isolar

o sistema, caso necessária operação ou quando este apresenta defeitos. Ela possui dois estados, sendo que, quando fechada, há passagem de corrente e quando aberta, não há passagem de corrente (França, 2012 *apud* Ritter, 2023).

Figura 6 - Chave seccionada de média tensão.



Fonte: Sielectric (2023 *apud* Ritter, 2023).

Numa subestação elétrica também há os para-raios (Figura 7), que são encarregados de protegê-la contra sobretensões causadas por descargas atmosféricas ou por manobras. Normalmente, segundo Mendes (2018 *apud* Ritter, 2023), eles se localizam na entrada e daídas das linhas, bem como próximos a equipamentos como o transformador. “Quando ocorre anormalidades no sistema, este equipamento atua enviando sobretensão para a terra, de modo a proteger os equipamentos da SE” (França, 2012 *apud* Ritter, 2023, p.17).

Figura 7 - Para-raio.



Fonte: A cabine (2023 *apud* Ritter, 2023).

Conforme relata Mendes (2018 *apud* Ritter, 2023), além dos para-raios, outros equipamentos que têm como função proteger o sistema são as chaves fusíveis (figura 8). Para isso, autodestrutivos, ou seja, quando a carga é maior do que o previsto, eles rompem a condução, protegendo o sistema.

Figura 8 - Chave fusível.

Fonte: ATS Elétrica (2023 apud Ritter, 2023).

De acordo com Ritter (2023), os disjuntores também são equipamentos importantes na proteção de uma subestação, pois eles são capazes de cessar elevadas correntes de curto-circuito, já que suporta a corrente nominal da rede durante toda operação, bem como as anormalidades do sistema, com base em especificações técnicas. “Além disso, atua de forma a eliminar o arco elétrico durante a operação de chaveamento sem perder qualidade técnica” (Santos, 2011 *apud* Ritter, 2023, p.18). Gonçalves (2017 *apud* Ritter, 2023) Diz que eles são equipamentos mecânicos de manobra com capacidade de cessar ou conduzir a energia sobre condições normais ou anormais, do sistema. São classificados por seu meio extintor, sendo disjuntor a óleo, a vácuo e a hexafluoreto de enxofre, que baseiam-se no princípio de extinguir o arco elétrico, para evitar o derretimento dos terminais e danificar os equipamentos da subestação.

Os disjuntores (figura 9), para proteger, devem ser acompanhados de relés de proteção (figura 10), pois estes identificam as correntes de curto-circuito e mandam sinal para que o disjuntor abra ou não o circuito. Sem eles, os disjuntores somente são utilizados a manobra, sem capacidade de proteção.

Figura 9 - Disjuntor a vácuo de média tensão.



Fonte: WEG (2023 *apud* Ritter, 2023).

Figura 10 - Relé de proteção para baixa e média tensão.



Fonte: Plenobras (2023 *apud* Ritter, 2023).

Segundo Mendes (2018 *apud* Ritter, 2023, p.19), existem alguns principais tipos de relés, correlacionados à sua atuação, como “de sobrecorrente instantâneo e temporizado, religamento, sobretensão, subtensão, sobretensão com restrição à tensão, sincronismo e bloqueio”. Em conjunto, eles atuam na proteção, medição e transformação dos parâmetros elétricos (Ritter, 2023).

Sobre os contatos dos disjuntores, Sampaio (2012 *apud* Almeida; Ferreira, 2022, p.88) relata que eles precisam conduzir a corrente de que a carga está necessitando, sem que se tenha aquecimento excessivo, devendo suportar o calor produzido quando há a interrupção (quando o circuito abre). “Esses contatos são feitos de cobre ou ligas de cobre, ligas de prata, dentre outros materiais condutores. O período de vida útil dos contatos é limitado pela erosão do material do contato, devido a ocorrência de arco, quando é interrompida a corrente elétrica”.

Breves considerações sobre a implementação de cabine de subestação elétrica

Conforme relatam Rodrigues *et al.* (2017), toda subestação é basicamente composta por ramal de entrada, setor de medição, setor de proteção e setor de transformação. A Figura 11 expõe uma cabine de subestação de média tensão.

Figura 11 - Cabine blindada de medição, proteção e transformação.

Fonte: Tecnoplus Energia (2025).

O ramal de entrada é o ponto de ligação entre a rede da concessionária e o ponto de medição de consumo de energia elétrica, do consumidor, sendo conectadas por meio de cabos, que se faz aos barramentos de fase da subestação. Os condutores podem ser unipolares, de alumínio, isolados e ligados conforme tensão de distribuição, porém, quando os condutores são de cobre, esta ligação pode ser realizada diretamente ao aterramento da subestação (Rodrigues *et al.*, 2017).

Rodrigues *et al.* (2017) relata que o ramal de entrada pode ser ligado de forma aérea, desde que não corte terreno de terceiros, ou de forma subterrânea, passando os condutores por dutos e pela caixa de inspeção da concessionária.

Em relação à medição de energia consumida, este setor, segundo Rodrigues *et al.* (2017), é de responsabilidade da concessionária de energia, que gera a fatura a ser paga pelo consumidor. O dimensionamento dos materiais de medição deve ser determinado pelas normas das concessionárias (Rodrigues *et al.*, 2017).

Em relação à proteção de subestação, Mamede Filho e Mamede (2011 *apud* rodriques *et al.*, 2017) explicam que ela é composta por equipamentos que são responsáveis por seccionar o circuito de alimentação ou de eliminação de sobrecarga, em casos de interferências, recorrentes de sobre-tensão, sobre-corrente, sub-tensão, dentre outros. No geral, os equipamentos utilizados são o relé microprocessado, transformadores de corrente e de potência de sinal de proteção, disjuntores, chave seccionadora com fusível e aterramento.

A fim de evitar sobrecarga, todas as partes metálicas dos equipamentos devem ser aterradas, o aterramento deve percorrer toda a subestação. O número de hastes e a bitola do aterramento são proporcionais à demanda de potência da subestação, porém, independente da potência a medição

ôhmica em qualquer uma das hastes deve ser menor que 10Ω , em qualquer época do ano. Além disto, o cabo de neutro da concessionária deve ser conectado ao aterramento da subestação (Rodrigues *et al.*, 2017, p.9).

No que diz respeito ao setor de transmissão, há os transformadores, que são dispositivos físicos de indução eletromagnética, com capacidade de aumentar ou diminuir valores de tensão e corrente, segundo Jordão (2002 *apud* Rodrigues *et al.*, 2017). Eles podem ser a óleo isolante ou a seco, utilizando epóxi como isolante. Para entrar em funcionamento, é preciso ter laudo técnico que aprove tal situação, estando de acordo com as normas de uso expedidas pelos órgãos regulamentadores (Rodrigues *et al.*, 2017).

De acordo com Rodrigues *et al.* (2017, p.10), os barramentos são materiais responsáveis pela condução de corrente entre os setores de medição, proteção e transformação, podendo, como já citado, ser de cobre ou de alumínio, e seus conectores. Seu dimensionamento, corrente transportada por ele e distância entre fases para subestação deve seguir normas da concessionária. “Além disso, existem buchas de passagem que fazem a transição dos condutores de um setor ao outro. As buchas possuem condutor encapsulado por porcelana e fixados por chapas nas paredes de separação”.

Sistema Elétrico de Potência

De acordo com Kagan *et al.* (2005 *apud* Rodrigues *et al.*, 2017), o Sistema Elétrico de Potência (SEP) constitui-se pela segmentação de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, tendo como responsabilidade transportar fluxos de potência às cargas (consumidores) a ele ligadas. A geração produz a energia; a transmissão a transporta em alta tensão por grandes distâncias, até chegar às subestações de energia, onde será rebaixada, para ser distribuída aos consumidores finais, atendendo a demanda.

Segundo Barros e Gedra (2013 *apud* Rodrigues *et al.*, 2017, p.3), “esta potência é quantificada pela tensão de fornecimento multiplicada pela corrente necessária para suprir a demanda de consumo”, conforme é disposto na Equação 1.

$$S = V \times I$$

Onde:

S é o valor nominal de potência total transmitido, em volt-ampere (VA);

V é o valor nominal da tensão da rede ou sistema, em volt (V);

I é o valor nominal de corrente transmitida pelo sistema, em ampere (A).

Barros e Gedra (2013 *apud* Rodrigues *et al.*, 2017) relatam que a potência S entregue às cargas possui valor fixo e que os valores de tensão V e corrente I são variáveis. Com o intuito de reduzir custos e perdas de energia durante a transmissão, decidiram-se por reduzir os valores de corrente e elevar os valores de tensão transmitidos. Isso acontece devido ao entendimento de que quanto maiores os valores de corrente, maior será a bitola do condutor de energia e sua ampliação

acarreta maior peso do material, demandando de maiores esforços das torres de transmissão, tornando-se necessário reforço, nelas.

Estes fatores têm muita relação com a demanda dos consumidores, pois quando se precisa de mais energia a ser utilizada por eles, mas torna-se necessário se adaptar. Entretanto, conforme relatam Rodrigues *et al.* (2017), para que o consumidor receba energia em média/alta tensão, ele precisa respeitar alguns requisitos. Segundo a Resolução 414 (ANEEL, 2010 *apud* Rodrigues *et al.*, 2017, p.5), “caso o consumidor possua demanda entre 75kW e 2500kWW o mesmo deve receber energia elétrica em tensão inferior a 69kV. Em caso de demanda superior a 2500kW o consumidor deve receber energia elétrica em tensão igual ou superior a 69kV”.

Rodrigues *et al.* (2017) esclarecem que quando o consumidor opta pelo recebimento de energia elétrica em média/alta tensão, ele precisa arcar com os custos infraestruturais de recebimento e transformação dessa energia, assim, torna-se necessária a implementação de uma subestação.

DESENVOLVIMENTO

Segundo Rodrigues *et al.* (2017), para implementar uma subestação de energia elétrica, alguns processos burocráticos devem ser cumpridos e cada concessionária de energia possui o seu próprio procedimento de ligação, mas existem algumas generalidades, como a realização do pedido de um estudo de viabilidade da construção da subestação à concessionária. Por meio deste estudo, o consumidor saberá se a rede que irá se interligar suportará ou não a carga demandada por ele. Caso a resposta seja negativa, a concessionária precisará adequar a rede e os custos gerados serão de responsabilidade do consumidor (Barros; Gedra, 2013 *apud* Rodrigues *et al.*, 2017).

Adequação do Consumidor para Recebimento de Energia

Ritter (2023) relata que existem importantes normas técnicas basilares num projeto elétrico, devendo elas serem estabelecidas a partir do consenso entre os profissionais responsáveis por este projeto, bem como aprovadas por eles.

Após a confirmação da viabilidade e assumida a responsabilidade pelos custos, por parte do consumidor, firma-se um contrato entre a concessionária de energia e o consumidor, que, a partir deste momento, elabora um projeto da implementação da subestação para apresentar à concessionária. Esse projeto deve ser elaborado “por um responsável técnico capacitado, habilitado e registrado no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de São Paulo (CREA), órgão que expedirá uma Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), que será anexada ao projeto” (Rodrigues *et al.*, 2017, p.6).

O primeiro passo para desenvolver o projeto é determinar a carga a ser instalada na unidade. Para isso, deve-se somar as potências nominais em kW das cargas instaladas no local (CPFL Energia, 2021 *apud* Ritter, 2023). Ritter (2023,

p.22) deixa claro que “o cálculo da carga instalada e demanda é imprescindível para o projeto, já que a partir deste dado serão dimensionados os equipamentos da subestação e medição”.

Em relação à medição, a CPFL Energia (2021 *apud* Ritter, 2023) esclarece que quando a carga instalada de unidades consumidoras for acima de 75kW, elas serão atendidas pelas concessionárias em média tensão, trifásico em 60Hz, mas, para isso, devem ser seguidos os critérios: a medição deve ser aplicada no lado de média tensão, quando o transformador particular for igual ou acima de 300kVA; e quando ele for de até 300kVA, somente a medição para o lado de baixa tensão deverá ser aplicada.

Com o projeto aprovado, o consumidor deverá obter, de acordo com Barros e Gedra (2013 *apud* Rodrigues *et al.*, 2017), os materiais e equipamentos pré-definidos no projeto para que se inicie a construção da subestação.

Segundo Rodrigues *et al.* (2017), após a construção da subestação, deve-se pedir uma inspeção à concessionária, que aprovando o local, o consumidor está autorizado a solicitar a ligação e, solicitado, a subestação é ligada.

Apesar do consumidor estar conectado à concessionária, ele não é obrigado a comprar energia dela, pagando apenas pelos gastos de transmissão, entretanto, deve seguir as normas dela (Rodrigues *et al.*, 2017).

Algumas normas são utilizadas com frequência para implementação de subestação elétrica, em especial, as normas vigentes pela concessionária CPFL, que, em seu acervo técnico, tem a Norma de Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão – Rede de Distribuição Aérea ou Subterrânea (ND 5.3), principal norma sobre a implementação de subestações. Ela é consonante a todas as normas dispostas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); à NBR 5410, que dispõe sobre Instalações Elétricas de Baixa Tensão; à NBR 14039, que dispõe sobre Instalações Elétricas de Média Tensão; às Resoluções 395/2009, 414/2010 e 479/2012, da ANEEL; além das últimas resoluções, atos ou normativas do CREA-SP. De acordo com a CEMIG (2023), esta norma aplica-se ao fornecimento trifásico de energia elétrica em média tensão, tanto em instalações novas ou que desem ser reformadas ou ampliadas, com tensões nominais de 13,8kV, 22kV e 34,5kV, para unidades consumidoras com carga instalada superior a 75kW, por meio de subestações individuais ou compartilhadas.

Além dessas normas, algumas outras principais normas, segundo Ritter (2023) são a GED-119, que dispõe sobre o fornecimento de energia elétrica a edifícios de uso coletivo; as GED-2855, GED-2856, GED-2858, GED-2859 e GED-2861, referentes ao fornecimento de tensão primária 15kV, 25kV e 34,5kV a consumidores de média tensão.

Breves considerações sobre a ND 5.3

A ND 5.3, segundo a CEMIG (2023), é uma norma que objetiva estabelecer diretrizes técnicas para o fornecimento trifásico de energia elétrica em média tensão para edificações individuais ou compartilhadas, seno urbanas ou rurais;

residenciais, comerciais ou industriais. Elas precisam estar com carga instalada individual superior a 75 k, podendo ser distribuídas de forma aérea ou subterrânea, com tensões nominais de 13,8kV, 22kV e 34,5kV, além de fixar os requisitos mínimos para as entradas de serviços destas instalações.

Os padrões de conexão estabelecidas pela ND 5.3, principalmente, em relação aos tipos de subestação de entrada padronizados, podem ser aplicados para a conexão de unidades consumidoras e/ou geradoras novas ao Sistema Elétrico de Potência (CEMIG, 2023).

Em relação às condições gerais de fornecimento, a ND 5.3 (CEMIG, 2023) diz que as unidades consumidoras, independentemente se são residenciais, comerciais ou industriais, devem ser atendidas por meio de uma única entrada de serviço, com somente uma medição de energia.

Quando a subestação for compartilhada, deve-se utilizar um único ponto de conexão. Neste caso, cada unidade consumidora deve ter sua medição e seu sistema de proteção, separadamente (CEMIG, 2023).

O empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, cuja atividade predominante seja comercial, industrial ou de prestação de serviços, pode ser considerado uma única unidade consumidora, desde que sejam atendidos os critérios do artigo 479 da Resolução 1000/2021 (CEMIG, 2023, p.14).

Essa resolução normativa consolida as principais regras da ANEEL para prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica, na qual estão dispostos os direitos e deveres dos consumidores (ANEEL, 2022).

Implantação de Subestação de Média Tensão

Para maior reflexão sobre a temática, como já referenciado, foi acompanhada a implementação real de uma cabine de subestação de média tensão na empresa Couro Pele Acabamento de Couro LTDA, no município de Bocaina, estado de São Paulo.

A implantação veio para suprir a demanda da empresa, que, por aumentar a demanda de produção, precisou adquirir novos equipamentos e a energia disponibilizada a ela não atendia às necessidades desta empresa.

Inicialmente, para o cálculo da demanda da empresa Couro Pele, foi realizado um levantamento de carga instalada no local. Basicamente, a carga é constituída por lâmpadas, computadores, ares condicionados e vários motores trifásicos que variam entre si e em relação a suas tensões de acionamento, quantidade e potência. Assim, após levantamento foi elaborada tabela de cargas (tabela 1).

Tabela 1 - Levantamento de Carga Fábrica Couro Pele Acabamento de Couro LTDA.

Item	Descrição do Equipamento	Qtde	Potência Motor (CV)	Potência Motor (W)	Potência (W)	Potência Total (W)	Tensão Nominal (V)	Corrente Total (A)	Consumo Total (KVA)	Fator de Potência
1	LIXADEIRA	1	66,5	48944		48944	380	94,123	54,99	0,89
2	FULÃO INOX	1	24,5	18032		18032	380	34,677	20,26	0,89
6	ENXUGADEIRA	1	107,5	79120		79120	380	152,154	88,90	0,89
7	ESTEIRA	1	57	41952		41952	380	80,677	47,14	0,89
8	REBAIXADEIRA	1	66	48576		48576	380	93,415	54,58	0,89
9	MOLISSA	1	16	11776		11776	380	23,090	13,23	0,89
10	COMPRESSOR	1	18,5	13616		13616	380	26,185	15,30	0,89
11	VÁCUO SECO	1	33	24288		24288	380	63,916	27,29	0,89
12	ILUMINAÇÃO LED	60		0	100	6000	380	15,789	6,00	1
13	AR CONDICIONADO 24.000BTU	4	15	11040	2280	53280	220	242,182	66,60	0,8
14	COMPUTADOR	6		0	600	3600	380	12,414	3,60	1
15				0		0	380	-	0	
TOTAL DAS CARGAS		404				349184		838,622	397,89	

Fonte: Tecnoplus Energia, 2025.

A carga total instalada foi de 397,89kVA, sendo que o consumidor irá, a partir da instalação da subestação de média tensão, ser atendido por uma subestação tipo 2, Medição, Proteção e Transformação padrão CPFL Paulista, com entrada e saída da subestação subterrâneas; transformador 1 (já existente) de 300kVA, 13800/220/127V; transformador 2 (novo) de 300kVA 13800/380/220V. A soma dos transformadores usados é acima da demanda, pois prevê aumento futuro. A carga a ser contratada inicialmente será de 350kW, sendo aumentada se houver a necessidade de uma expansão futura para 600 KW.

Hoje, a empresa se encontra com um Trafo de 300KVA 124/220V, e a carga total instalada ultrapassa a demanda contratada de 270kw. Também contém mais duas máquinas novas a serem instaladas, com tensão 380V, para que haja economia da instalação e para não sobrecarregar o Trafo existente. Neste, encontram-se máquinas que estão utilizando autotransformadores com entrada 220V e saída 380V. Com isso, é possível mudar essas máquinas para o novo Trafo de 300KVA -380V, além de aliviar o Trafo de 300KW – 220V, melhorando a qualidade de energia e evitando perca de energia na transformação e reativo por Trafo em vazio.

Em relação à medição do consumo de energia elétrica instalado, o setor de medição será composto por TCs de sinal de 40/5 com fator de transformação de 1,5; TPs de sinal de fator de transformação de 70/1. Ambos serão instalados em mesa suporte e seus condutores de sinal direcionados a caixa de medição. Conforme ilustrado nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Cubículo de medição.



Fonte: Tecnoplus Energia, 2025.

Figura 13 - Caixa de medição.

Fonte: Tecnoplus Energia, 2025.

Setor de Proteção

No setor de proteção, estão o disjuntor em média tensão a óleo isolante; três TCs de sinal de proteção de 200/5, com Exatidão 10B50 (12,5VA 10P20); e um TP de 13800/220/127 V, usado para a alimentação do relé microprocessado, tudo incorporado no cubículo, ilustrado na Figura 14.

Figura 14 - Cubículo Proteção.

Fonte: Tecnoplus Energia, 2025.

O relé utilizado para parametrização e proteção é o Pextron 6000, instalado em compartimento acima do disjuntor, contento as funções 50, 50N e 51, 51N,

controlando qualquer alteração de corrente instantânea ou temporizada. Todos os parâmetros nele inseridos estão calculados no projeto aprovado pela CPFL e apresentado a seguir.

Tensão Nominal/referencial: 13,8 kV

Correntes de curto circuito:

CURTO CIRCUITO	SIMÉTRICA (A)	ASSIMÉTRICA (A)
Trifásico	2156	2462
Bifásico	1867	B 2049 / C 2092
Fase-Terra ($Z_n=0\Omega$)	1956	-
Fase-Terra ($Z_n=40\Omega$)	192	-

Impedâncias:

$$Z_1 = Z_2 \quad (1,152188 + j3,511071) \Omega$$

$$Z_0 \quad (1,335508 + j4,642334) \Omega$$

· Impedâncias somente dos cabos:

$$Z_1 = Z_2 \quad (0,858548 + j0,607339) \Omega$$

$$Z_0 \quad (1.288766 + j2.305256) \Omega$$

AJUSTES FORNECIDOS PELA CPFL

ALIMENTADOR BOC-21 (Subestação BOCAINA_1)

Relés	Fase	Neutro	51GS
Corrente Primária	200 A	30 A	10 A
Curva	0,1 NI	0,12 NI	D
= 2 seg			
Corrente Primária	2940	1500	

POTÊNCIA INSTALADA E DEMANDA PREVISTA

Potência Dos Transformadores:

$$P_{tr} = 2 \times 300$$

$$\mathbf{P_{tr} = 600 \text{ kVA}}$$

Demandas Previstas:

$$D = 350 \text{ kW}$$

Impedância de Curto-Círcuito:

Catálogo do fabricante ou de acordo com a NBR 12454 (tabela 3)

$$Z\% \text{ trafo} = 5 \%$$

Corrente Nominal:

$$I_n = \frac{D}{F.P} = \frac{350}{13,8 \times \sqrt{3}}$$

$$I_n = \frac{350/0,92}{13,8 \times \sqrt{3}}$$

$$I_n = 15,91A$$

Corrente de Inrush no Ponto ANSI do Trafo:

Inrush: conforme "método simplificado 2" da GED 2912

$$In_{transformador} = \frac{P_{trafos}}{13,8 \times \sqrt{3}} = \frac{600}{13,8 \times \sqrt{3}} = 25,1A$$

$$I_{inrush} = 10 \times In_{transformador}$$

$$I_{inrush} = 10 \times 25,1$$

$$I_{inrush} = 251A$$

$$I_{inrush.real} = \frac{1}{\frac{1}{I_{CC3F}} + \frac{1}{I_{inrush}}}$$

$$I_{inrush.real} = \frac{1}{\frac{1}{2469} + \frac{1}{251}}$$

$$I_{inrush.real} = 228A$$

$$P_{ANSI} = 20 \times In_{menor \ transformados}$$

$$P_{ANSI} = 20 \times \frac{300}{13,8 \times \sqrt{3}}$$

$$P_{ANSI} = 20 \times 12,55$$

$$P_{ANSI} = 251A \text{ para } T=3 \text{ seg.*}$$

*conforme Tabela 2 da GED 16628.

DIMENSIONAMENTO DOS TC'S

$$Im_p = \frac{Icc_3}{20}$$

$$In_p = \frac{2462}{20}$$

$$In_p = 123,1A$$

Como a corrente de curto circuito no ponto de entrega resultará em 123,1 A no secundário dos TCs, serão realizados os cálculos para TCs de 200/5 da classe 10P20, 12,5VA.

Como a corrente de curto-círcuito assimétrica no ponto de entrega é menor que 10,6kA, o cálculo de saturação do TC será feito para 10,6kA.

A impedância do TC pode ser considerada como 20% da carga do TC, portanto, de acordo com as tabelas 8 e 9 da NBR 6856/2015, a impedância de carga do TC de 12,5VA é de 0,5Ω, logo, a impedância do TC é 0,5 Ω x20% = 100mΩ.

CÁLCULO DA TENSÃO DE SATURAÇÃO DOS TC'S

TCs: 200/5 RTC: 40 Icc: 10.600A ZTC: 0,1 Ω

Fabricante Relé: Pextron Modelo: URP6000

Zfase: 0,007 Ω (catálogo) Zneutro: 0,007 Ω (catálogo)

Comprimento cabo: 10m

$$Z_{RELE} = Z_{FASE} + 3 \times Z_{NEUTRO}$$

$$Z_{RELE} = 0,007 + 3 \times 0,007$$

$$Z_{RELE} = 0,028\Omega$$

Impedâncias características dos cabos:

#2,5mm²: 8,7 Ohms/km #4,0mm²: 5,6 Ohms/km

#6,0mm²: 3,6 Ohms/km #10,0mm²: 2,0 Ohms/km

Impedâncias calculadas (L = 10m)

Z2,5mm² = 0,087 Ohms Z4,0mm² = 0,056 Ohms

Z6,0mm² = 0,036 Ohms Z10,0mm² = 0,020 Ohms

$$Z_{TOTAL} = Z_{RELE} + Z_{CABO} + Z_{TC}$$

$$Z_{TOTAL} \text{ } 2,5\text{mm}^2 = 0,215\Omega$$

$$Z_{TOTAL} \text{ } 4,0\text{mm}^2 = 0,184\Omega$$

$$Z_{TOTAL} \text{ } 6,0\text{mm}^2 = 0,164\Omega$$

$$Z_{TOTAL} \text{ } 10,0\text{mm}^2 = 0,148\Omega$$

$$V_{SAT} = \frac{I_{cc} (30sim)}{RTC} \times Z_{TOTAL}$$

$$V_{SAT} = \frac{10600}{40} \times Z_{TOTAL}$$

$$V_{SAT} \text{ } 2,5\text{mm}^2 = 56,97V$$

$$V_{SAT} \text{ } 4,0\text{mm}^2 = 48,76V$$

$$V_{SAT} \text{ } 6,0\text{mm}^2 = 43,46V$$

$$V_{SAT} \text{ } 10,0\text{mm}^2 = 39,22V$$

A tensão máxima de saturação do TC é de 50V ($V_{sat} = Zx(20xIn) = 0,5x(20x5) = 50V$).

Os TC serão interligados ao Rele com cabos de $\#4\text{mm}^2$, portanto, no caso da CPFL, alterar a corrente máxima de curto circuito para o limite da corrente suportada na subestação nas barras de média tensão, ainda assim a tensão registrada no TC do cliente estaria abaixo da tensão máxima de 50V.

Portanto, os TCs serão:

TCs: 200/5 Classe de Exatidão: 12,5VA 10P20 Classe de isolação: 15kV

Serão utilizados cabos de 4mm^2 para interligação entre TC e Relé.

PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE

- Cálculo da Unidade Temporizada de Fase (51)

Para a unidade temporizada de fase foi adotado uma corrente 25% superior à corrente de demanda:

$$I_{51} = 1,25 * 15,91A$$

$$I_{51} = 19,88A$$

- Cálculo da Unidade Instantânea de Fase (50)

Para a unidade instantânea de fase foi adotado uma corrente 10% superior à corrente de Inrush Real:

$$I_{50} = 1,1 * 228A$$

$$I_{50} = 250,8A$$

- Cálculo da Unidade Temporizada de Neutro (51N)

Para a unidade temporizada de neutro, foi adotada uma corrente de 20% da corrente temporizada de fase:

$$I_{51N} = 0,2 \times 19,88A$$

$$I_{51N} = 3,97A$$

- Cálculo da Unidade Instantânea de Neutro (50N)

Para a unidade instantânea de neutro, foi adotada uma corrente de 20% da corrente instantânea de fase:

$$I_{50} = 0,2 \times 250,8A$$

$$I_{50} = 50,16A$$

- Cálculo da Unidade Temporizada de Terra (51GS)

A unidade temporizada de terra será:

$$0,04 \times RTC = 0,04 \times 40 = 1,6A$$

Após ajustes de acordo com a resolução do Relé, temos:

$$I_{51} = 20A$$

$$I_{50} = 252A$$

$$I_{51N} = 4A$$

$$I_{50N} = 52A$$

$$I_{51GS} = 1,6A$$

ESCOLHA DA CURVA

Visando manter a mesma seletividade das curvas da CPFL, será adotada a curva NI para FASE e NI para Neutro.

AJUSTES DO CONSUMIDOR

$$RTC: 200 / 5 = 40$$

Relés	Fase (50/51)	Neutro (50/51N)	51GS
Fabricante/Modelo	PEXTRON	PEXTRON	PEXTRON
Tipo	URP6000	URP6000	URP6000
Temporizado	20	4	1,6
Curva	0,1 NI	0,1 NI	TD = 1 seg.
Instantâneo	252	52	
Relé - Tipo URP6000/5	TC: 200 / 5 A		

Fabricante PEXTRON

TP: 13800/R3-220/R3V

Parâmetro	Descrição	Função	Local/Atuação	Faixa	Ajuste deixado (TAP)
1	RTC	-	-	1 - 1250	40
2	I > I pickup fase	51	Disjuntor MT	$\{(0,04-6,5) \times \text{RTC}\}A$	40
3	Tipo Curva Fase I >	51	Disjuntor MT	NI/MI/EI/IT/I2T/FLAT	
4	DT do I > - Fase	51	Disjuntor MT	0,1 - 240s	
5	t >> tempo de I >	50	Disjuntor MT	0...1s	
6	I >> Instantâneo Fase	50	Disjuntor MT	$\{(0,1-100) \times \text{RTC}\}A$	
7	Io > - I pickup de Neutro	51N	Disjuntor MT	$\{(0,048-6,5) \times \text{RTC}\}A$	
8	Tipo Curva Neutro Io >	51N	Disjuntor MT	NI/MI/EI/IT/I2T/FLAT	
9	DT do Io > - Neutro	51N	Disjuntor MT	0,1 - 240s	
10	t >> N – Tempo inst. de neutro	51N	Disjuntor MT	0...1s	
11	Io >> Instantâneo Neutro	50N	Disjuntor MT	$\{(0,048...100) \times \text{RTC}\}A$	
12	Igs >> I Part. T. Def. Sensor terra	51GS	Disjuntor MT	$\{(0,02...50) \times \text{RTC}\}A$	
13	DT do Igs >> - Sensor de terra	51GS	Disjuntor MT	0...240s	

PROTEÇÃO DE SUBTENSÃO E SOBRETENSÃO

O relé a ser utilizado (Pextron URP6000) também possui proteção de subtensão (27) e sobretensão (59), portanto, será utilizado o mesmo relé para proteção de Corrente e Tensão.

A tensão de fornecimento, informada pela CPFL, é de 13,8kV, portanto, serão utilizados três TPs de 13800/R3-220/R3V, a relação de TP será: RTP = 69.

Para subtensão, adotaremos 80% da tensão nominal, e para sobretensão, 10% da tensão nominal.

Os parâmetros adotados serão:

Relé - Tipo URP6000/5
 Fabricante PEXTRON

TC: 200 / 5 A

TP: 13800/R3-220/R3V

Parâmetro	Descrição	Função	Local/Atuação	Faixa	Ajuste deixado (TAP)
14	RTP	-	-	1...3999	69
15	V > Partida temp. sobret. fase	59	Disjuntor MT	$\{(10...400) \times RTP\}V$	127V (8764kV)
16	V>t Tempo def. sobretensão	59	Disjuntor MT	0,1 – 240 s	0,8
17	V< Partida temp. subt. fase	27	Disjuntor MT	$\{(10...400) \times RTP\}V$	92V (6381kV)
18	V<t Tempo def. subtensão	27	Disjuntor MT	0,1 – 240 s	10

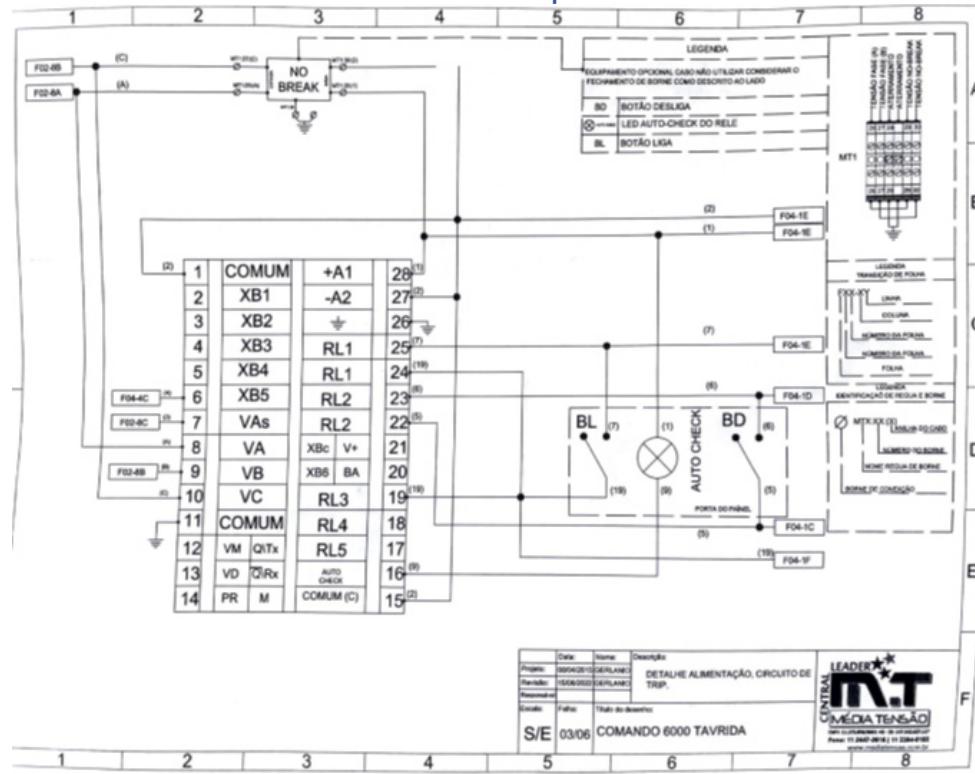
Figura 15 - Relé de Proteção Pextron 6000.



Fonte: Tecnoplus Energia (2025)

Círculo de comando de abertura do disjuntor através do comando do relé microprocessado, como pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 - Circuito de comando de abertura e fechamento do disjuntor através do relé microprocessado



Fonte: Média Tensão (2025 apud Tecnoplus Energia, 2025)

Aterramento

Em uma instalação elétrica, o aterramento elétrico é realizado mediante um cabo ligado diretamente à terra. O cabo é conectado a haste de aterramento com alta camada de cobre, conexão feita através de solda exotérmica, enfincados na terra. De acordo com a NBR 14039 (ABNT, 2021), a finalidade do aterramento é desviar o excesso de corrente do equipamento elétrico, evitando sobrecarga.

A quantidade de haste vai de acordo ao tamanho da subestação, a execução da malha sempre se faz respeitando as normas e o projeto aprovado pela concessionária de energia. A malha de aterramento deve possuir resistência ôhmica menor ou igual a 10Ω em todos os pontos vistoriados. A profundidade mínima é de 60cm de profundidade, são necessárias caixas de inspeção para que no futuro possa ser feito novamente as aferições para ver se não houve alteração no aterramento. Geralmente as hastes de aterramento são de 2,40m – 5/8" com alta camada de cobre.

O neutro do transformador também é conectado ao aterramento, assim como todas as partes metálicas da subestação, portas, chaves, equipamentos, etc.

O cabo utilizado para execução do anel de aterramento é de 50,0mm, além do cabo que vai enterrado também faz-se um anel de aterramento envolta da cabine esse com cabo cobre 35,0mm para o aterramento das estruturas (Figura 17).

Figura 17 - Malha de Aterramento subestação.

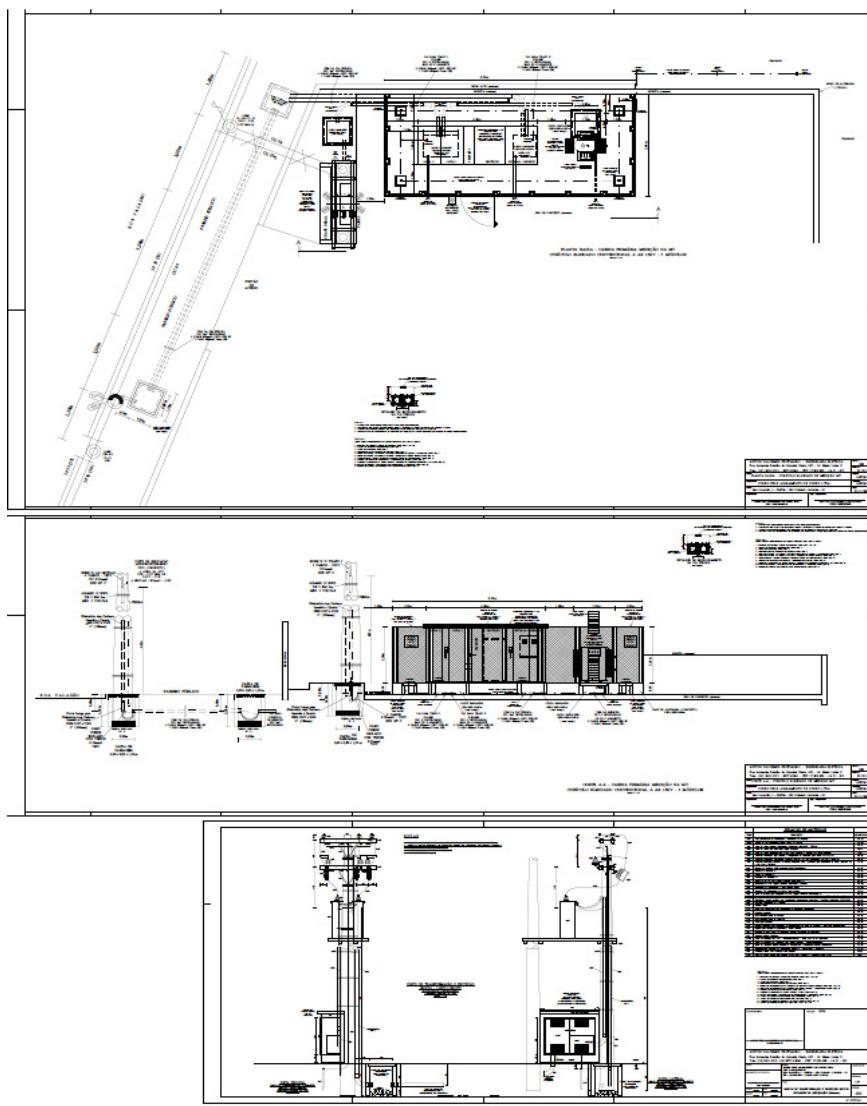


Fonte: Tecnoplus Energia, 2025.

Informações Adicionais

Os condutores de corrente da subestação são de cobre nesse caso barra de cobre chato $1\frac{1}{4}'' \times \frac{1}{4}''$, na transição dos setores são usadas buchas de polietileno fixadas em placas metálicas. Além disto, na entrada dos setores de proteção e transformação existem chaves seccionadoras tripolares de 15kV, com abertura sobre carga.

Abaixo, na Figura 18, é possível observar a planta baixa da montagem da subestação.

Figura 18 - Planta Baixa da Subestação Couro e Pele.

Fonte: Tecnoplus Energia, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área industrial é um setor amplo, principalmente em se falar em média tensão, onde as subestações de energia em média tensão são muito utilizadas.

Mas é um trabalho que requer muito estudo e responsabilidade do engenheiro responsável pelo projeto, além da expertise na execução, sempre procurando mão de obra qualificada e certificada para o trabalho. O objetivo deste trabalho era o desenvolvimento da subestação, desde o projeto inicial até sua execução, sempre procurando o melhor custo e benefício para atender as necessidades do cliente. Inicialmente foi feita pesquisa bibliográfica necessária para conhecimento de normas e resoluções para a projeção das subestações. Toda a execução da subestação, desde a aquisição dos materiais a instalação dos mesmos, foi acompanhada pelo autor deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas e Técnicas. **Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV**. 2021. Disponível em: <<https://faculdadefic.edu.br/downloads/abnt-nbr-14039.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2025.
- ALMEIDA, M.L.S.; FERREIRA, A.F. **Simulação baseada em arduino e supervisório ScadaBR de acionamento e monitoramento sob carga de disjuntor de média tensão em subestações blindadas**. 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/362242813_Simulacao_Baseada_em_Arduino_e_Supervisorio_SCADABR_De_Acionamento_e_Monitoramento_Sob_Carga_de_Disjuntor_de_Media_Tensao_em_Subestacoes_Bladidas>. Acesso em: 25 mai. 2025.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução 1000 da ANEEL, seus direitos sobre energia elétrica, agora num só lugar! 2022**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/campanhas/resolucao-1000-da-aneel-seus-direitos-sobre-energia-eletrica-agora-num-so-lugar-2022>>. Acesso em: 04 jun. 2025.
- CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **ND 5.3: Fornecimento de energia elétrica em média tensão – rede de distribuição aérea e subterrânea**. 2022. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2023/09/nd5_3_000001p.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2025.
- RITTER, G.S. **Ferramenta para implementação ou expansão de subestação de unidade consumidora**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/29994/Ritter_Greice_Scherer_2023_TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 mai. 2025.
- RODRIGUES, G.S.R. et al. **Desenvolvimento de cabine de subestação em média tensão**. ForScience: revista científica do IFMG, Formiga, v. 5, n. 1, e00248, jan/jun. 2017. Disponível em: <<https://forscience.ifmg.edu.br/index.php/forscience/article/view/248/148>>. Acesso em: 25 mai. 2025.
- TECNOPLUS ENERGIA. **Cabine blindade de medição, proteção e transformação**. Jaú, 2025.