



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

RODOLFO LACERDA SOUSA

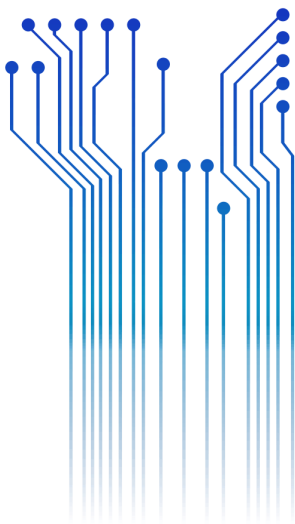


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANÁLISE DAS ETAPAS NA CONSTRUÇÃO DE SUBESTAÇÕES



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2017

RODOLFO LACERDA SOUSA

ANÁLISE DAS ETAPAS NA CONSTRUÇÃO DE SUBESTAÇÕES

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do curso de graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrotécnica

Professor Célio Anésio da Silva, D. Sc.
Orientador

RODOLFO LACERDA SOUSA

ANÁLISE DAS ETAPAS NA CONSTRUÇÃO DE SUBESTAÇÕES

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do curso de graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrotécnica

Aprovado em / /

Professor George Rossany Soares de Lira, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador, UFCG

Professor Célio Anésio da Silva, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família, por todo apoio que me foi dado. Agradeço em especial a minha namorada por estar sempre me motivando a seguir em frente e também aos amigos por caminharem ao meu lado neste árduo caminho da Engenharia Elétrica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Francisca, por ter se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, por ter me alimentado com saúde, força e coragem, as quais que foram essenciais para superar todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Agradeço também a toda minha família, que com todo carinho e apoio, não mediu esforços para eu chegar a esta etapa da minha vida.

Agradeço a Rosane por seguir ao meu lado, dando todo o amor e carinho, mesmo com a dificuldade da distância.

Agradeço ao professor Célio pela orientação e total disponibilidade em ajudar a concluir este trabalho da melhor forma possível.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

RESUMO

No presente trabalho de conclusão de curso abordam-se as principais etapas do processo de construção de uma subestação elétrica de 32,5 kVA e 69/13,8 kV, desde a explicitação de detalhes da construção civil a instalação dos equipamentos elétricos existentes numa subestação elétrica. Para tanto teve-se como referência a subestação em construção no município de Apodi-RN, a qual pertencia ao grupo de obras que foi acompanhado durante o estágio na empresa FAAB. Cada etapa foi analisada de forma técnica apontando características de sua execução de modo a permitir ao leitor um primeiro contato com este tipo de atividade que o Engenheiro Eletricista pode assumir.

Palavras-chave: subestação elétrica, construção civil, equipamentos elétricos.

ABSTRACT

In the present work, the main steps of the process of construction of an electric substation of 32.5 kVA and 69 / 13.8 kV are discussed, from the explanation of details of the civil construction to the installation of the electrical equipment existing in a substation power. For this purpose, the substation under construction in the municipality of Apodi-RN, which belonged to the group of works that was accompanied during the internship at FAAB, was used as reference. Each stage was analyzed in a technical way pointing out characteristics of its execution in order to allow the reader a first contact with this type of activity that the Electrician can assume.

Key words: electrical substation, civil construction, electrical equipment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fotografia com trator executando o serviço de terraplanagem.....	14
Figura 2 – Fotografia de uma área onde foi instalado a malha de terra, após o serviço de terraplanagem .	15
Figura 3 – Fotografia com detalhe de uma solda exotérmica	17
Figura 4 – Esquema do aterramento de cercas metálicas no interior do plano de malha.....	18
Figura 5 – Esquema do aterramento de cercas metálicas no exterior do plano de malha	19
Figura 6 – Fotografia do muro externo da SE.	20
Figura 7 – Fotografia da Casa de Comando	21
Figura 8 –Fotografia de uma das bases dos disjuntores instalados.....	23
Figura 9 – Fotografia da base de um dos transformadores.	23
Figura 10 – Fotografia de uma canaleta fechada	25
Figura 11 – Fotografia de uma canaleta aberta.....	25
Figura 12 – Fotografia da caixa separadora de óleo	28
Figura 13 – Fotografia de uma das rampas de entrada da SE.....	29
Figura 14 – Fotografia de uma lombada da SE.	30
Figura 15 - Esquema básico de um TC.....	33
Figura 16 – Fotografia de um transformador de corrente	35
Figura 17 - Esquema básico de um TP	37
Figura 18 – Fotografia de um Transformador de Potencial	38
Figura 19 – Ilustração da chave fusível base polimérica ou de porcelana	39
Figura 20 – Ilustração do cartucho porta-fusível	39
Figura 21 – Ilustração do Elo fusível.....	40
Figura 22 – Ilustração de chave pedestal e chave corta-arco.....	41
Figura 23 – Ilustração de uma chave com abertura dupla lateral	42
Figura 24 – Fotografia de uma das chaves instalada na SE	43
Figura 25 – Fotografia de Disjuntor a vácuo 13,8 KV	45
Figura 26 – Fotografia de um Disjuntor a gás SF6.....	46
Figura 27 – Ilustração de Para-raios de carboneto de silício	47
Figura 28 – Ilustração do Para-raios de óxido de zinco.....	48
Figura 29 – Fotografia de um dos Para-raios 69KV instalado na SE	49
Figura 30 – Fotografia do conjunto de equipamentos que formam o Banco de Capacitor.....	52
Figura 31 – Fotografia do Transformador de distribuição.....	53
Figura 32 – Fotografia do Transformador de força de 12,5 MVA	54
Figura 33 – Fotografia do poste de iluminação	55

SUMÁRIO

Agradecimentos	6
Resumo	7
Abstract	8
Lista de Ilustrações	9
Sumário	10
1 Introdução	11
2 Objetivos	12
3 Estrutura do Trabalho	12
4 Execução de obra.....	13
4.1 Obras Civas	13
4.1.1 Terraplanagem.....	13
4.1.2 Malha de terra.....	15
4.1.3 Muro divisório.....	20
4.1.4 Casa de Controle.....	20
4.1.5 Bases para Equipamentos / Pórticos	22
4.1.6 Canaletas / Eletrodutos	24
4.1.7 Sistema de Drenagem	26
4.1.8 Sistema Coletor de Óleo	27
4.1.9 Parede Contrafogo	28
4.1.10 Pavimentação e Urbanização.....	29
4.2 Obras Eletromecânicas.....	31
4.2.1 Montagem de pórticos e barramentos.....	32
4.2.2 Montagem de Equipamentos	32
4.2.2.1 Transformadores de Corrente	33
4.2.2.2 Transformadores de Potencial.....	35
4.2.2.3 Chave Fusível e Chave Seccionadora	38
4.2.2.4 Disjuntores	43
4.2.2.5 Para-raios	46
4.2.2.6 Banco de Capacitores	49
4.2.2.7 Transformadores	52
4.2.3 Iluminação do Pátio	55
5 Conclusão	56
6 Bibliografias	57

1 INTRODUÇÃO

Subestação de energia é um conjunto de equipamentos industriais interligados entre si com o objetivo de controlar o fluxo de potência, modificar tensões e alterar a natureza da corrente elétrica assim como garantir a proteção do sistema elétrico, detectando faltas e seccionando trechos. (DUAILIBE, 1999).

Devido a necessidade do seu funcionamento ser contínuo deve-se estudar profundamente o processo de construção de uma subestação, de modo a minimizar falhas e garantir um longo tempo de vida útil para a mesma. Entender este processo é indispensável para ser capaz de analisar possíveis falhas em projetos ou na sua execução da obra.

A construção ou ampliação de uma subestação possui várias etapas de planejamento, desde a leitura e interpretação do edital da licitação, dos projetos e memorial descritivo, visitas técnicas, até o momento de gerenciar e executar a obra. Nesta última etapa que se tem as maiores perdas de recursos, por isso o foco deste trabalho se dará nesta etapa, afim de expor o máximo de informações técnicas que contribuam para uma execução de obra com o mínimo possível de perdas.

A partir daí fez-se a análise de todas as etapas do processo de construção de subestações de médio ou grande porte a fim de compreender cada detalhe técnico do desenvolvimento desta atividade. Será descrito desde a construção da fundação, instalação e conexão de equipamentos, até o acabamento final da subestação.

Para o desenvolvimento desta análise baseou-se em projetos de subestações de 69 kV, do Estado do Rio Grande do Norte, região esta que tem sua estrutura energética gerenciada pela COSERN que é um braço da NEOENERGIA. Assim, parte das informações contidas neste trabalho foram baseadas nas normas utilizadas pela NEOENERGIA na construção de subestações do Rio Grande do Norte e em obras de subestações das cidades deste estado, principalmente a obra de ampliação da SE Apodi.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo descrever as etapas de construção de uma subestação elétrica de modo a expor detalhes técnicos e de normas que comumente não são encontrados de forma detalhada na graduação do curso de Engenharia Elétrica, pois apesar da atividade ser voltada para engenheiros eletricitas, encontram-se muitas atividades da área da engenharia civil, obrigando o profissional a desenvolver conhecimentos na área. Como referência para o desenvolvimento desta atividade acompanhou-se a obra de expansão da subestação elétrica de Apodi no Rio Grande do Norte, que foi umas das quatorze obras acompanhadas durante o estágio obrigatório feito na empresa FAAB-Engenharia.

3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A divisão feita neste trabalho se dá por obras civis e obras eletromecânicas onde será explicitado de forma técnica cada serviço. Para obras civis tem-se as seguintes etapas: terraplanagem, malha de terra, muro divisório, casa de controle e abrigo para extintor, bases para equipamentos/pórticos, canaletas/eletrodutos, sistema de drenagem, sistema coletor de óleo, parede corta-fogo, pavimentação e urbanização. Já para obras eletromecânicas a divisão dos processos se dará da seguinte forma: montagem de pórticos e barramentos, montagem de equipamentos, iluminação do pátio.

4 EXECUÇÃO DE OBRA

No processo de construção ou ampliação de uma subestação tem-se diversas etapas, que vão desde obras civis como base de equipamentos, escavações, muro, demolições até a montagem eletromecânica de pórticos, equipamentos e barramentos e instalação e ou adequação de sistemas de proteção, controle e automação. Para uma melhor compreensão acerca do assunto, foi feita uma divisão do trabalho em Obras Civis e Obras Eletromecânicas.

4.1 OBRAS CIVIS

A execução dos serviços desta etapa é de fundamental importância para garantir uma longa vida útil da subestação, pois é a base para o funcionamento contínuo desta. Canaletas ou bases com rachaduras são exemplos de falhas na execução do projeto civil, que por exemplo podem causar sérios problemas em casos de faltas ou acidentes com os equipamentos. Por isso existe a necessidade de executar a obra de forma correta, seguindo os padrões da concessionária, para minimizar os riscos.

As obras civis foram divididas nas seguintes etapas: terraplanagem, malha de terra, muro divisório, casa de controle e abrigo para extintor, bases para equipamentos/pórticos, canaletas/eletrodutos, sistema de drenagem, sistema coletor de óleo, parede corta-fogo, pavimentação e urbanização.

4.1.1 TERRAPLANAGEM

Terraplanagem ou Terraplenagem é a operação destinada a conformar o terreno existente aos gabaritos definidos em projeto. De maneira geral ela engloba os serviços de corte (escavação de solo) e de aterro (deposição e compactação de materiais escavados). O terreno deve ser trabalhado a fim de se obter uma superfície plana, que não permita inundações e que haja um perfeito escoamento das águas pluviais, mesmo em períodos de grandes precipitações. A Figura 1 apresenta uma fotografia com trator executando o

serviço de terraplanagem feito na região da subestação onde em seguida seriam feitas as instalações dos equipamentos da entrada de linha.

Figura 1 – Fotografia com trator executando o serviço de terraplanagem



Fonte: Próprio Autor

Para a execução do serviço é necessário fazer o desmatamento e a limpeza de possíveis materiais orgânicos com o auxílio de equipamentos mecânicos, a área deste desmatamento compreende desde o local onde serão executados aterros até as proximidades do muro, deve-se fazer também o corte de árvores e arbustos, remoção de mato rasteiro, raízes e qualquer capa vegetal existente.

Todos os materiais removidos devem ser depositados em área fora do terreno, em local adequado e de acordo com as leis municipais, obedecendo ao que vem descrito sobre o tema na Norma Regulamentadora NR – 18, que estabelece diretrizes de ordem administrativa, de planejamento e de organização, que objetivam a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na Indústria da Construção.

Antes do início dos serviços de desmatamento a limpeza da capa vegetal, deve ser feita, ou conferido, o levantamento planialtimétrico do terreno no estado natural, que é um estudo descrevendo o terreno com exatidão, anotando precisamente suas medidas planas, ângulos e diferenças de nível (inclinação). Este estudo tem o propósito de estabelecer seções transversais para conhecimento dos volumes executados. Após este

serviço, deverá ser realizado a regularização mecânica do terreno, com a finalidade de promover o nivelamento da área a ser terraplenada, dessa forma, permitindo a uniformidade na distribuição das camadas de aterro com material de empréstimo, ou seja, de fora da subestação.

O aterro deve ser executado em camadas sucessivas, com altura máxima de 20 (vinte) cm cada, umedecidas, homogêneas e compactadas a 95% (noventa e cinco por cento) com referência ao ensaio de Compactação ou de Proctor Normal - SPT - *Standard Penetration Test*, a fim de se garantir uma boa taxa de capacidade de carga do sub-solo. Os ensaios de caracterização e compactação compreendem: granulometria por peneiramento, limite de liquidez, limite de plasticidade (COSERN, 2017).

4.1.2 MALHA DE TERRA

Uma malha de terra é um tipo de aterramento usual em instalações de grande porte, sendo essenciais em sistemas de energia elétrica, em particular nas usinas e subestações. Trata-se de um reticulado de cabos horizontalmente enterrados, interligados por juntas mecânicas ou soldadas, e hastes cravadas verticalmente, como é apresentado na Figura 2 que apresenta uma fotografia de uma área onde foi instalado a malha de terra, após o serviço de terraplanagem.

Figura 2 – Fotografia de uma área onde foi instalado a malha de terra, após o serviço de terraplanagem



Fonte: Próprio Autor

A malha de terra é um aterramento com baixa resistência elétrica, atendendo a todos os equipamentos como uma referência "zero" de tensão. O sistema deve resistir a correntes intensas, escoando a energia efetivamente para o solo. Esta corrente pode ser proveniente de curto-circuitos, descargas atmosféricas, surtos por chaveamento e correntes harmônicas.

Ela também deve reduzir os níveis de tensões de toque e de passo, danosos para pessoas e equipamentos. A norma mais utilizada para o cálculo de malhas de terra é a IEEE 80. A norma parte da premissa de distúrbios em baixas frequências, o que se observou recentemente não ser suficiente.

Com relação ao projeto do sistema de aterramento de uma subestação, o mesmo deve ser executado para a condição de falta para a terra e envolve o dimensionamento do condutor da malha, para suportar os esforços térmicos decorrentes da circulação de correntes de curto-circuito, e o estabelecimento de uma geometria de malha adequada para o controle dos potenciais de passo e toque, causados pelo processo de dissipação da malha para o solo de parte ou de toda a corrente de falta.

A etapa inicial do dimensionamento de uma malha de aterramento consiste na seleção de uma geometria básica, que deve considerar a delimitação da área da SE a ser abrangida pela malha e o arranjo inicial dos condutores. A área a ser abrangida pela malha deve incluir no mínimo o pátio da SE. Uma vez escolhida a área, cumpre determinar uma configuração inicial para o lançamento dos eletrodos que a constituem. O critério de definição da geometria inicial da malha deve levar em consideração a distribuição dos equipamentos e edificações existentes no interior da área em questão, bem como o modelo de solo (já previamente determinado).

Os condutores formadores da malha devem ser lançados sobre o terreno nivelado, evitando-se ao máximo emendas nos mesmos, formando o reticulado indicado no projeto. As hastes de aterramento devem ser fincadas nas posições indicadas no projeto e nos pontos de junção (cabo-cabo e cabo-haste) devem ser realizadas soldas exotérmicas apropriadas para a posição. A Figura 3 apresenta como são feitas as soldas exotérmicas nos cruzamentos da malha de aterramento.

Figura 3 – Fotografia com detalhe de uma solda exotérmica



Fonte: Próprio Autor

Devem ser deixados rabichos conectados a malha de aterramento por soldas exotérmicas apropriadas. O comprimento dos rabichos deve possuir extensão adequada para conexão dos equipamentos, neutros dos transformadores ou quaisquer peças metálicas, sem a necessidade de novas emendas.

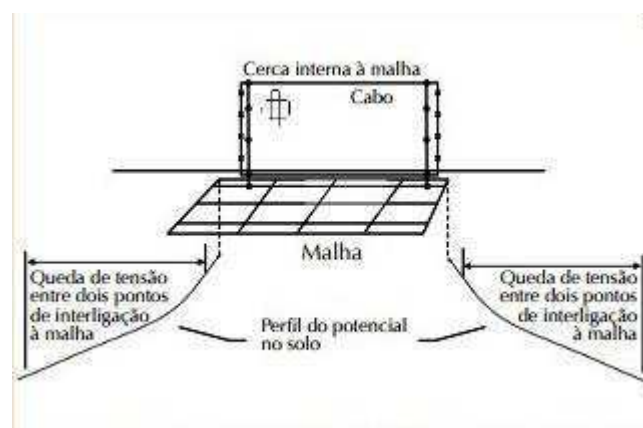
Do ponto de vista técnico e de suas características geométricas básicas, a implantação da malha de terra segue algumas considerações: a profundidade de enterramento mínima de 50 cm (recomendado por razões mecânicas, sendo admitida uma profundidade mínima de 25 cm em áreas de piso concretado ou devido a um substrato rochoso muito superficial), ter suas interconexões, conexões às hastes de aterramento e aos trilhos dos transformadores feitas com solda exotérmica, ter as conexões de equipamentos, estruturas e demais partes metálicas do tipo aparafusadas e utilizar haste de aço cobreado para conectar equipamentos e outras partes da subestação a malha.

É importante ressaltar que todos os equipamentos presentes na subestação devem ser conectados a malha de aterramento, assim como outros componentes com peças

metálicas que podem conduzir corrente elétrica, como: portões, concertina e casa de comando.

No caso específico de cercas metálicas localizadas no interior da malha da subestação, é necessário interligá-las à malha em vários pontos, ou seja, devem ser multiaterradas. As que estiverem localizadas fora da área de abrangência da malha devem ser seccionadas e cada seção deve ser multiaterrada, porém em quadrículas distintas da malha, como é ilustrado no esquema da Figura 4.

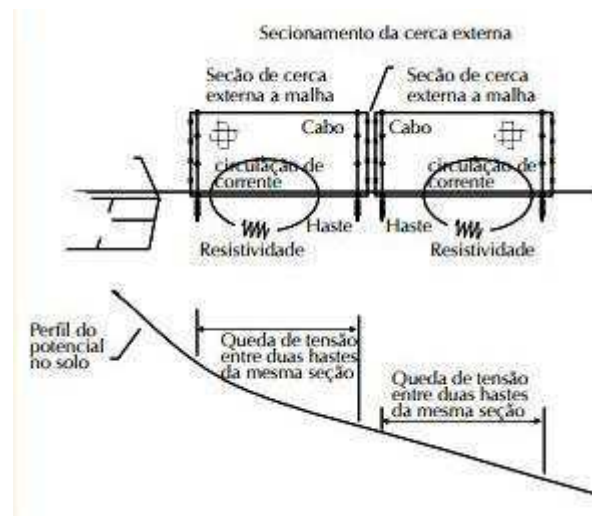
Figura 4 – Esquema do aterramento de cercas metálicas no interior do plano de malha



Fonte: Aterramentos Elétricos- Jobson Modena e Hélio Sueta

No caso de cercas metálicas que saem da área ocupada pela malha, elas devem ser seccionadas e cada seção deve ser aterrada por duas hastes, como mostra a ilustração da Figura 5 que apresenta um esquema do aterramento de cercas metálicas no exterior do plano de malha. Esta é uma forma de evitar a transferência de potencial perigoso para pontos distantes. Trechos de cercas externas embaixo de linhas de alta tensão e mesmo de baixa tensão devem ser tratados da mesma forma. Estas recomendações procuram reduzir os riscos do aparecimento de potenciais de toque perigosos nestes trechos de cercas metálicas.

Figura 5 – Esquema do aterramento de cercas metálicas no exterior do plano de malha



Fonte: Aterramentos Elétricos- Jobson Modena e Hélio Sueta

Cada equipamento tem alguma particularidade para o aterramento que a norma detalha, principalmente, em relação aos pontos a serem aterrados, à bitola do condutor de interligação, à fixação e aos tipos de conectores para esta interligação e quantidade de ligações à malha. De forma geral, os equipamentos possuem terminais identificados para o aterramento. Estes terminais devem ser interligados diretamente à malha de terra por meio de um condutor de mesma seção que o da malha. Na maioria dos casos, perto do nível do solo, o cabo de interligação deve possuir um conector com duas saídas para que seja possível interligar o equipamento a dois pontos distintos da quadrícula da malha. Se o equipamento possuir suporte, o cabo de interligação deve ser fixado a ele de forma adequada, por exemplo, por meio de conectores de fixação a cada 2,5 metros.

Cuidados especiais devem ser tomados nos locais em que possa haver movimentação de veículos pesados dentro da subestação. Se estes veículos passarem sobre locais onde a malha estiver enterrada, recomenda-se que o posicionamento dos cabos condutores do eletrodo seja feito de forma a não os deixar tensionados para que não arrebentem ou não haja algum tipo de interrupção da malha, principalmente nas conexões e emendas.

Nota-se que embora haja um padrão a ser seguido para o aterramento dos componentes em uma subestação, há também uma série de detalhes a serem considerados e que estão diretamente relacionados com a forma, com a quantidade, com a disposição e

com a característica de cada elemento em questão. Esta condição torna cada caso uma situação particular e poderá influenciar de maneira crucial o desempenho do eletrodo, bem como o conceito de segurança a ser ali aplicado.

4.1.3 MURO DIVISÓRIO

O item Muro Divisório engloba todas as etapas de serviços necessárias à perfeita execução da construção do muro, muro de contenção e mureta de alvenaria de tijolo cerâmico, conforme previsto em projeto, inclusive acabamento final.

Na Figura 6 observa-se que sobre o muro, em volta da subestação, é colocado uma concertina para evitar a entrada de invasores ou animais. É obrigatório o aterramento da concertina assim como os portões de entrada da SE.

Figura 6 – Fotografia do muro externo da SE.



Fonte: Próprio Autor

4.1.4 CASA DE CONTROLE

A casa de comando deve ter uma área, sendo um compartimento único ou dois compartimentos, capaz de abrigar os equipamentos de medição, proteção, controle, comunicação e serviços auxiliares. As suas paredes devem ser construídas em alvenaria,

o teto em laje pré-moldada ou treliçada, com forro de PVC a três metros do piso, e o seu cabeamento de força e para os equipamentos de comando devem ser instalados respectivamente através de canaletas e em piso elevado. A Figura 7 apresenta uma fotografia da casa de comando da SE de Apodi-RN.

Figura 7 – Fotografia da Casa de Comando



Fonte: Próprio Autor

A execução da fundação deve satisfazer às normas vigentes da ABNT, especialmente a NBR – 6122 que fixa as condições básicas a serem observadas no projeto e execução de fundações de edifícios, pontes e demais estruturas e a NBR – 6118 que é do projeto e execução de obras de concreto armado, e aos Códigos e Posturas dos Órgãos Oficiais que jurisdicionam a localidade onde será executada a obra. As fundações devem ser executadas em blocos de concreto / alvenaria de pedra marroada e amarradas com cintamento, respeitando rigorosamente o que determina o projeto estrutural.

O piso da sala de controle da casa de comando deve ser do tipo elevado e deve ser formado por placas moduladas, a sua superfície deve ser revestida com material antiabrasivo e a parte inferior com chapa de aço galvanizada, a calçada deve ser construída em piso cerâmico e as paredes pintadas e a porta de acesso deve ser de aço carbono.

É indispensável a existência de um sistema eletrônico de segurança composto por uma central de comando e sensores de presença (quantos forem necessários, de modo a garantir a cobertura do perímetro indicado). A central deve ser instalada diretamente nos chassis do quadro que abrigará os bornes dos contatos de sinalização, rearme e alimentação (125 Vcc). Os sensores são colocados em diversos pontos da subestação: sensor magnético de abertura para o portão de entrada da subestação e para a porta de acesso a casa de operação, sensores de fumaça tipo iônico e de presença tipo volumétrico no interior da casa.

A climatização da casa de comando é de suma importância para o funcionamento regular dos equipamentos lá presentes, deve ser instalado na sala um sistema de refrigeração com um mínimo de 18.000 BTU's (uso industrial) com todos os acessórios afins e grades metálicas de modo a impedir a retirada dos condensadores pela área externa da casa sem uso de chaves. Os equipamentos de refrigeração devem ser interligados ao sistema de instalação elétrica da casa de comando e serem acionados automaticamente.

Outro fator importante que deve ser lembrado é a proteção contra incêndios, devem ser instalados na sala de comando, extintores de incêndio portáteis de CO₂ com 6 kg, em quantidade compatível com as dimensões da sala. Os extintores devem ser instalados em locais de fácil visualização, fácil acesso e onde haja menor probabilidade de o fogo bloquear seu acesso, os mesmos devem obedecer rigorosamente às normas ABNT, inclusive apresentando o selo de aprovação do Corpo de Bombeiros.

Os quadros de supervisão e comando dos sistemas fixos de proteção contra incêndio da subestação devem estar localizados na sala de controle ou em área de supervisão contínua. A sinalização, luminosa e sonora, de funcionamento dos quadros deve ser diferente de outras existentes no local.

4.1.5 BASES PARA EQUIPAMENTOS / PÓRTICOS

As bases dos equipamentos não podem apresentar rachaduras, fendas, ou estar fora de eixo, de esquadro ou com acabamento feito com massa que não apresente uma total aderência ao concreto, sua perfeita construção é indispensável para garantir uma longa e contínua operação dos equipamentos que serão implantados. Nas Figuras 8 e 9

temos respectivamente as bases de um dos disjuntores instalados na SE e de um dos transformadores de força, construídas na SE de Apodi-RN.

Figura 8 – Fotografia de uma das bases dos disjuntores instalados.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 9 – Fotografia da base de um dos transformadores.



Fonte: Próprio Autor

As estruturas devem ser construídas em concreto armado ou concreto simples, com o traço volumétrico a ser definido de acordo com as características físicas dos materiais utilizados, dependendo também do projeto do equipamento. A proporção adequada deve ser sempre experimental, levando em consideração a resistência mínima exigida em projeto, a qualidade dos materiais empregados, a permeabilidade, a

durabilidade e consistência compatíveis com as dimensões e formas das peças, a armadura e os processos de lançamento e adensamento. Devem também ser levadas em consideração as peculiaridades relativas à prevenção contra a retração exagerada.

Um cuidado especial deve ser tomado quando da locação dos chumbadores antes das concretagens, deve ser feita com equipamentos de precisão, a fim de eliminar possíveis erros. Outro ponto importante são os ensaios feitos para determinar as características do concreto utilizado na construção da base, pois o início dos trabalhos de concretagem só será possível após aprovação, pela fiscalização, dos traços volumétricos. Devem ser apresentados todos os ensaios de caracterização dos materiais, memória de cálculos dos traços e resultados dos rompimentos de corpos de prova cilíndricos ao 3º, 7º e 28º dias.

4.1.6 CANALETAS / ELETRODUTOS

As canaletas de comando e força externas são usadas para passagem de cabos no pátio da subestação, devem ser construídas em bloco de concreto ou alvenaria de tijolo cerâmico, assentados com argamassa de cimento e areia no traço volumétrico 1:4, com exceção daquelas sob passagem de veículos, que precisam suportar uma carga grande e por isso devem ser em concreto armado $f_{ck} > 20$ MPa. Devem também ser chapiscadas e revestidas internamente com argamassa de cimento e areia no traço volumétrico 1:4, com tampa em concreto armado. As bordas laterais, onde se encaixa a tampa, devem ser em concreto reforçado. Abaixo as Figuras 10 e 11 apresentam um trecho das canaletas instaladas na SE-Apodi.

Figura 10 – Fotografia de uma canaleta fechada



Fonte: Próprio Autor

Figura 11 – Fotografia de uma canaleta aberta



Fonte: Próprio Autor

É importante analisar a capacidade de absorção d'água do terreno, caso presente, depois de executados os serviços de terraplenagem, baixa absorção d'água. A drenagem das canaletas deve ser feita, para os pontos definidos no projeto de drenagem de águas pluviais, através de tubos de drenagem.

Construídas no pátio da subestação tem-se as caixas externas que devem ser em alvenaria de tijolo cerâmico ou bloco de concreto, assentadas com argamassa de cimento e areia também no traço volumétrico 1:4, as bordas das caixas devem ser executadas em concreto reforçado, é aplicada uma camada de brita nº1 (B25) no fundo das caixas, para possibilitar o escoamento natural de eventuais infiltrações nas mesmas.

4.1.7 SISTEMA DE DRENAGEM

A rede de drenagem tem por objetivo propiciar um perfeito escoamento das águas de superfície, bem como do lençol freático, quando for o caso, evitando assim modificações na capacidade de suporte do solo, alagamento superficial e saturação do terreno.

A decisão do sistema a ser utilizado para a drenagem das áreas das subestações é função especificamente do tipo de solo encontrado. Para os solos predominantemente arenosos deve ser utilizada solução mais econômica, comumente chamada drenagem superficial. Nas áreas onde o solo se apresenta com predominância de material argiloso, portanto de difícil infiltração, deve ser utilizada a drenagem mista com caixa de coleta e dreno poroso, conforme o projeto.

Para o traçado da rede de drenagem a ser executada, principalmente na área energizada, deve ser observada a planta de locação das bases dos equipamentos e sistema de malha de aterramento da subestação, a fim de que sejam evitadas interferências físicas entre os projetos.

Na drenagem dos arruamentos devem ser utilizadas caixas “bocas de lobo” localizadas na periferia dos mesmos, dirigindo o seu fluxo em rede de drenos, em tubos de PVC, à caixa de drenagem/coleta existente mais próxima.

Nos locais onde ocorrem junções entre as linhas de drenagem, devem ser executadas caixas de inspeção de alvenaria de tijolo cerâmico, com tampas em concreto armado removíveis.

Todos os tubos que devem interligar as caixas de drenagem/coleta devem ser em PVC e ser assentados com inclinação mínima de 0,5 % ou 1 %, para que haja um perfeito e rápido escoamento das águas que receberão. Os tubos devem ser chumbados às caixas de passagem, com argamassa de cimento e areia, com um traço volumétrico 1:3, e assentados sobre colchão de areia.

4.1.8 SISTEMA COLETOR DE ÓLEO

Sob o transformador de força deve ser construída uma bacia coletora em concreto simples com $f_{ck} > 20$ MPa. Esta bacia deve ser capaz de recolher o vazamento de óleo embaixo e dos lados do transformador (até o limite de possíveis esguichos, inclusive pelo dispositivo de alívio de pressão). Esta bacia deve ser interligada a uma caixa separadora de água e óleo através de tubo de ferro fundido com diâmetro de 200 mm e inclinação especificada em projeto. A bacia deve ser cheia de pedra britada nº 3 (B38), com coeficiente de vazios em torno de 40 %, a fim de evitar a propagação do fogo e resfriar o óleo. O volume de vazios deve alcançar pelo menos 1/3 do volume de óleo contido no transformador previsto para a fase final da subestação.

Em qualquer caso, o efluente da bacia deve ter caimento suficiente para assegurar escoamento rápido do óleo, até uma caixa separadora de óleo e água (pois haverá sempre penetração de água pluvial pela bacia). O dimensionamento da bacia estará condicionado a dados do transformador de força, tais como dimensões e volume de óleo.

A caixa separadora água e óleo deve ter capacidade de óleo igual ao do transformador de maior volume dentre aqueles instalados na subestação ou passível de instalação, permitindo transferência automática apenas da água pluvial para a rede de esgoto pluvial da SE e remoção do óleo por meio de bomba portátil. A caixa também deve ser construída em concreto armado $f_{ck} > 20$ MPa, em área específica, separada de outras instalações e equipamentos.

Após a conclusão de todos os serviços, inclusive de montagem eletromecânica, todas as faces aparentes da bacia e caixa separadora de água e óleo, devem ser pintadas com tinta a base de resina acrílica, na cor concreto, com número de demãos suficientes para apresentar uniformidade quanto à textura, tonalidade e brilho. A sinalização da caixa

separadora de água e óleo deve ser feita com placa de aço inoxidável, chumbada na tampa da mesma, conforme projeto, como é apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Fotografia da caixa separadora de óleo



Fonte: Próprio Autor

4.1.9 PAREDE CONTRAFOGO

A parede tipo corta-fogo deve apresentar as seguintes dimensões para transformadores e reatores de potência (NORMA TÉCNICA 37, 2014):

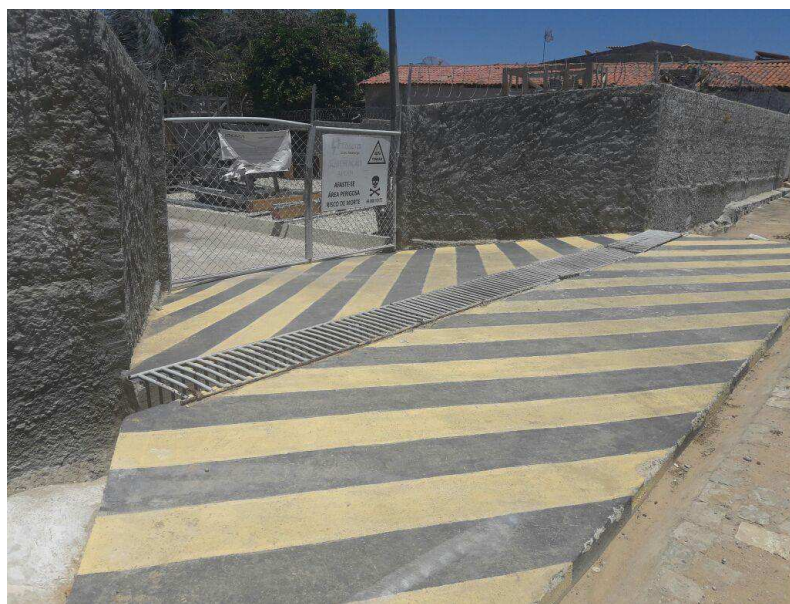
- a) para transformadores, a altura deve ser de 40 cm acima do topo do tanque conservador de óleo;
- b) para reatores de potência, a altura deve ser de 60 cm acima do topo do tanque;
- c) o comprimento total da parede deve, no mínimo, ultrapassar o comprimento total do equipamento protegido em 60 cm;
- d) distância livre mínima de separação física, entre a parede e o equipamento protegido, deve ser de 50 cm.

4.1.10 PAVIMENTAÇÃO E URBANIZAÇÃO

Após a conclusão da terraplanagem temos a pavimentação, que é feita em paralelepípedos graníticos, assentadas sobre camada de areia de modo conveniente a fim de possibilitar o entrosamento necessário e obedecer às condições de alinhamento e perfil transversal. Deve ser prevista a inclinação da pavimentação propiciando a drenagem da mesma.

Nos trechos onde houver passagem de veículos, as tubulações devem ser cobertas por uma camada de 20 cm de concreto simples (envelopados), com o traço volumétrico definido em projeto, como é demonstrado na Figura 13, que apresenta uma fotografia de uma das rampas de entrada da SE.

Figura 13 – Fotografia de uma das rampas de entrada da SE.



Fonte: Próprio Autor

Os paralelepípedos devem ser assentados em fiadas, normalmente ao eixo da via, ficando a maior dimensão na direção da fiada. O acabamento deverá estar de acordo com as tolerâncias estabelecidas no projeto.

As juntas devem ser alteradas com relação as duas fiadas vizinhas, de tal forma que cada junta fique dentro do terço médio do paralelepípedo vizinho. Deverá haver uma

inversão na direção de assentamento das duas fiadas do centro do pavimento, de sorte a criar uma faixa divisória.

A pavimentação em pedra paralelepípedo, após o seu assentamento, deverá ser rejuntada com brita e asfalto. Antes da aplicação da emulsão asfáltica, deverá ser feita a compactação da área pavimentada com utilização de rolo compactador, como forma de corrigir todos abatimentos que possam surgir. A pavimentação deve ser construída de tal forma a suportar o trânsito de caminhões e guindastes sem evidenciar nenhum tipo de abatimento no trecho construído.

As lombadas são executadas em concreto simples, com a finalidade de permitir a ligação entre o acesso pavimentado e a área do pátio onde estão instalados os equipamentos. A seguir temos a Figura 14 que apresenta uma das lombadas feitas na SE Apodi.

Figura 14 – Fotografia de uma lombada da SE.



Fonte: Próprio Autor

4.2 OBRAS ELETROMECCÂNICAS

Nas obras eletromecânicas, os equipamentos devem ser perfeitamente nivelados e fixados adequadamente, sem esforços excessivos, visando não os danificar e facilitar sua remoção a qualquer momento. Para tanto, devem ser consultados os manuais dos fabricantes e efetuadas as fixações mediante o uso de ferramentas adequadas para medir o esforço aplicado.

Se o equipamento for muito pesado sua instalação deve ser feita por meio de guindaste, observando-se rigorosamente os pontos de suspensão, de forma a que não haja incidência de esforços não previstos nos seus esquemas de carga.

Todas as ligações aos equipamentos devem ser feitas por meio de conectores apropriados com aplicação dos esforços recomendados, medidos por ferramentas adequadas, não sendo permitido o uso de conexões soldadas.

A ligação dos cabos a transformadores, chaves, disjuntores, barramentos e de outros equipamentos deve ser feita sem provocar curvas que prejudiquem o isolamento do cabo ou force os terminais dos equipamentos.

Na montagem de equipamentos tem-se também as instalações de eletrodutos rígidos e flexíveis, com o auxílio de curvas e luvas. Nesta questão é importante observar que se tem um raio de curvatura mínimo para a instalação de eletrodutos, que é doze vezes o seu diâmetro externo.

Da instalação de condutores em eletrodutos, deve ser feita uma inspeção, antes do lançamento, para a verificação de arestas e detritos que possam danificar os condutores quando da sua passagem. Os cabos precisam ser puxados em lances inteiros, sem emendas entre caixas de passagem, simultaneamente por circuito, pelos condutores, de forma contínua e com tensão constante até que a passagem se processe totalmente. Devem ser deixadas em todas as caixas de passagem sobras adequadas de condutores para permitir eventuais remanejamentos ou correções.

4.2.1 MONTAGEM DE PÓRTICOS E BARRAMENTOS

Para uma montagem segura dos pórticos é preciso que o local onde serão instaladas as estruturas e suportes esteja completamente limpo e acabado. Antes de colocar as estruturas em seu local definitivo, é preciso verificar as dimensões e espaçamentos contidos em projeto. Deve ser observado que qualquer equipamento ou estrutura que impossibilite a perfeita execução do projeto deve ter seu desmonte/remoção previsto e incluso na ordem lógica de execução do projeto.

O pórtico de amarração das linhas aéreas e os suportes dos equipamentos devem ser realizados com base em estruturas metálicas de aço galvanizado e perfil tubular, quando estruturas metálicas ou poste e vigas de concreto armado, conforme previsto no projeto.

As colunas ou postes devem suportar os esforços totais previstos dos condutores e dos cabos de terra, sem que o movimento em seus extremos exceda de $1/50$ de sua altura.

As vigas devem ser calculadas para suportar os esforços longitudinais dos condutores, sem que a flecha horizontal exceda de $1/200$ de sua largura e as cargas verticais, sem que a flecha no plano vertical exceda de $1/300$ de sua largura.

Todas estruturas metálicas, incluindo todos os suportes de equipamentos, devem estar submetidas a um processo de galvanização a quente com espessura mínima de 120 mm.

4.2.2 MONTAGEM DE EQUIPAMENTOS

Uma subestação é composta por diversos equipamentos, dentre eles se destacam os disjuntores, chaves seccionadoras, transformadores, para-raios, bancos de capacitores. Nesse tópico será abordado um pouco mais desses principais equipamentos das subestações.

4.2.2.1 TRANSFORMADORES DE CORRENTE

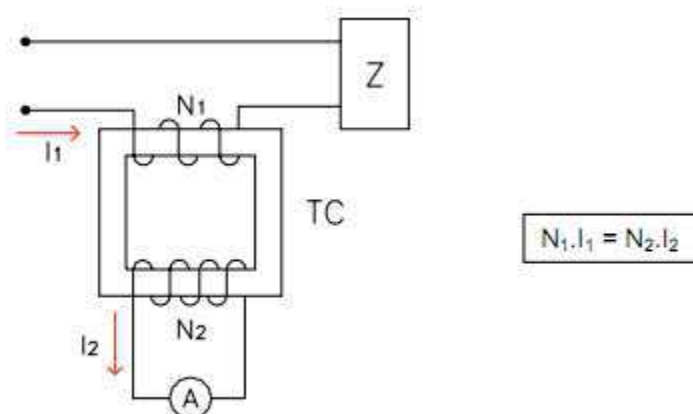
Devido ao grande desenvolvimento das tecnologias de geração e distribuição de energia, em conjunto com grande aumento de consumo, são necessárias informações sobre os valores de corrente e tensão cada vez mais precisas.

Para isso, temos os transformadores de instrumentos (corrente e tensão), que são equipamentos que fornecem valores de corrente e tensão, que se adequam e respeitam os limites máximos dos demais instrumentos utilizados na subestação, como os de medição e de proteção.

Os transformadores de corrente (TC) possuem a função de suprir de corrente os medidores e os equipamentos de medição e proteção, Figura 15, com valores proporcionais aos dos circuitos de potência, entretanto, respeitando seus limites de isolamento.

Possuem o enrolamento primário ligado em série a um circuito elétrico e o secundário se limita a alimentar bobinas de corrente dos instrumentos da subestação, a figura abaixo apresenta o esquema básico de um TC.

Figura 15 - Esquema básico de um TC



Fonte: Equipamentos para Subestações de T&D

Apresentam impedância, vista pelo lado primário (lado ligado em série com o circuito de alta tensão) desprezível, se comparada com o lado que está instalado, mesmo que se leve em consideração a carga que se liga ao seu secundário.

Como principais objetivos desse equipamento, podem-se citar:

- A alimentação dos sistemas de proteção e medição da subestação, com valores proporcionais, porém que respeitem os limites de isolamento dos equipamentos.
- Compatibilizar isolamento e segurança entre o circuito de alta tensão, que estão sendo medidos e os instrumentos da subestação.

Na subestação de Apodi-RN foram instalados dezoito TC's de 15,0 kV (5 A) e doze de 72,5 kV (5 A), para uso externo, da empresa Balteau Produtos Elétricos de Minas Gerais.

Com relação a montagem do equipamento, ela é feita normalmente sobre um poste de concreto armado como é apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Fotografia de um transformador de corrente



Fonte: Próprio Autor

4.2.2.2 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

Os transformadores de potencial (TP) têm a função de possibilitar a medição de tensão em sistemas com tensão acima de 600 V. Eles possuem uma filosofia de funcionamento análogo ao dos transformadores de corrente, fornecendo uma tensão proporcional aos circuitos de alta tensão que estão sendo medidos.

Para exercer sua função, os transformadores de potencial devem ter as seguintes características:

- Erro mínimo na relação de transformação e no ângulo de fase;
- A queda de potencial a partir do regime em vazio até a plena carga, deve ser muito pequena;

- Isolar o circuito de baixa tensão do circuito de alta tensão;
- Reproduzir os efeitos transitórios e de regime do circuito de alta tensão para o circuito de baixa o mais fielmente possível.

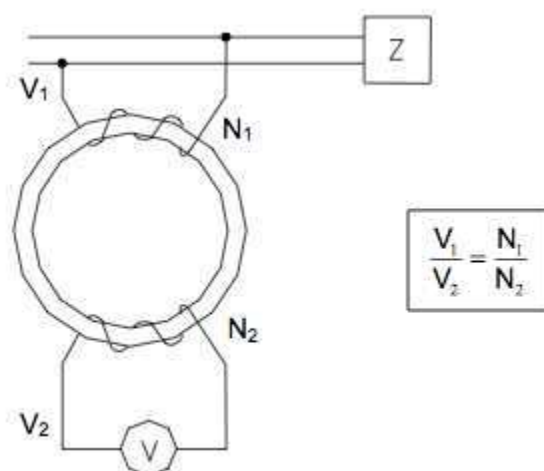
Esses transformadores de potencial também possuem a mesma metodologia dos transformadores de potência ou força. A potência, porém, neste caso, é menor e tem origem de instrumentos de medição e proteção, e são construídos de forma a atender os requisitos necessários.

No seu dimensionamento não há a necessidade de se considerar todos os fatores observados no dimensionamento dos transformadores de corrente, pois, sua ligação em paralelo com a rede faz com que a corrente de curto não tenha a mesma influência como no TC.

Como resultado dessa ligação em paralelo, resulta uma construção onde menores precauções são necessárias e o fato que, para fins de medição, a precisão deve ser mantida em todas as leituras. Esta condição é bem mais fácil de ser satisfeita no caso da medição de tensão, pois a sua faixa de variação é bem menor do que no caso da medição de corrente, já que, a corrente varia conjuntamente com a oscilação da carga e a variação da tensão com a carga, é bem menor.

O transformador de potencial é um transformador para instrumentos cujo enrolamento primário é ligado em derivação a um circuito elétrico e cujo o enrolamento secundário se destina a alimentar bobinas de potencial de instrumentos elétricos de medição e proteção ou controle. O transformador é construído com $N_1 > N_2$. A Figura 17 apresenta o esquema básico de funcionamento de um transformador de potencial.

Figura 17 - Esquema básico de um TP



Fonte: Equipamentos para Subestações de T&D

Da montagem do TP tem-se uma similaridade com a do TC, o equipamento é erguido com auxílio de um caminhão munck e é colocado sobre um poste de concreto armado. O material utilizado para a sua instalação também segue o mesmo padrão do TC, com a utilização de conexões macho e fêmea de 1.1/2” e 2”, assim como buchas e arruelas, parafusos para fixação dos cabos de conexão, com eletroduto seal tubo para proteção dos cabos de conexão com a casa de comando.

Na subestação de Apodi-RN foram instalados três TP’s de 15 kV / 400 kVA e cinco TP’s de 72,5 kV / 200 kVA , sendo três de barra e dois de linha, a Figura 18 apresenta o equipamento instalado sobre a estrutura de concreto.

Figura 18 – Fotografia de um Transformador de Potencial



Fonte: Próprio Autor

4.2.2.3 CHAVE FUSÍVEL E CHAVE SECCIONADORA

Chaves fusíveis e chaves seccionadoras são equipamentos amplamente utilizados em qualquer tipo de subestação, independente da tensão e potência envolvida. Tendo como função a proteção do circuito e também o controle deste através do seccionamento.

i. CHAVE FUSÍVEL

Chaves amplamente utilizadas no sistema de distribuição das concessionárias, geralmente instaladas nas derivações de ramais e na entrada de circuitos com transformadores, da própria concessionária ou particulares. Como o foco do trabalho é SE, somente será tratado de chaves seccionadoras que fazem parte do conjunto desta, conforme itens a seguir:

- Chave fusível base polimérica ou de porcelana: geralmente utilizadas em sistemas com corrente nominal de no máximo 200A. Constituída basicamente do suporte dielétrico, os conectores dos cabos e o porta-fusível. A Figura 19 apresenta este equipamento;

Figura 19 – Ilustração da chave fusível base polimérica ou de porcelana



Fonte: Equipamentos para Subestações de T&D

- Cartucho Porta-fusível e Elo Fusível: como o próprio nome já diz este componente é onde fica instalado o elo-fusível e também serve como a parte móvel da seccionadora. A Figura 20 apresenta o equipamento.

Figura 20 – Ilustração do cartucho porta-fusível



Fonte: Equipamentos para Subestações de T&D

Já o elo-fusível é um cordão metálico, como é apresentado na Figura 21, o qual é inserido no cartucho formando assim um fusível com características específicas de funcionamento.

Figura 21 – Ilustração do Elo fusível



Fonte: Equipamentos para Subestações de T&D

ii. CHAVES SECCIONADORAS

Este tipo de chave não possui fusível, sendo somente utilizada para isolar equipamentos dos sistemas para determinados fins. As chaves seccionadoras não devem ser utilizadas para interromper corrente, não devem ser abertas sob carga. Este processo deve ser feito por disjuntores, porém se este apresentar problemas e não desligar, a abertura das chaves seccionadoras deve ser executada com o máximo de precaução devido a formação de arco voltaico.

São dispositivos destinados a fechar, abrir ou transferir as ligações de um circuito em que o meio isolante é o ar. Essa operação é prevista para acontecer após a abertura do circuito por outro dispositivo, no caso um disjuntor. Tais operações devem atender aos requisitos de manobra, que são:

- Na posição fechada não deve oferecer resistência à corrente que circula (nominal ou de defeito);
- Na posição aberta deve suportar com segurança as tensões que se estabelecem;
- Todas as partes que em qualquer condição de operação possam ficar em sobtensão, devem ser isoladas (para terra e entre fases);

- Somente operam em circuitos sem passagem de corrente.

As chaves seccionadoras podem interromper correntes pequenas, tais como: correntes de magnetização de transformadores, ou correntes em vazio de linhas de transmissão. Basicamente se dividem entre monofásicas e trifásicas:

- Chave seccionadora monofásica: Usadas pelas distribuidoras de energia quando a potência envolvida fica em torno de alguns MW e opta-se por não utilizar fusíveis. Esta escolha de que em qual potência não utilizar proteção varia muito entre concessionárias, a Figura 22 apresenta dois modelos dessa chave, chave pedestal e chave corta-arco.

Figura 22 – Ilustração de chave pedestal e chave corta-arco



Fonte: Equipamentos para Subestações de T&D

- Chave seccionadora trifásica: Podem ser de MT (Média Tensão) ou AT (Alta Tensão), sendo a primeira usada em SE abrigadas ou nas linhas de distribuição das concessionárias, e a segunda somente utilizadas em SE de grande potência. A Figura 23 apresenta uma chave com abertura dupla lateral.

Figura 23 – Ilustração de uma chave com abertura dupla lateral



Fonte: Equipamentos para Subestações de T&D

Para a especificação da compra de uma chave seccionadora, de baixa ou média potência, são necessários os seguintes itens:

- Corrente do fusível;
- Tensão nominal;
- Corrente nominal;
- Corrente nominal suportável de curta duração;
- Duração suportável de curto-circuito;
- Características dos circuitos de comando (se houverem).

Diversos tipos de chaves foram instaladas na subestação de Apodi-RN, tanto na entrada da SE como para seccionar equipamentos, como por exemplo bancos de capacitores, dentre esses tipos temos: chave by-pass, chave terra. Abaixo é apresentado uma lista dos seccionadores utilizados na subestação: seis chaves de 72 kV / 1250 A, dezoito chaves de 15 kV / 630 A, seis chaves de 15 kV / 1250 A, nove chaves Tandem de 15 kV / 630A.

A montagem deste equipamento é realizada sobre um poste de concreto armado, como é apresentado na Figura 24, que é de uma das chaves instaladas na SE de Apodi-RN.

Figura 24 – Fotografia de uma das chaves instalada na SE



Fonte: Próprio Autor

4.2.2.4 DISJUNTORES

Os disjuntores são os principais equipamentos de segurança da subestação, além de serem os mais eficientes dispositivos de manobra em uso nas redes elétricas. São capazes de conduzir, interromper e estabelecer correntes normais e anormais especificadas dos sistemas. São usados para controlar circuitos, ligando e desligando em

qualquer condição, conduzindo corrente de carga e proporcionando uma supervisão automática das condições do sistema e sua operação.

Devem ser sempre instalados acompanhados dos respectivos relés, que são os elementos responsáveis pela detecção das correntes elétricas do circuito, e que tomam a decisão de acionamento ou não do disjuntor. O disjuntor sem o acompanhamento dos seus relés torna-se apenas uma chave de manobra, sem qualquer característica de proteção.

As principais funções dos disjuntores são citadas abaixo:

- Interromper rápido e sucessivamente a corrente de curto circuito (I_{cc});
- Capacidade de interromper, estabelecer e conduzir correntes nominais de carga dos circuitos por longo tempo, correntes de magnetização de transformadores e reatores e as correntes capacitivas de banco de capacitores e linhas em vazio;
- Suportar a tensão do circuito em que está instalada como os contatos abertos;
- Ser capaz de fechar um circuito em curto imediatamente após abrir (ou reabrir) para eliminar este curto circuito;
- Suportar os efeitos do arco elétrico, bem como os efeitos eletromagnéticos e mecânicos do primeiro meio-ciclo da I_{cc} e os efeitos térmicos da corrente estabelecida (corrente suportável nominal de curta duração);
- Abrir em tempos tão curtos quanto 2 ciclos mesmo tendo permanecido na posição fechado por vários meses;
- Posição fechada: o equipamento deverá estar apto a interromper a corrente especificada, em qualquer instante e sem causar sobretensões elevadas. Com o DJ fechado $Z = 0$ – Impedância “zero” (desprezível);
- Na posição aberta: o equipamento deverá estar apto a fechar em qualquer instante, possivelmente sob curto circuito, sem causar dano aos contatos. Com o DJ aberto $Z = \infty$ – Impedância “infinita”.

A abertura do disjuntor depende do sucesso da “corrida” energética (liberação x absorção de energia) e dielétrica (tensão de restabelecimento *versus* suportabilidade dielétrica).

O disjuntor opera continuamente, sobtensão e corrente de carga, muitas vezes em ambientes de condições severas de temperatura, umidade e poeira. Mesmo sob essas severas condições ambientais somados aos longos períodos de tempo sem ser acionado o disjuntor deve estar apto a operar quando for solicitado.

A montagem do equipamento é feita em estrutura metálica e as conexões são de 2". Os disjuntores normalmente utilizados nas subestações são do tipo a vácuo, a gás SF₆, a ar comprimido e a óleo. As figuras a seguir mostram os tipos encontrados na subestação de Apodi-RN.

O disjuntor a vácuo é utilizado em todos os tipos de SE, independentemente da tensão, potência ou se é abrigada ou externa. Como o próprio nome diz, este equipamento extingue o arco gerando vácuo entre seus contatos. A Figura 25 apresenta um dos disjuntores a vácuo instalados na SE de Apodi-RN.

Figura 25 – Fotografia de Disjuntor a vácuo 13,8 KV



Fonte: Próprio Autor

O disjuntor a gás SF6 utiliza o gás isolante SF6 para a extinção do arco-voltaico nos terminais do equipamento. Geralmente são mais utilizados em SE de AT ou MT quando envolvem altas correntes, como um circuito de geradores em usinas hidrelétricas por exemplo. A Figura 26 apresenta um dos disjuntores a gás SF6 instalados na SE de Apodi-RN.

Figura 26 – Fotografia de um Disjuntor a gás SF6



Fonte: Próprio Autor

Foram instalados oito disjuntores a vácuo de 15,0 kV / 1600 A (com corrente de interrupção em curto de 25,0 kA) para uso externo e quatro disjuntores a gás SF6 de 72,5 kV / 2500 A (com corrente de interrupção em curto de 31,5 kA)

4.2.2.5 PARA-RAIOS

Nas subestações os para-raios são utilizados para proteger os equipamentos ligados diretamente na linha de transmissão contra surtos de tensões devido a descargas atmosféricas ou outros tipos de surtos.

Esta proteção se dá no escoamento das correntes de descargas geradas pelos surtos de tensão e também pela interrupção das correntes subsequentes, ou seja, aquelas que sucedem às correntes de descarga após sua condução à terra. E este escoamento da corrente é feita por resistores não lineares que se encontram dentro do para-raios mais alguns itens auxiliares. E em função do tipo de resistor não linear são divididos os tipos de para-raios:

- Para-raios de Carboneto de Silício: Este tipo de para-raios utiliza como matéria prima do resistor não-linear o carboneto de silício e uma série de componentes envoltos em um corpo de porcelana. Em termos práticos este é um equipamento mais antigo e que ainda oferece o risco de estilhaçar a armadura de porcelana quando este já está danificado e for percorrido por uma corrente muito alta. A Figura 27 ilustra o equipamento.

Figura 27 – Ilustração de Para-raios de carboneto de silício



Fonte: Equipamentos para Subestações de T&D

- Para-raios de Óxido de Zinco: Este equipamento utiliza como matéria prima do resistor não-linear o óxido de zinco e pode ter seu corpo envolto por porcelana ou por polímero. Além disso oferece algumas vantagens se comparado ao modelo anterior tais como: extinção da corrente subsequente, maior absorção de energia. A Figura 28 ilustra o equipamento.

Figura 28 – Ilustração do Para-raios de óxido de zinco



Fonte: Equipamentos para Subestações de T&D

Atenção especial deve ser dada a este último tipo de para-raios quando este é polimérico, que tem muitas vantagens se comparado ao de porcelana, como a ausência de vazios no interior do equipamento, maior resistência a poluição e no caso de uma falta por excesso de energia, este equipamento libera gases aumentando a pressão interna, porém não tem perigo de se estilhaçar e danificar componentes nas suas proximidades, como o de porcelana.

Para a especificação completa da compra deste equipamento são necessários itens relativamente complexos. Porém este problema pode ser resolvido de maneira muito simples, basta verificar as normas da concessionária local e verificar as especificações dos para-raios descritos nestas e somente escolhendo a Tensão Nominal. Por exemplo: para-raios de 15 kV padrão CELESC, ou COPEL, CEMIG etc. Sendo que as concessionárias já fizeram os estudos e cálculos destes tipos de para-raios, ficando somente a variável de tensão da linha onde será instalado o equipamento.

A Figura 29 apresenta um dos para-raios instalados na SE de Apodi-RN, foram instalados doze para-raios de 12 kV / 10 kA e nove para-raios de 72 kV / 10 kA.

Figura 29 – Fotografia de um dos Para-raios 69KV instalado na SE



Fonte: Próprio Autor

4.2.2.6 BANCO DE CAPACITORES

A instalação de bancos de capacitores tem por objetivo elevar o fator de potência do sistema, aproveitando-se assim das vantagens advindas deste procedimento, tais como: redução do carregamento nos transformadores das subestações e nos alimentadores, redução das perdas, melhoria na estabilidade do sistema e aumento do nível de tensão na rede.

Há basicamente dois tipos de bancos de capacitores: fixos e/ou automáticos. Conceitualmente, os bancos fixos ficam sempre ligados à rede e os automáticos são ligados ou desligados por meio de relés de comando, quando desejável. Vale colocar que normalmente os bancos são projetados para trabalhar em ambientes com até 10% de sobretensão ou 30% de sobrecorrente.

Algumas precauções devem ser tomadas para se operar os bancos:

- Transformadores de potência nas subestações e bancos não devem ser carregados simultaneamente quando o sistema está sendo restabelecido após uma falta de energia.
- Para evitar transientes de sobretensão perigosos no caso de interrupções de fornecimento de energia, os bancos devem ser desligados antes de a energia ser restabelecida.
- Se a tensão na barra em que o banco está conectado atingir 1,1 vezes ou mais a tensão nominal, o banco deve ser desligado.

Podem-se instalar bancos de capacitores nas barras de baixa tensão das subestações, porém é preferível que sejam instalados nas redes de distribuição primárias, distribuídos ao longo dos alimentadores, que derivam destas subestações. Usualmente os bancos são instalados nos locais onde o fator de potência é mínimo e este valor é obtido através da medição de tensão, corrente, potência ativa, reativa e aparente no alimentador para definir as condições de carga máxima e mínima. Os picos e vales em uma curva de demanda de potência reativa fazem com que seja difícil apenas um simples banco corrigir o fator de potência para um valor desejado. Se o fator de potência desejado é obtido durante o horário de pico de carga durante a condição fora de pico pode resultar em uma condição de excesso de reativos no sistema. Este excesso de reativos pode causar perdas no sistema similares à condição onde o fator de potência é baixo. Outro problema que pode ser causado é a sobretensão do sistema. Para evitar que isto ocorra deve-se utilizar, sempre que possível banco de capacitores chaveados ao invés de fixos.

Quanto à instalação dos bancos, para uma maior segurança e eficiência, é importante que inicialmente se faça uma consulta à norma NBR 5060 NB 209 da ABNT que é o Guia para Instalação e Operação de Capacitores de Potência, e por seguinte considerar os seguintes aspectos:

- A instalação de capacitores deve ser feita em local onde haja boa ventilação e com espaçamento adequado entre as unidades;

- Após desligar, esperar algum tempo para religar ou fazer o aterramento do capacitor. Isso porque o capacitor retém a sua carga por alguns minutos, mesmo desligado;
- Procedes ao aterramento dos capacitores antes de tocar sua estrutura ou seus terminais;
- As operações de ligar e desligar devem ser feitas utilizando-se o disjuntor principal da instalação, antes de se abrir ou fechar a chave principal de capacitores no caso de não haver dispositivos adequados de manobra sob carga;
- Evitar a energização simultânea de dois ou mais bancos de capacitores, a fim de se evitar possíveis sobretensões.

A instalação do banco capacitor é feita em estrutura metálica com conexões de 1.1/2” e 2”. O banco engloba todo um conjunto de componentes para a sua montagem, além da estrutura metálica temos reatores, isoladores, chave de aterramento e as próprias células capacitivas. Para a operação do banco é utilizado um disjuntor que é conectado ao equipamento, a figura a seguir mostra o conjunto desses equipamentos e componentes do banco capacitor.

A Figura 30 apresenta uma fotografia do conjunto de equipamentos que formam um dos bancos de capacitores instalados na SE de Apodi-RN, foram instalados no total quatro bancos que tinham potencias de 2,4 MVar e 3,6 MVar, sendo os primeiros compostos por 6 células de 400 kVar e os outros por 12 células de 300 kVar, tensão nominal 8,66 kV e capacitância de 10,87 μ F. Cada banco é montado sobre uma estrutura de metal, a qual é acoplado um disjuntor, três reatores, isoladores e uma chave de aterramento.

Figura 30 – Fotografia do conjunto de equipamentos que formam o Banco de Capacitor.



Fonte: Próprio Autor

4.2.2.7 TRANSFORMADORES

Este é o principal e mais caro componente de uma subestação. Transformadores de MT são equipamentos de “prateleira”, ou seja, já tem seus valores nominais padronizados, somente variando a potência e as tensões de entrada e saída. Já os de AT são componentes mais complexos, onde estes são feitos sob encomenda, tem os valores de impedância definidos pelos compradores e, principalmente, agregam mais proteções para este equipamento.

A seguir serão expostos os tipos de transformadores utilizados em SE:

- Transformadores de Distribuição: utilizado no setor de distribuição de energia como concessionárias de energia, cooperativas, instaladoras e

empresas em geral (como subestação externa). Tem potência nominal de 15 a 300 kVA trifásicos, de 3 a 75 kVA monofásicos e classe de tensão, dependendo do fabricante de 15, 24,2 e 36,2 kV. Fornecem também tensão de controle e serviços auxiliares em Baixa ou Média Tensão dentro da subestação, ou ainda energizando cargas remotas, como pequenas usinas ou vilas rurais, a Figura 31 apresenta um exemplo de transformador de distribuição;

Figura 31 – Fotografia do Transformador de distribuição



Fonte: Próprio Autor

- Transformadores de força: equipamentos utilizados em grandes potências, geralmente dezenas de MVA, e tensões nominais acima de 69 kV, desta forma somente utilizados por empresas do SEP em SE na geração e transmissão de energia elétrica. A Figura 32 apresenta um dos transformadores de força utilizados na SE de Apodi-RN.

Figura 32 – Fotografia do Transformador de força de 12,5 MVA



Fonte: Próprio Autor

Para a especificação da compra de um transformador, de baixa ou média potência, são necessários os seguintes itens:

- Tensão primária;
- Tensão secundária fase-fase e fase-neutro;
- Potência nominal;
- Número de fases;
- Tensão suportável de impulso;
- Acessórios.

Alguns outros itens, como tape, impedância percentual, etc. geralmente são valores tabelados, sendo que modificações nestes itens só sobre encomenda. Na subestação de Apodi-RN foram instalados dois transformadores, com potências de 12,5 MVA e 20 MVA.

4.2.3 ILUMINAÇÃO DO PÁTIO

Os circuitos de iluminação são normalmente alimentados com cabos de 2,5 e 4,0mm², isolação 0,6/1kV, tipo Sintenax – Pirelli ou Ficap, e protegidos com disjuntores de 10 e 20A, respectivamente, conforme é possível observar em Quadros de Cargas e Diagramas Unifilares. A Figura 33 apresenta um dos postes de iluminação instalados na subestação.

Figura 33 – Fotografia do poste de iluminação



Fonte: Próprio Autor

5 CONCLUSÃO

Desenvolver conhecimentos práticos sobre obras, aprendendo a analisar normas e projetos é de fundamental importância para o futuro Engenheiro Eletricista que queira atuar na área de construção de Subestações Elétricas, de modo que ao finalizar este trabalho, vemos que o mesmo alcançou seu objetivo, tendo como principal contribuição a introdução aos aspectos práticos da construção de uma subestação elétrica, expondo detalhes que normalmente não são abordados durante a graduação, mas que são encontrados apenas no campo de trabalho deste tipo de profissional.

Algumas disciplinas da graduação, como Equipamentos Elétricos e Análise de Sistemas Elétricos, foram de fundamental importância para o desenvolvimento da teoria deste trabalho, merecendo, portanto, uma atenção especial dos alunos e dos professores para que estas disciplinas estejam cada vez mais próximas da realidade do mercado.

Estudos futuros podem ser desenvolvidos para dar continuidade ao trabalho, abordando características que não foram citadas e que estão presentes neste tipo de atividade, como é o caso do MPCC (Medição, Proteção, Comando e Controle) que é essencial para garantir a continuidade e segurança de uma subestação.

6 BIBLIOGRAFIAS

COSERN - Ampliação e/ou Reformas de Subestações 69/13.8 kV Obras Civas / Montagem Eletromecânica. Especificação Técnica para Contratação de Serviços. 2017.

FRONTIN S. O. Equipamentos de alta tensão, Prospecção e Hierarquização de Inovações Tecnológicas, 1 ed. Brasília. 2013.

CEMIG, Especificação Geral para Montagem de Subestações Convencionais. Disponível em: < <http://docplayer.com.br/5464947-Especificacao-geral-para-montagem-de-subestacoes-convencionais.html>>. Acesso em: 20 de Setembro 2017.

COSTA S. F. Apostila: Equipamentos para Subestações de T&D. 2008. Disponível em: <<https://www.osestoreletrico.com.br/category/fasciculos/2015/equipamentos-para-subestacoes-de-tad/>>. Acesso em: 20 de Setembro 2017.

ANTÔNIO VAREJÃO; METHODIO VAREJÃO. Estado da Arte das Subestações no Mundo e sua Inserção no Brasil. CHESF/UPE, 2007.

FRAGOAS A. G. Estudo de Caso do Uso de Bancos de Capacitores em uma Rede de Distribuição Primária. Universidade de São Paulo. 2008.

DUAILIBE P. Subestações: Tipos, Equipamentos e Proteção. Centro Federal de Educação Tecnologia Celso Suckow da Fonseca. 1999. Disponível em: <<http://www.uff.br/lev/downloads/apostilas/SE.pdf>>. Acesso em: 20 de Setembro 2017.

MUZY G. L. C, Subestações Elétricas, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2012.

LEVANTAMENTO PLANIALMETRICO. Disponível em: <<http://www.topografiacom.eng.br/levantamento-planialtimetrico>> Acesso em: 20 de Setembro 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS- NBR 6122: Projeto e execução de fundações; NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto; NBR 5060: Guia para instalação e operação de capacitores; NBR 15751: Sistema de aterramento de subestações.