

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**RICARDO GOMES DALROSSO**

**PROJETO DE DIPLOMAÇÃO**

**PROJETO DE SUBESTAÇÃO DE MÉDIO PORTE**

Porto Alegre

2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

## **PROJETO DE SUBESTAÇÃO DE MÉDIO PORTE**

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Prof<sup>ª</sup>. Dr.<sup>a</sup> Gladis Bordin

Porto Alegre

2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**RICARDO GOMES DALROSSO**

## **PROJETO DE SUBESTAÇÃO DE MÉDIO PORTE**

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Gladis Bordin, UFRGS

Doutora pela UFSC – Florianópolis Brasil

Banca Examinadora:

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Gladis Bordin, UFRGS

Doutora pela UFSC – Florianópolis, Brasil.

Eng. Marcelo de Almeida, WEG Equipamentos Elétricos

Engenheiro pela PUCRS – Porto Alegre, Brasil.

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS

Doutor pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil.

Porto Alegre, Novembro de 2011.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais e familiares que me deram apoio durante todo o processo de conclusão do curso de Engenharia Elétrica na UFGRS.

Dedico, também, a todos meus colegas de empresa, que contribuíram para a execução deste trabalho e me forneceram conhecimentos necessários para realização deste Projeto de Diplomação.

## **AGRADECIMENTOS**

À meu pai Osvaldo Dalrosso, minha mãe Cleusa Dalrosso, meus irmãos Eduardo e Ana Emília Dalrosso e minha namorada Renata Andriotti, que me deram todo apoio para conclusão do curso.

Aos meus amigos, “Gurizada A Lot”, que me ajudaram em todos momentos de descontração.

À Professora Doutora Gladis Bordin por todo apoio e atenção recebido durante a realização deste projeto de Diplomação.

Aos meus colegas de trabalho Marcelo Almeida, Francisco Xavier, Frederico Marks, Roberto Argoud e Paula Miranda, por manter um ambiente de trabalho favorável para aquisição de conhecimento e realização das minhas atividades.

Ao Eng. Augusto Tortorella que me incentivou a entrar na área de Subestações e disponibilizou todo material necessário para o desenvolvimento deste Projeto de Diplomação.

## RESUMO

Este Projeto de Diplomação foi realizado com base no estudo, projeto e execução da Subestação de Distribuição de Energia Planalto 138/23 kV – 10/12,5 MVA. Inicialmente são detalhados os aspectos técnicos, gerenciais e sociais de um empreendimento deste porte. Após este estudo, é abordado o caso da Subestação Planalto, descrevendo os projetos civil, elétrico e eletromecânico.

No projeto civil são abordados os principais projetos impeditivos de entrada na obra, como Sondagem, Levantamento Planialtimétrico e Terraplenagem. Também são descritas as dificuldades iniciais deste projeto, tal como a liberação do DAER para construção do empreendimento, visto que o terreno fica na ERS-324. Algumas partes, como canaletas, casa de comando, estruturas, bases e demais construções civis, são vistas de forma mais abrangente por tratar-se de assunto usual em trabalhos nesta área.

Neste Projeto de Diplomação, os projetos elétricos estudados, mais detalhadamente que os projetos civis, são o Diagrama Unifilar de Operação e o Diagrama Unifilar de Proteção. No primeiro é mostrado o circuito da SE com a colocação e função dos equipamentos programados, e, no segundo, toda proteção do sistema, com base nos relés que e suas funções de acordo com a tabela ANSI.

O desenho do Corte e o Arranjo Eletromecânico fazem parte do projeto eletromecânico. Neste projeto é mostrada a estrutura da SE, a montagem dos pórticos, entrada e saída de linha, funcionamento dos equipamentos e passagem dos cabos pelos mesmos, ou seja, todo o circuito montado nas bases da Subestação.

O trabalho é finalizado com a apresentação de um Estudo de Caso de uma subestação real, a SE Planalto, onde são detalhadas todas as etapas para a construção de um SE de Distribuição de médio porte.

**Palavras-chave: Subestação, distribuição de energia, transformador, projetos.**

## **ABSTRACT**

This Draft graduation was based on study design and execution of the Power Distribution Substation SE Planalto 138/23 kV - 10/12,5 MVA. Initially, the detailed technical, managerial and social aspects of a project of this size. After this study, we addressed the case of Planalto's Substation, describing the projects civil, electrical and electromechanical.

In the civil design projects covers the key impediments to entry into the work, such as Survey, Planialtimetric and Earthworks. It also describes the initial difficulties of this project, such as the release of DAER for construction of the project, since the land is in the ERS-324. Some parts, such as channels, home control, structures, foundations and other civil constructions, are seen more broadly as it is usual for the subject work in this area.

In this Project graduation, electrical projects studied in more detail the civic projects are the Single Line Diagram Single Line Diagram and Operation Protection. At first the circuit is shown with the SE placement and function of the equipment scheduled, and the second, the whole system protection, based on the relays and their functions in accordance with the ANSI table.

The design and arrangement of the Court Electromechanical electromechanical part of the project. This project is shown the structure of the SE, the assembly of the porticoes, input and output lines, operation of equipment and running cables through the same, ie, the entire circuit mounted on bases Substation. The job ends with the presentation of a case study of a real substation, the SE Planalto, where all the detailed steps to build an SE of distribution medium.

**Keywords: substation, power distibution, transformer, designs.**

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
1.1 Motivação .....	12
1.2 Apresentação do Problema .....	13
1.3 Objetivos .....	13
2 PLANEJAMENTO DA SUBESTAÇÃO .....	14
2.1 Introdução .....	14
2.2 Cronogramas de Execução de Obra .....	15
2.3 Orçamentos de uma SE – Custo x Lucro .....	16
3 EQUIPAMENTOS .....	19
3.1 Transformador de Força .....	19
3.2 Transformador de Potencial .....	23
3.3 Transformadores de Corrente .....	24
3.4 Pára-Raios .....	25
3.5 Disjuntor .....	25
3.6 Chaves Seccionadoras .....	28
3.7 Banco de Capacitores .....	29
4 PROJETO DA SUBESTAÇÃO .....	30
4.1 Projeto Elétrico .....	30
4.2 Projeto Civil .....	33
4.3 Projeto Eletromecânico .....	38
5 ESTUDO DE CASO – SE PLANALTO .....	41
5.1 Custos do Empreendimento .....	41
5.2 Planejamento da Obra .....	45
5.3 Localização e Levantamento Planialtimétrico .....	46
5.4 Sondagem e Terraplenagem .....	48
5.5 Diagrama Unifilar de Operação .....	49
5.6 Diagrama Unifilar de Proteção e Medição .....	51
5.7 Arranjo Eletromecânico e Disposição da Subestação .....	54
5.8 Arranjo Geral – Cortes .....	58
5.9 Transformador de Força .....	60
6 CONCLUSÕES .....	62
REFERÊNCIAS .....	63



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Transformador com comutador a vazio.....	21
Figura 2. Transformador com comutador - regulação de tensão inferior. ....	21
Figura 3. Autotransformador regulador equipado com comutador sob carga. ....	22
Figura 4. Transformador de Força WEG 500kV. ....	22
Figura 5. Transformadores de Potencial. TPCs e TPI. ....	23
Figura 6. Transformador de Corrente. ....	24
Figura 7. Pára-Raios. ....	25
Figura 8. Disjuntor a Vácuo.....	28
Figura 9. Chaves Seccionadoras Unipolar 15kV (BT). ....	29
Figura 10. Foto panorâmica do Terreno .....	47
Figura 11. Terreno após a Terraplenagem. ....	49
Figura 12. Dados construtivos cabos CAA com referência ao cabo Hawk. ....	57
Figura 13. Dados construtivos cabos CAA com referência ao cabo Cosmos.....	58
Figura 14. Cronograma Físico SE Planalto. ....	65
Figura 15. Localização do terreno e arruamentos.....	66
Figura 16. Levantamento Planialtimétrico.....	67
Figura 17. Pontos específicos para o Levantamento Planialtimétrico com base nas cargas dos equipamentos. ....	68
Figura 18. Projeto Terraplenagem .....	69
Figura 19. Diagrama Unifilar de Operação. ....	70
Figura 20. Diagrama de Proteção e Medição.....	71
Figura 21. Projeto Eletromecânico – Arranjo.....	72
Figura 22. Cortes A-A e B-B.....	73
Figura 23. Cortes C-C, D-D, E-E, F-F, G-G E H-H. ....	74

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1. Tempo de entrega dos principais equipamentos da SE. ....	17
Quadro 2. Custos da Obra.....	44
Quadro 3. Funções ANSI caracterizando as proteções elétricas e/ou mecânicas.....	54

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANSI: American National Standards Institute

AT: Alta Tensão

BT: Baixa Tensão

DELET: Departamento de Engenharia Elétrica

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

LT: Linha de Transmissão

NBR: Norma Brasileira

NEMA: National Electrical Manufacturers Association

PR: Pára-Raios

PUCRS: Pontifícia Universidade Católica do Rio grande do Sul

SE: Subestação

TC: Transformador de Corrente

TP: Transformador de Potencial

TR: Transformador de Força

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do SUL

UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina

CREA: Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura

CEEE: Companhia Estadual de Energia Elétrica

RGE: Rio Grande Energia

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Motivação

Estamos em meio a um desenvolvimento nacional tanto na economia quanto na área de engenharia. O Brasil, futuro país sede da Copa do Mundo e das Olimpíadas, está numa época excelente para investimentos civis, industriais entre outros. O dinheiro que entra no país é maior que o que sai, logo, está obtendo-se um patamar de desenvolvimento significativo.

Uma parte fundamental desses investimentos é o setor de energia elétrica – mesmo que haja outras formas de energia disponíveis. Com o crescimento do país, há um crescimento na demanda de energia. Posteriormente a isso, há inúmeras obras em execução para que o país não tenha um déficit de eletricidade. Em geral as obras em andamento são ampliações de subestações. No entanto, existem muitas obras novas sendo construídas.

As subestações fazem a distribuição de energia aos consumidores residenciais, industriais, etc. Elas visam rebaixar a tensão de uma linha de transmissão de alta para baixa e ou média tensão alimentando as redes elétricas desejadas.

Com o crescimento do estado do Rio Grande do Sul, conforme citado acima, as concessionárias, como CEEE e RGE começaram a visar seus investimentos para, por exemplo, ampliações de subestações, reformas e construção de novos empreendimentos.

Durante a aprovação dos projetos e desenhos dos equipamentos, é imprescindível que se tenha uma organização básica e uma dinâmica para não “prender” os desenhos. É necessário fazer uma lista de desenhos entregues, uma GRD (Guia de Remessa de Desenho) para ter controle do que foi entregue e aprovado, pois, com isso, a execução do serviço não será feita de forma errada, evitando desmanches no decorrer da construção da SE.

É muito importante acompanhar a obra em Campo, ir à Subestação, conversar com a empreiteira e ver se as construções estão conforme os projetos elaborados e aprovados pelos responsáveis, no caso da SE Planalto a Rio Grande Energia.

Um projeto civil bem executado é um facilitador à montagem eletromecânica, equipamentos, e a montagem elétrica, que fica mais direcionado a montagem dos painéis de proteção e controle e a passagem dos cabos.

Outro ponto muito importante de salientar é a Segurança de Trabalho. Na obra deve ter todos os documentos necessários para a execução do empreendimento e dos funcionários que estarão trabalhando nele.

## **1.2 Apresentação do Problema**

O desenvolvimento de um projeto de subestação até a sua execução envolve inúmeros fatores. Depois de realizada licitação, no caso de concessionária, começa-se os trabalhos pela especificação e compra de equipamentos. Paralelamente a isto, são elaborados os projetos civis, eletromecânicos e elétricos, de acordo com o diagrama unifilar da Subestação. As execuções (civil, elétrica e eletromecânica) ocorrem quando os projetos estão prontos e os equipamentos na obra. Para cada fase da construção do empreendimento há um profissional encarregado.

Todo desenvolvimento e execução da obra devem ser baseados nas normas como IEEE, IEC e ABNT, que regram os aspectos técnicos para os equipamentos de uso em alta, média e baixa tensões, proteções variadas de linha e estudos de isolamento, resistividade do solo e seletividade.

Neste trabalho será apresentado um projeto, desde o início até a execução, de uma subestação de Média Tensão, baseada na SE Planalto 138,8/ 23kV - 10/12,5MVA de propriedade da Rio Grande Energia, RGE, distribuidora de energia elétrica das regiões norte e nordeste do Rio Grande do Sul.

## **1.3 Objetivos**

O objetivo deste trabalho é mostrar todos os passos a serem executados em um projeto de subestação de distribuição energia elétrica de médio porte, mostrando suas vantagens, dificuldades, tanto de trabalho quanto ambientais, riscos e alternativas de construção e melhorias.

## 2 PLANEJAMENTO DA SUBESTAÇÃO

### 2.1 Introdução

Este trabalho é baseado no estudo de caso do projeto e execução da Subestação de Médio Porte SE Planalto, 138,8kV /23kV - 10/12,5MVA, propriedade da RGE localizada na cidade de Planalto. Há mais de um tipo de planejamento que possa ser feito, dependendo do tipo de obra a ser executado. Há Subestações compactas, industriais, de concessionárias, médio porte, grande porte, entre outras. No caso do empreendimento em questão é uma SE de médio porte da concessionária Rio Grande Energia.

No mercado de trabalho há poucos profissionais habilitados no gerenciamento e planejamento de um empreendimento como um todo. Não somente na área de engenharia, mas também na área de Tecnologia da Informação e outras tecnologias.

Depois de realizada a licitação ou concorrência (pública ou privada) e recebida a obra pela empresa, começa-se todo processo de planejamento de obra. O ponto de partida para esta fase do projeto são as especificações básicas que a concessionária passa referente à subestação, como:

- Escritura do terreno que foi comprado para o empreendimento;
- Memorial Descritivo da Obra;
- Dimensões, localização e topografia do terreno;
- Especificações técnicas dos equipamentos (cada concessionária tem suas respectivas especificações);
- Lista dos Equipamentos a serem usados;
- Diagrama unifilar básico, e
- Modelos das estruturas civis a serem montadas (portão, muro e casa de controle).

Para definição e planejamento da SE, deve-se ter o conhecimento sobre o tipo de obra que será executada. Os tipos de obras em subestações são:

- Implantação: obras na qual há a construção de uma nova subestação, tendo em vista a ampliação de carga numa determinada região.

- Ampliação: obras na qual há uma ampliação em uma subestação já existente, geralmente por causa da necessidade de atender novas cargas elétricas. Com isso, há acréscimo nas dimensões físicas no terreno da SE, como entrada e saída de linhas de alta tensão e saídas de alimentadores.

- Retrofit ou Reforma: Obras na qual há instalação ou substituição de equipamentos para que seja elevado o nível da qualidade de fornecimento da Subestação. Pode-se exemplificar a troca de um Transformador de 20 MVA por um de 40 MVA, aumentando a uma determinada região ou indústria. São obras que atuam sobre as SEs existentes com finalidade de recapacitar a SE.

Também, é necessário saber o tipo de instalação que será executada no empreendimento, que podem ser:

- Céu Aberto: são construídas em locais amplos, ao ar livre, e requerem o emprego de aparelhos e máquinas próprias para funcionamento em condições atmosféricas diversas;

- Em Interiores: os equipamentos são colocados no interior de construções, e não estão sujeitos a intempéries;

- Blindadas e/ou Compactas: os equipamentos são completamente protegidos, e o espaço necessário pode ser reduzido, chegando a até 10% do espaço de uma SE convencional. São normalmente usadas em áreas urbanas, densamente povoadas, onde o preço do terreno seja muito alto e de difícil aquisição. Podem ser isoladas em óleo ou em gás (SF<sub>6</sub> –Hexafluoreto de Enxofre). As principais vantagens são a baixa manutenção e a segurança da manutenção. Em contrapartida, necessita de um treinamento de pessoal diferenciado e as operações de chaveamento de equipamentos não podem ser visualizadas, mas apenas supervisionadas por indicadores.

No caso da SE Planalto, o tipo de obra a ser executado é uma estação nova, implantação, na qual irá fornecer energia diretamente a cidade de Planalto e regiões adjacentes. Quanto ao tipo de instalação, é uma SE que será construída em céu aberto.

## **2.2 Cronogramas de Execução de Obra**

Com base nas informações iniciais, elabora-se um cronograma físico de execução de Obra. São documentos de planejamento e controle onde está descrito todas as atividades a serem executadas, com, datas vinculadas, respeitando o início e o fim de cada

atividade. Geralmente, algumas tarefas secundárias, mas não de menor importância, são vinculadas a tarefas primárias. Como por exemplo, para a execução da terraplanagem, primeiramente precisa-se do projeto e liberação ambiental da Fundação Estadual de Proteção Ambiental a FEPAM (para o Rio Grande do Sul). O cronograma pode ter caráter físico, físico-financeiro, financeiro ou de projetos. Geralmente, usa-se um cronograma físico e um cronograma físico-financeiro. Este documento é útil tanto para o cliente quanto para a contratada para fins de controle de prazos, gastos e custos.

O gestor da obra é o responsável pela determinação dos passos do projeto, assim, conseqüentemente, faz à análise e dita a duração de cada tarefa, de acordo com sua viabilidade.

Uma boa ferramenta computacional para a elaboração e execução do cronograma, e mais usada, é o Ms-Project. Nele, conforme citado acima, pode-se vincular uma tarefa a outras. Isto é, teoricamente só poderia executar-se uma tarefa após concluir a antecessora. No entanto, muitas vezes consegue-se fazer mais de uma tarefa, na prática, paralelamente com sua subsequente. A data de início e fim da obra, não pode ser alterada, logo, caso haja atraso, altera-se nas datas de atividades que serão realizadas neste meio termo. Para início do cronograma tem-se as liberações de contrato e ambientais e para finalizá-lo tem-se o comissionamento e a energização. A Figura 14 mostra um cronograma físico baseado no cronograma original da SE Planalto.

Os maiores “inimigos” dos cronogramas de obras são os atrasos. Muitas vezes há atrasos na entrega dos equipamentos, na entrega dos projetos e, na maioria das vezes, dependendo da região, os atrasos mais impactantes são por causa dos fenômenos naturais, como a chuva.

### **2.3 Orçamentos de uma SE – Custo x Lucro**

A venda de uma subestação é considerada positiva quando o custo da empresa contratada para execução é menor que o preço de venda da licitação. Isto é, o custo da WEG (empresa contratada) tem que ser menor que o preço da qual a RGE (concessionária) comprou o empreendimento, gerando assim, lucro. Diversas vezes, isto nem sempre é possível quando acontece uma venda individual, visto que são inúmeras empresas que trabalham neste mercado, citando, ABB, Siemens, Alston, WEG, C e G entre outras. Acontece a chamada concorrência “sadia”. Porém, quando as licitações são



feitas em pacotes de obras, pode-se alterar internamente os valores e obter, num montante geral, um custo menor que o valor de venda.

De posse de todos dados de venda da subestação, monta-se um planejamento para que o custo seja menor que este valor, assim, obtendo lucro. Monta-se um “target” e o valor total – compra de equipamentos, empreiteiras, projetos e etc – tem que ser menor que este.

O primeiro passo a ser dado, é a compra dos equipamentos, visto que os mesmos tem um tempo de fabricação muito amplo, como podemos ver os exemplos no Quadro 1. De posse das especificações técnicas da SE, cota-se todos os equipamentos (TP, TC, Disjuntor, TR e etc) com mais de um fornecedor, podendo assim, tomar o de menor valor ou fechar um pacote, gerando um montante final de melhor custo. Paralelamente a isto, contratam-se as empresas projetistas, que são empresas de engenharia destinadas a fazer projetos elétricos, eletromecânicos e civis (que serão abordados no Capítulo 4). Muitas vezes há a contratação de projetistas juntamente com a empreiteira, que faz a execução da obra. No caso da SE Planalto, a empreiteira contratada foi a APTA Sistemas Elétricos e a projetista a ATTIVA Engenharia e Projetos.

<b>Equipamentos</b>	<b>Dias para Entrega</b>
Transformador de Força	270
Transformador de Corrente Alta Tensão	180
Transformador de Corrente Média Tensão	100
Transformador de Potencial Alta Tensão	180
Transformador de Potencial Média Tensão	100
Chaves Seccionadoras Alta Tensão	120
Chaves Seccionadoras Média Tensão	90
Disjuntores	150
Painéis	210

Quadro 1. Tempo de entrega dos principais equipamentos da SE.

Fonte: SE Planalto [16].

Após a montagem civil, elétrica e eletromecânica, contrata-se uma empresa para comissionamento e energização da obra.

Alguns conceitos sobre equipamentos são considerados quando da compra, por exemplo, valor, manutenção e custos futuros.

Para ter-se uma idéia de valores custos x venda, no Quadro 2, está descrito como é o cálculo de custo de um projeto, isto é, o somatório do projeto para obter um *target* final. Para fim de segurança e não expor valores de caráter confidencial foi usado um fator de multiplicação “K” para não identificar os valores reais, visto que terá uma base na Subestação em questão no trabalho.

### **3 EQUIPAMENTOS**

Existem diversas formas de construção de uma subestação de distribuição de energia elétrica. O seu arranjo, “layout”, varia de acordo com o espaço do terreno, a especificação dada pela contratante e o Diagrama unifilar.

No decorrer do trabalho será, na maior parte das vezes, listado o que é relativo a SE Planalto.

De acordo com o arranjo proposto para a SE Planalto, que será visto juntamente com o Projeto Eletromecânico, os principais equipamentos para a montagem deste empreendimento são descritos a seguir.

#### **3.1 Transformador de Força**

Os transformadores de potência das subestações de alta tensão podem ser classificados de acordo com suas funções:

- Transformadores elevadores: Elevam a tensão de geração para transmissão;
- Transformadores rebaixadores: Abaixam a tensão de transmissão para a tensão de subtransmissão ou de distribuição.

Um sistema de corrente alternada opera, em cada uma de suas partes, com a tensão mais conveniente, tanto do ponto de vista técnico quanto do econômico. Assim, na transmissão, as tensões normalmente estão entre 138 e 765 kV, e na distribuição entre 88 e 11,9 kV.

Esta flexibilidade é obtida através dos transformadores de potência, que são equipamentos estáticos, de alta eficiência e confiabilidade. Trata-se do equipamento mais caro da subestação e conseqüentemente o mais importante, uma vez que a principal função de uma subestação é realizada pelo transformador principal [12].

As potências e tensões preferenciais são padronizadas pela ABNT, ficando ao encargo do comprador a sua especificação.

Na especificação de transformadores, os seguintes aspectos devem ser considerados:

- Níveis de tensão da transformação;
- Potência a ser transferida;

- Faixas de variação das tensões;
- Faixas aceitáveis de impedâncias;
- Existência de compensação reativa no terciário;
- Proteção por pára-raios;
- Sobretensões;
- Níveis de curto-circuito;
- Características especiais do sistema;
- Características ambientais.

- As partes que constituem um transformador de força são descritas a seguir:

a) Núcleo: é constituído de chapas de aço-silício, laminadas a frio, cobertas por película isolante. A laminação a frio, seguida de tratamento térmico, orienta os domínios magnéticos no sentido da laminação, permitindo alcançar altas densidades de fluxo com perdas reduzidas e baixas correntes de magnetização. O núcleo dos transformadores trifásicos, em geral, tem três colunas.

b) Enrolamentos: Os condutores são enrolados em forma de bobinas cilíndricas, que são dispostas coaxialmente nas colunas do núcleo, em ordem crescente de tensão.

Basicamente têm-se os tipos de enrolamentos em disco, disco entrelaçado, helicoidal e em camadas;

c) Isolamento: O isolamento do transformador é constituído, basicamente, de óleo e celulose (papel). Sendo o óleo com a função ainda de refrigeração.

- Formas de comutação:

“A normalização brasileira prescreve que os transformadores devem possuir, além da derivação principal no enrolamento de alta tensão, pelo menos duas derivações para uma faixa de  $\pm 5\%$  da tensão nominal. Estas derivações devem comportar a potência nominal do transformador e não necessitam serem alteradas com carga e com tensão”.

Quando se trata das tensões do transformador, os degraus são limitados à cerca de 4kV, sendo as derivações com respectiva regulação de tensão, obtidas de uma das seguintes maneiras:

a) Comutador a vazio: Permite alterar a tensão da regulação de transformação, sem carga e sem tensão, apresentando regulação pobre. Conforme apresentado na Figura 1.

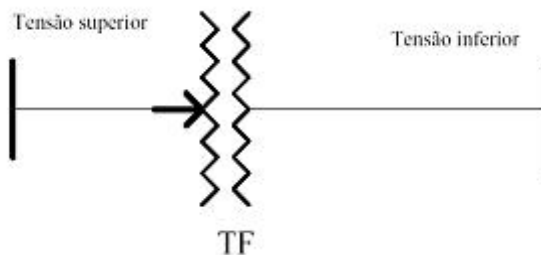


Figura 1. Transformador com comutador a vazio.

Fonte: Dias, 1996 [12].

b) Comutador sob carga: Permite a alterar a tensão da unidade transformadora via alteração da relação de transformação, quando em operação com correntes e tensões nominais apresentando boa regulação.

Conforme apresentado na Figura 2, o controle da comutação pode se dar de forma automática, via controle de tensão na barra de tensão inferior (barra cuja tensão se deseja regular).

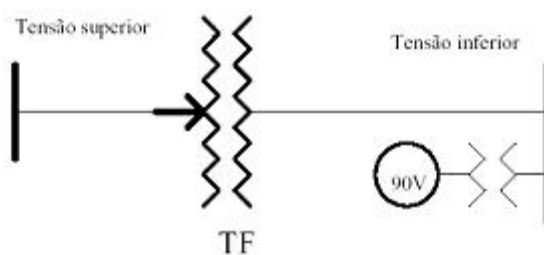


Figura 2. Transformador com comutador - regulação de tensão inferior.

Fonte: Dias, 1996 [12].

c) Autotransformador regulador de tensão: é basicamente um comutador sob carga, instalado em um enrolamento com derivações adequadas à regulação de tensão desejada, em uma unidade independente da principal. Conforme apresentado na Figura 3. Como o autotransformador regulador (ATR) atua como um comutador sob

carga em um enrolamento separado da unidade principal, os controles sobre este podem ser automáticos (90 V ou CQL) ou manuais [12].

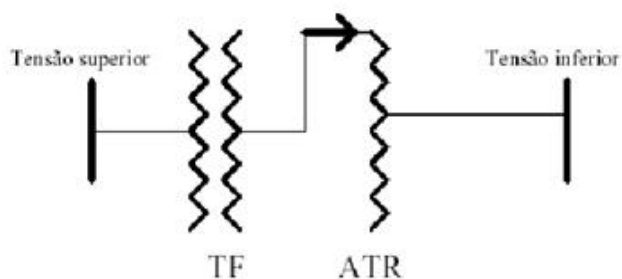


Figura 3. Autotransformador regulador equipado com comutador sob carga.

Fonte: Dias, 1996 [12].

Na Figura 4, a ilustração de um transformador de força de 500kV que foi fabricado pela WEG.



Figura 4. Transformador de Força WEG 500kV.

Fonte: [www.weg.net](http://www.weg.net) [2]

### 3.2 Transformador de Potencial

Estes equipamentos têm como finalidades isolar o circuito de baixa tensão (secundário) do circuito de alta tensão (primário) e de reproduzir os efeitos transitórios e de regime permanente aplicados ao circuito de alta-tensão. Desta forma, obtém-se no secundário do TP uma tensão que normalmente é estabelecida em 115V ou  $115/\sqrt{3}$ . Essas tensões são múltiplas da tensão AT. Estes equipamentos podem ser divididos em:

- Transformadores de Potencial Capacitivo (TPCs) - Cada transformador de potencial capacitivo consiste de um capacitor de acoplamento (que atua como divisor de tensão) e uma unidade eletromagnética (que transforma a média tensão em baixa tensão mensurável). Dependendo da tensão do sistema, o capacitor de acoplamento pode ser uma unidade de superposição simples ou múltipla. O capacitor de acoplamento e a unidade eletromagnética são vedados hermética e individualmente [5].

- Transformadores de Potencial Indutivo (TPIs) - Os transformadores de potencial indutivo são usados para transformar altas tensões (kV) em baixos valores mensuráveis (Volts). Os TPIs podem ser fornecidos com vários enrolamentos de medição e proteção, podendo ser projetados para fornecer qualquer tensão desejada de saída a partir do enrolamento secundário. O TPIs são montados completamente secos e impregnados com óleo a vácuo em autoclaves controladas [5].

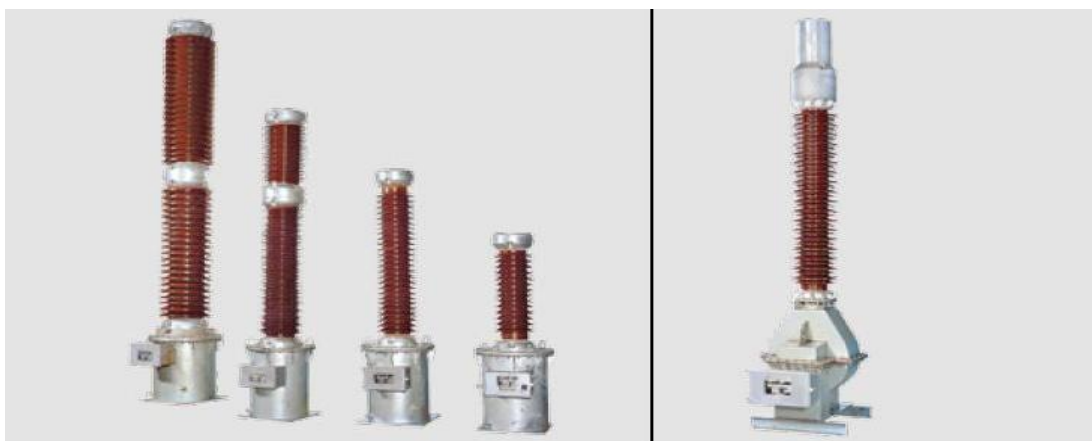


Figura 5. Transformadores de Potencial. TPCs e TPI.

Fonte: [www.weg.net](http://www.weg.net) [2].

### 3.3 Transformadores de Corrente

Os transformadores de corrente, também chamados de TCs, têm seu enrolamento primário ligado em série com o circuito de alta tensão. A impedância do transformador de corrente, vista do lado do enrolamento primário, é desprezível, comparada com a do sistema ao qual estará instalado, mesmo que considere a carga que se coloca em seu secundário. Desta forma, a corrente que circulará no primário dos transformadores de corrente é ditada pelo circuito de potência, chamado de circuito primário.

Quanto à função, os TCs dividem-se em dois grupos:

- TCs de medição: possuem maior precisão e possuem um núcleo dimensionado de tal forma que ele sature não permitindo que a corrente no secundário ultrapasse o valor nominal e assim protege os equipamentos de medição;

- TCs de proteção: possuem uma menor precisão, e o secundário pode ultrapassar o valor nominal, quando numa situação de falta, para o sistema de proteção atuar instantaneamente ou depois de alguns instantes dependendo da intensidade e duração da falta. Eles podem ser divididos em classe A, que possui alta impedância interna e classe B, que possui baixa impedância interna.

Nos transformadores de corrente, o enrolamento primário consiste em seções de alumínio acomodadas no cárter superior. O enrolamento primário é rígido, concêntrico e distribuído uniformemente ao redor do enrolamento secundário isolado, a fim de otimizar a resistência mecânica em relação a forças de curto-circuito [5].



Figura 6. Transformador de Corrente.

Fonte: [www.weg.net](http://www.weg.net) [2].



### 3.4 Pára-Raios

Os pára-raios são utilizados para proteger as instalações e equipamentos dos sistemas de potência contra sobretensão de tipo atmosférico e de manobras. Em geral, são conectados paralelamente com o equipamento a ser protegido, tipicamente entre fase e terra para instalações trifásicas. Os pára-raios sem descarregador consistem em um resistor não-linear de cerâmica, feito basicamente de óxido de zinco, cujos cristais são circundados por óxidos metálicos (aditivos). Apresentam microestruturas que proporcionam características não lineares aos resistores de cerâmica. São projetados de forma que a tensão de serviço se localize ao redor de um ponto específico, resultando em uma corrente resistiva contínua de poucos micros ampères através dos elementos do resistor.



Figura 7. Pára-Raios.

Fonte: [www.google.com.br](http://www.google.com.br) [13].

### 3.5 Disjuntor

A principal função dos disjuntores é a interrupção de correntes de falta tão rapidamente quanto possível, de forma a limitar ao máximo os danos causados em equipamentos pelos curtos-circuitos. Isto é, no momento de um curto-circuito, o Disjuntor desarma.

Este equipamento tem como característica interromper um circuito mesmo em condições anormais de tensão ou corrente. Sobre ele, atua todo o esquema de proteção da subestação, na qual é feita pelos relés. Para exemplificar, caso um relé “note” um defeito no circuito, como, por exemplo, uma defasagem maior de uma linha para outra ele é acionado e aciona o Disjuntor, que desarma e abre o circuito.

Além das correntes de falta, o disjuntor deve ser capaz de interromper correntes normais de carga, correntes de magnetização de transformadores e reatores e as correntes capacitivas de bancos de capacitores e linhas em vazio.

Os disjuntores devem ser mecanicamente capazes de abrir correntes de 20 a 50 vezes a sua corrente nominal, em tempos tão curtos quanto 2 ciclos (aproximadamente 33,3 ms), após terem permanecido na posição fechada por vários meses. Esta exigência impõe cuidados especiais no projeto do equipamento, no sentido de reduzir a um mínimo as massas das partes móveis e de garantir a mobilidade das válvulas ligações mecânicas, etc.

Os disjuntores podem ser classificados conforme a construção dos pólos (entende-se por pólo de um disjuntor, o conjunto de dispositivos de abertura e fechamento associado a cada fase do circuito), dos meios de interrupção do arco e do mecanismo de acionamento.

Quanto à construção o disjuntor pode-se ter:

- Pólos Juntos: uma só carcaça abriga os três pólos. É geralmente encontrado em disjuntores a seco ou grande volume de óleo;
- Pólos Separados: com uma carcaça para cada pólo, é encontrado em qualquer tipo. Possui vantagem de maior facilidade de transporte, característica importante em Extra Alta tensão - EAT.

Quanto aos tipos de Disjuntores, tem-se:

- Disjuntores a Óleo: há dois tipos básicos, os disjuntores a grande volume de óleo e de pequeno volume de óleo. No primeiro tipo, os contatos ficam no centro de um grande tanque contendo óleo, que é usado tanto para a interrupção das correntes quanto para prover um isolamento para a terra. No disjuntor de pequeno volume de óleo, o óleo serve principalmente para a extinção do arco, e não necessariamente para a isolação entre as partes vivas e a terra.

- Disjuntores a Ar Comprimido: a extinção do arco é obtida a partir da admissão nas câmaras de ar comprimido que, soprando sobre a região entre os contatos, determina o resfriamento do arco e sua compressão. A reignição do arco em seguida à ocorrência de um zero de corrente é prevenida pela exaustão dos produtos ionizados do arco da região entre os contatos pelo sopro de ar comprimido. A intensidade e a rapidez do sopro de ar garantem o sucesso do disjuntor nas “corridas” enérgicas (liberação x absorção de energia) e dielétrica (tensão de restabelecimento x suportabilidade dielétrica).

- Disjuntores a Gás SF<sub>6</sub>: o SF<sub>6</sub>, hexafluoreto de enxofre, é um dos gases mais pesados conhecidos, e à pressão atmosférica apresenta uma rigidez dielétrica 2,5 vezes superior à do ar, mas aumenta rapidamente com o aumento da pressão. Os primeiros disjuntores a SF<sub>6</sub> eram do tipo “dupla pressão” baseado no funcionamento dos disjuntores de ar comprimido. Estes foram substituídos pelos disjuntores do tipo “puffer” (ou “impulso”) também denominados de “pressão única”, porque o SF<sub>6</sub> permanece no disjuntor, durante a maior parte do tempo, a uma pressão de 3 a 6 bars, servindo ao isolamento entre as partes com potenciais diferentes. Os disjuntores a SF<sub>6</sub> têm sido largamente utilizados devido à sua confiabilidade e baixa manutenção.

- Disjuntores a Vácuo: nestes disjuntores, o arco que se forma entre os contatos é bastante diferente dos arcos em outros tipos de disjuntor, sendo basicamente mantido por íons de material metálico vaporizado proveniente dos contatos. A intensidade da formação desses vapores metálicos é diretamente proporcional à intensidade de corrente e, conseqüentemente, o plasma diminui quando esta decresce e se aproxima de zero. Atingido o zero de corrente, o intervalo entre os contatos é rapidamente desionizado pela condensação dos vapores metálicos sobre os eletrodos. A ausência de íons após a interrupção dá aos disjuntores a vácuo características quase ideais de suportabilidade dielétrica.

- Seco: encontram sua maior utilização em cubículos blindados, sendo, normalmente, do tipo extraível. Quanto ao método de extinção do arco voltaico, no momento que o disjuntor abre, o arco formado é empurrado na direção dos contatos de umas bobinas laterais, sob ação do sopro provocado por um êmbolo empurrado dentro de um cilindro. As bobinas, ao se energizarem pela ação do próprio arco, criam um campo magnético que repulsa as partículas ionizadas do arco para dentro de barreiras isolantes, seccionando o mesmo. A interrupção é, portanto, por alongamento e seccionamento do arco [2].

Os acionamentos dos disjuntores podem ser manuais ou com mecanismo de distância.



Figura 8. Disjuntor a Vácuo.

Fonte: [www.weg.net](http://www.weg.net) [2].

### 3.6 Chaves Seccionadoras

Os seccionadores são equipamentos mecânicos capazes de interromper ou estabelecer correntes desprezíveis e, em condições operativas normais na posição fechada, devem suportar condições anormais de corrente como curto-circuito. Possuem a função de garantir a isolação de equipamentos ou trechos de linhas ou subestações, permitindo confirmar visualmente que o trecho isolado encontra-se desenergizado.

As chaves servem para ser usadas como “By pass” entre equipamentos, assim permitindo futuras manutenções. Para isolar equipamentos e para fazer manobras nos circuitos.

As chaves podem ter aberturas manuais, feita com o varão ou podem ter aberturas motorizadas [1].

Todas as chaves seccionadoras para a execução da SE Planalto foram fabricadas pela própria WEG.



Figura 9. Chaves Seccionadoras Unipolar 15kV (BT).

Fonte: [www.weg.net](http://www.weg.net) [2]

### 3.7 Banco de Capacitores

Os bancos de Capacitores de uma SE podem ser instalados de duas formas, em Derivação ou em Série.

- Capacitores em Derivação – Os capacitores em derivação servem para uma compensação reativa capacitiva que busca compensar o fator de potência das cargas, aumentando a tensão entre os terminais de carga, melhorando a regulação de tensão, reduzindo as perdas na transmissão e reduz o custo do sistema.

- Capacitores em Série - Os capacitores série são utilizados em sistemas de transmissão para diminuir a reatância série das linhas e, por conseguinte, a distância elétrica entre as barras terminais. Com eles, há um aumento capacidade de transmissão de potência da linha, aumento da estabilidade do sistema, melhor divisão de potência entre linhas e economia nos custos, comparando com alternativas possíveis [3].

## **4 PROJETO DA SUBESTAÇÃO**

O documento inicial para entrada da contratada na obra é a Anotação de Responsabilidade Técnica - ART, que consta em mostrar quem é responsável pela execução do empreendimento. É um documento registrado no CREA, mostrando quais são as responsabilidades e vínculos de cada empresa que faz parte do projeto.

O terreno disponível para construção da SE, foi escolhido com base na necessidade da região (em termos de energia), clima e tipo de solo. Quando da entrega do pacote da obra, a concessionária emite uma planta com disposição do terreno e suas cotas, conforme vista na Figura 15 (no fim do trabalho). Assim, podem-se começar alguns estudos que são essenciais para avaliar os procedimentos da obra. Estes estudos são:

- Sondagem: é um estudo que busca garantir a resistência e estabilidade da obra. O projeto deve considerar todas as sondagens necessárias para atender a construção da subestação, sempre dando uma atenção aos equipamentos de maiores cargas, como os transformadores. Na sondagem, é possível definir o tipo de solo em que será construído a SE, se é com rochas, arenoso ou algum outro tipo.

- Resistividade do solo: é um estudo para medir a resistividade do solo para dimensionar o custo do sistema de aterramento, a malha de terra.

Para viabilizar a subestação, há uma divisão de tipos de projetos a serem executados: projeto civil, elétrico e eletromecânico.

Na maioria dos casos, existe uma série de documentos mínimos a ser aprovado para a empreiteira entrar na obra, são eles: Planta e Corte, Disposição da Torre, Terraplanagem, Projeto do Muro ou Cerca e Diagrama unifilar de proteção e Operação

No Capítulo 5, no Estudo de Caso, são mostrados todos estes documentos.

### **4.1 Projeto Elétrico**

O projeto elétrico define a filosofia de funcionamento da subestação. Incluem proteção, sinalização, controle, supervisão e todas as respectivas interligações entre equipamentos.

O projeto elétrico possui:

### - Diagrama Unifilar Básico

O Diagrama Unifilar Básico contém informações que permitem identificar, com clareza, o arranjo de barras proposto para a subestação, a identificação e a localização elétrica dos equipamentos principais, tais como, disjuntores, seccionadores, pára-raios, transformadores para instrumentos e de potência, e suas conexões. Além disso, apresenta o sistema de proteção principal proposto para a subestação. Os equipamentos principais representados neste diagrama são identificados por um número próprio ou por outro processo qualquer que os relacione com suas descrições em uma lista de equipamentos principais. O Diagrama Unifilar Básico é verificado e comentado pela concessionária.

### - Diagrama de Proteção

Este diagrama representa fiel e unifilarmente toda a subestação principal do consumidor, desde o ramal de entrada de alimentação da até a saída dos alimentadores de média tensão, contendo a indicação de:

- todos os equipamentos existentes na subestação, tais como, transformadores de potência, transformadores para instrumentos, disjuntores, pára-raios, seccionadores, relés, instrumentos de medição, etc.;
- a quantidade dos equipamentos secundários (internos);
- conexão, potência, impedância percentual e relação de transformação dos transformadores de potência;
- conexão, classe de exatidão e relação de transformação dos transformadores para instrumentos; caso exista a possibilidade de obter-se mais de uma relação de transformação, indicar todas salientando a relação utilizada;
- corrente nominal e capacidade de ruptura dos disjuntores;
- tensão nominal do pára-raios;
- atuação da proteção, inclusive dos dispositivos de proteção intrínsecas dos transformadores de potência (e atuação destes também no alarme);
- todas as funções disponíveis nos relés digitais e a indicação das funções habilitadas/ativadas;

- os valores das correntes de curto-circuito atuais e futuras e resistências de aterramento máximas para sistema efetivamente aterrado, calculados para as diversas tensões existentes na Subestação;

- intertravamentos existentes entre os equipamentos de manobra (com descrição detalhada);

- nome da linha de transmissão ou subestação que atende ao consumidor.

Todos os equipamentos representados neste diagrama são identificados por um número próprio ou por outro processo qualquer que os relacione com suas descrições na Lista de Equipamentos Elétricos.

#### - Diagrama Trifilar

Contém as mesmas características de um diagrama unifilar, porém mostra o sistema real trifásico. Este diagrama é de extrema importância, pois trata-se da representação do circuito geral completo da subestação.

#### - Lista de Equipamentos Elétricos

A Lista de Equipamentos Principais contém a especificação básica dos equipamentos principais da subestação. A lista relaciona todos os equipamentos principais mostrados no Diagrama Unifilar, de acordo com a identificação dada a cada um deles e contém a especificação de suas características elétricas básicas – tanto para equipamentos internos, quanto externos. Cada item ainda tem indicado o modelo, o fabricante e a quantidade total utilizada. É indicada também, a especificação completa do modelo dos relés a serem instalados.

Fazem parte desta lista, os seguintes equipamentos – que estão também caracterizados no projeto com seus desenhos, contendo características, dimensões e etc.:

Equipamentos Primários (externos):

- Pára-raios;
- Disjuntor;
- Secionador;
- Transformadores para Instrumentos;
- Transformadores de Potência;



- Resistor de Aterramento;
- Equipamentos Secundários (internos):
- Relés de Proteção e Auxiliares;
- Transformadores Auxiliares para Instrumentos e
- Retificadores e Baterias.

#### - Diagrama Funcional

Neste documento representa-se, individualmente e com mais detalhes, cada parte do diagrama trifilar, tanto para pátio quanto para casa de comando. Cada equipamento será mostrado de forma individual, com o objetivo de detalhar-se a numeração de seus bornes, suas interligações tanto com a linha quanto com outros equipamentos. Também é vista as caixas de interligações no pátio externo e o painel de comando. Todos os detalhamentos possuem indicações quanto às ligações que se darão em continuidade com os de outras folhas do diagrama.

O diagrama funcional trata do projeto elétrico propriamente dito, uma vez que nele se demonstra toda a subestação em seus mínimos detalhes, justamente por ser trifilar. O trabalho do projetista se concentra principalmente neste diagrama.

#### - Diagrama de interligação de Cabos

É a representação em desenhos, da fiação de toda a obra, indicando de onde vem e para onde vai o cabo, com os respectivos números, quantidade e bitola dos fios.

#### - Diagrama Lógico

Neste documento se demonstra, através de lógica binária combinacional circuitos montados, para serem referências aos sistemas de controle, operação e proteção da subestação. Entre estas funções, está a de “reset” do disjuntor, liberação das seccionadoras, abertura dos disjuntores, abertura das seccionadoras e etc [5].

## **4.2 Projeto Civil**

O projeto civil de uma subestação deve contemplar a instalação de edificações para escritórios, almoxarifados e toda a infraestrutura necessária à perfeita execução da obra.

Conter ainda instalações provisórias de água, esgoto, energia; de vias de acesso e circulação interna; drenagens provisórias, adequadas para área.

Fazem parte do projeto civil os seguintes itens:

- estradas de acesso:

Durante a fase do projeto básico, é feito um estudo de maneira que a localização da subestação seja a mais próxima possível de uma estrada principal.

A definição do traçado é feita primeiramente através de mapas da região, e devem possuir as seguintes informações:

a) Curva de nível;

b) Tipo de vegetação;

c) Existência de rios, lagos ou outros obstáculos naturais;

d) Faixa de servidão de serviços públicos (água, energia elétrica, redes telefônicas, ferrovias etc.) e

e) Edificações públicas e privadas.

Após a definição preliminar do traçado, é realizado outro levantamento planialtimétrico, a fim de verificar sua possível materialização e custos de execução.

- Planta de localização:

Neste documento a área da subestação está definida com relação às referências notáveis como centros populacionais, rodovias, ferrovias, etc. servindo de referência para se chegar à subestação. Além disso, devem ser mostrados as edificações, gasodutos, represas e outros obstáculos que dificultem a passagem de linhas de transmissão e o acesso à subestação.

- Sondagem do solo:

O objetivo de uma sondagem de solo é a determinação do tipo de solo, até a profundidade de interesse do projeto. Verificando as condições de compacidade ou consistência do solo, a espessura das camadas que o constituem e a determinação dos lençóis de água que ocorrem no solo.

Não existe norma específica para a determinação dos furos de sondagens em subestações, devido às características das construções. No entanto, tem sido comum aos projetistas e as concessionárias, a convenção de um furo para cada quatro colunas. E para a área destinada aos equipamentos pesados, pelo menos um furo de sondagem.

- Terraplenagem:

Movimento de terra, corte e aterro, destinados a tornar plana a área onde será construída a SE. Inicialmente realiza-se o levantamento do perfil natural do terreno, aonde são feitas as seções longitudinais e transversais do terreno, a fim de, após o término, poder medir o volume de cortes ou aterros.

Em seguida são realizados os desmatamentos e destocamentos necessários, que incluem o corte de árvores de grande porte e o arrancamento de suas raízes. Neste processo ainda é realizada a raspagem da camada vegetal, que como o nome indica, consiste na retirada da camada do solo, em média 40 cm, que é rico em material orgânico proveniente da vegetação.

O volume de terra que fica acima do nível do terrapleno pode ser usado para aterro ou bota-fora. O aterro trata-se do preenchimento do volume que está abaixo da cota do terrepleno. Bota-fora é o volume de corte excedente ou terra de má qualidade.

- Drenagem:

A drenagem do solo tem por objetivo facilitar a execução da obra mantendo o pátio em condições transitáveis durante a fase de construção e de escoar as águas pluviais.

Os tipos de dreno variam com a topografia, facilidades locais e tipos de solos.

Normalmente, são executados através da abertura de valas e execução de drenos cegos, com pequenas inclinações, ligados a drenos tubulares, que dão vazão a água.

A drenagem pode ainda ser complementada com o uso de bombas de esgotamento.

- Fundação:

É a parte enterrada de uma construção. Pode ser direta, sobre estacas, tubulões e etc.

- Base:

É a parte que aflora o terreno, dependendo do tipo de suporte é solidária com a fundação, que fica, normalmente, 5 cm acima do nível da brita. Esse tipo de base é utilizada em equipamentos que possuem suportes metálicos.

- Suportes:

É a parte que aflora o terreno, solidário com a fundação e que serve de base ou sub-base para equipamentos. Mais comuns, são os suportes de concreto e metálico. Sendo o último idêntico ao de concreto, porém é ligado à fundação através da base.

- Edificações:

São construções destinadas a abrigar os equipamentos de proteção e controle.

Normalmente são divididas nas seguintes etapas de construção:

- a) Infra-estrutura: Fundações e cintas, lajes de piso;
- b) Super-estrutura: Pilares, vigas e lajes de coberturas;
- c) Alvenaria;
- d) Pisos e revestimento;
- e) Esquadrias;
- f) Cobertura;
- g) Instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias, de ventilação, de exaustão e de climatização e
- h) Pinturas e revestimentos.

- Dutos e canaletas:

É um conjunto de construções destinado a conduzir os cabos de proteção, comando e controle do pátio da subestação, até as edificações.

As canaletas podem ser de concreto ou alvenaria, e podem ter tampas de concreto ou metálicas. Seguem as seguintes fases de execução:

- a) Locação;
- b) Forma;

- c) Armação;
- d) Concretagem e
- e) Reaterro.

Os dutos podem ser metálicos, plásticos ou fibrocimentos, e são interligados através de caixas de passagens. Seguem as seguintes fases de execução:

- a) Locação;
- b) Escavação;
- c) Lançamento e
- d) Reaterro.

- Rede de água e incêndio:

Quando o local possui sistema de abastecimento de água da rede pública, torna-se mais fácil e conseqüentemente com menor custo, o abastecimento à subestação. O volume de águas necessário é relativamente pequeno para o suprimento do sistema convencional (banheiros, chuveiros, pias e etc.), porém para o sistema de proteção contra incêndio, a vazão requerida é muito grande, o que nem sempre pode ser suprida pelo serviço público, sendo necessário, então, a construção de grandes reservatórios ou de poços artesianos.

- Pavimentação:

É o tratamento dado às vias internas e externas, sendo necessário preparar a superfície que deverá receber os acabamentos, como asfalto concreto e etc.

- Cercas e portões:

Construção destinada a proteger a área energizada ou os limites do terreno da subestação, a fim de evitar o ingresso de animais e pessoas, por motivos de segurança. Os tipos de cercas variam com o local e com as normas de cada concessionária de energia. Em área urbana é comum o uso de muros e em área não urbana, o uso de cercas de arame farpado, painéis de telas ou mistos [5].

### 4.3 Projeto Eletromecânico

O projeto eletromecânico permite definir todos os detalhes para a montagem dos equipamentos da subestação e respectivas interligações à rede aérea e a rede de terra, fixação às respectivas bases e a todos os demais serviços para que uma perfeita montagem seja facilmente desenvolvida.

A seguir mostra-se, de uma forma geral, como é feito o projeto eletromecânico da subestação e de seus diversos equipamentos:

- Arranjo Geral dos Equipamentos Externos

Este documento indica em planta e cortes com detalhes, o arranjo dos equipamentos no pátio da subestação e no edifício de controle.

No desenho de arranjo - planta é indicado:

- a tensão da LT que atende ao consumidor;
- os eixos ortogonais em relação ao centro do pórtico de encabeçamento da linha de transmissão e a localização dos marcos cravados no terreno;
- as distâncias entre os eixos dos equipamentos, suportes de barramentos e estruturas;
- a seção dos condutores fase e cabo pára-raios da linha de transmissão;
- a identificação dos equipamentos primários nos seus respectivos eixos;
- os equipamentos de medição para faturamento;
- o trajeto dos cabos isolados de média tensão no pátio, quando aplicável;
- os espaçamentos adotados entre condutores elétricos (linha de transmissão e barramentos);
- a canaleta e/ou conduto de passagem dos cabos isolados referentes à medição para faturamento e ao equipamento de telecomunicação da concessionária;
- o faseamento da linha de transmissão (Vm, Az, Br ou A, B, C);
- a previsão de espaço para eventual instalação de bobina de bloqueio e capacitor de acoplamento para o sistema “Carrier”;

- no Edifício de Controle, com detalhes suficientes, da localização dos cubículos de média tensão do consumidor e dos cubículos de medição para faturamento e de telecomunicações, assim como a indicação das canaletas, tubulações e condutores de passagem dos cabos isolados;

- a posição do abrigo para cubículos de medição para faturamento dentro da área da malha de terra;

- a tubulação para par telefônico para teleleitura do quadro geral de telefonia até o cubículo de medição para faturamento com entrada dos cabos por baixo;

- identificação dos transformadores de potência (T1, T2, T3,..) no caso de existirem mais de um.

No desenho arranjo geral e cortes é indicado:

- o nome e a tensão da linha de transmissão ou subestação que atende ao consumidor;

- as seções dos condutores fase e do cabo pára-raios da linha de transmissão;

- o carregamento da estrutura do consumidor para encabeçamento da linha de transmissão (cabos condutores e pára-raios), bem como os espaçamentos entre os cabos condutores e o solo e entre esses e o cabo pára-raios;

- as distâncias entre os eixos dos equipamentos, suportes de barramentos e estruturas;

- a seção (e tipo) dos condutores dos barramentos e derivações até a bucha de alta tensão do transformador de força;

- a previsão de espaço para eventual instalação de bobina de bloqueio e capacitor de acoplamento para o sistema “Carrier”;

- a indicação da posição da lâmina de terra do seccionador de entrada da linha de transmissão;

- nota informando para quantas toneladas foi dimensionada a fundação do(s) transformador(es) de potência;

- a altura do barramento e das estruturas suporte dos equipamentos de medição para faturamento (TCs e TPs);

- os equipamentos de medição para faturamento [5].



## **5 ESTUDO DE CASO – SE PLANALTO**

Conforme descrito anteriormente, o estudo de caso deste trabalho é o projeto e construção da subestação de distribuição de energia elétrica de médio porte SE Planalto 138/23 kV – 10/12,5MVA.

O projeto desta SE, visa a implantação de um Transformador de Força de 138/23 kV – 10/12,5MVA – conforme mostrado no parágrafo acima – e quatro alimentadores.

A necessidade da realização desta obra por parte da RGE, tem um caráter de Ampliação da carga na região. Planalto é uma localizada na região norte do estado, distante dos grandes centros do Rio grande do Sul, logo, a energia vinha de SEs distantes e era monitorada por reguladores de tensão, durante seu percurso nas redes aéreas.

Com o aumento de “apagões” na cidade e regiões adjacentes, e, também, por causas políticas, desencadeou a implantação de um empreendimento gerador de energia elétrica na região da SE Planalto.

### **5.1 Custos do Empreendimento**

Com descrito anteriormente, para fins de aproveitamento de mercado e por causa dos baixos preços assumidos em licitações, o empreendimento na cidade de Planalto foi cedido a WEG em um pacote de 14 Obras, da CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz, que é a mandatária da RGE – Rio Grande Energia. São 11 Obras em São Paulo e 3 no Rio grande do Sul, sendo um deles o empreendimento em estudo.

Nesta sessão é mostrado como é feito o cálculo do custo de uma SE com valores hipotéticos sobre a subestação Planalto, por razões de confidencialidade entre clientes e fornecedores.

Tendo em vista que a licitação foi feita em um pacote fechado, para fins de melhoria de valores por parte da CPFL, chega-se a um montante hipotético de que o empreendimento na SE Planalto resultou em custo fixo em R\$ 6.106.250,00. Os valores são alterados por um multiplicador “K”, que não será informado seu valor, nem se é para cima ou para baixo, e arredondados a fim de preservar os valores verdadeiros do empreendimento e de obras similares.

São feitas cotações com diversas empresas sobre todos os equipamentos, cada empresa com seu ramo, logicamente. O mesmo é feito para as empreiteiras e para os projetistas. De acordo com a planilha proposta para a SE Planalto, foi usada a cotação da empresa A para os painéis, da empresa B para o Banco de baterias, da empresa C para os TIs e da empresa D para os Pára-Raios. A empreiteira tem o valor mais significativo para o cálculo do custo, pois tem uma grande parcela na cotação. Ela faz a cotação de toda mão de obra (montagens civil, elétrica e eletromecânica) e todos os equipamentos que serão de faturamento direto, como, cabos, conectores, barramentos, entre outros.

Todos quantitativos de equipamentos e materiais que deverão ser usados no empreendimento são baseados no diagrama unifilar proposto pela contratante, que será visto na seção 5.4. Paralelamente, todos os equipamentos cotados estão de acordo com as normas técnicas fornecidas pela RGE e todas as empresas que emitiram seus preços são homologadas na Rio Grande Energia.

Todas as empresas tiveram seus nomes alterados para segurança e confidencialidade.

Lembrando que os valores que serão mostrados no Quadro 2 são hipotéticos e não condizem com a realidade do empreendimento deste Projeto de Diplomação.

SE Planalto				
EQUIPAMENTOS	FORNECEDOR	QTD	Valor Unitário	Valor Global
TR 10/12,5MVA, 138-23/13,8kV 12,5MVA	WEG	1	950.000,00	950.000,00
TD 75KVA 24,2/23,1/22,0-127/220V, 150kV, 60Hz	WEG	1	9.000,00	9.000,00
DJ, tripolar SF6, 138/650kV, 1250 A, 31,5 KA,	WEG	3	100.000,00	300.000,00
Disjuntor trifásicos, a vácuo, 630 A, 25kA, 25/150kV,	WEG	4	65.000,00	260.000,00
Disjuntor trifásicos, a vácuo, 630 A, 25kA, 25/150kV	WEG	1	65.000,00	65.000,00
Chave seccionadora tripolar DAL, com chifre, 1250A, 25kA, 138/650kV, comando motorizado,	WEG	7	40.000,00	280.000,00
Chave seccionadora tripolar DAL, c/LT, com chifre, 1250A, 25kA, 138/650kV, comando motorizado,	WEG	2	54.000,00	108.000,00
Chaves seccionadoras, monofásicas, comando a vara, MV, 1250A, 25kA, 25/150kV	WEG	12	3.000,00	36.000,00
Chaves seccionadoras, monofásicas, comando a vara, MV, 630 A, 25kA, 25/150kV	WEG	36	3.000,00	108.000,00
Chaves seccionadoras, tripolar, comando motorizado, DAL, 1250 A, 25kA, 25/150kV	WEG	2	14.000,00	28.000,00
PR ZnO, 120kV, classe 2	Fornecedor C	9	4.000,00	36.000,00
TP 138000/V3-2x(115/115/V3) 138/650kV, 60 HZ,	Fornecedor D	5	20.000,00	100.000,00
TC 138/650kV, 200/400/800-5-5A, 25kA, 0,3C50 10B200, FT1,2,	Fornecedor D	9	20.000,00	180.000,00
Para-raios, 10kA, 21kV, classe 2, ZnO	Fornecedor C	15	150,00	2.250,00
TCs 600x1200-5-5 A, 0,3C50 10B200, FT1,2, 25kA, 25/150kVkv	Fornecedor D	3	4.500,00	13.500,00

TCs 400x800-5-5 A, 0,3C50 10B200, FT1,2, 25kA, 25/150kV	Fornecedor D	12	4.500,00	54.000,00
Chaves seccionadoras fusivel, monofásicas, comando a vara, MV, 200A, 25kA, 25/150kV	WEG	3	4.000,00	12.000,00
TP 23000/V3-2x(115/115/V3)V 0,3P25-200, 25/150kV	Fornecedor D	3	6.300,00	18.900,00
Retificador Trifásico 220/127Vca/125Vcc, 35A, FP 0,85	Fornecedor B	1	23.000,00	23.000,00
Baco de Baterias 125Vcc de 150Ah, chumbo acidas ou alcalinas seladas, com estante	Fornecedor B	1	28.000,00	28.000,00
Painel de comando para LT, autoportante, dimensões 0,80x0,80x2,10m , cor cinza N. Munsell 6.5, completo com 02 reles multifunção Siemens, 1x7SJ64555EB323FG7 e 01 rele 7SA63155BB320DQ4, 1x86LT e acessórios	Fornecedor A	2	128.100,00	256.200,00
Painel de comando para TR1, autoportante, dimensões 0,80x0,80x2,10m , cor cinza N. Munsell 6.5, completo com 03 reles multifunção Siemens, 1x7UT61255EB321AA0, 2x7SJ63555EB323FG31x86T1 e demais acessórios	Fornecedor A	1	92.000,00	92.000,00
Painel de comando para Als, autoportante, dimensões 0,80x0,80x2,10m , cor cinza N. Munsell 6.5, completo com 04 reles multifunção Siemens, 4x7SJ63255EB323FG3 e demais acessórios	Fornecedor A	1	105.000,00	105.000,00
Painel de serviços auxiliares, dimensões 0,80x0,80x2,10m , autoportante, cor cinza N. Munsell 6.5, completo com disjuntores termomagnético 127/220Vca , 01 medidor de multigradezas eletricas erro<1%, integravel a UTR, 01 medidor de energia kWh homologado p	Fornecedor A	1	77.000,00	77.000,00
Painel de serviços auxiliares, dimensões 0,80x0,80x2,10m , autoportante, cor cinza N. Munsell 6.5, completo com disjuntores termomagnético 125Vcc, 01 transdutor, integravel a UTR, isolamento BT e demais acessorios.	Empreiteira	1	48.000,00	48.000,00
Unidade Terminal Remota Fox Boro C50, completa c/ CPU, placa de alimentação, placas I/O, placa de comunicação, sistema de alarme, micro camera ajustável, aquisição remota de ajustes e oscilografia e demais acessórios	Fornecedor A	1	300.000,00	300.000,00
Barramento de 138kV	Empreiteira	1	300.000,00	300.000,00
Serviço de Engenharia - Projeto Civil	Empreiteira	1	30.000,00	30.000,00
Serviço de Engenharia - Projeto Eletromecânico	Empreiteira	1	30.000,00	30.000,00
Serviço de Engenharia - Projeto Elétrico	Projetista A	1	30.000,00	30.000,00
Serviço de linha viva	Empreiteira	1	12.000,00	12.000,00
Serviços de obras civis- fundações	Empreiteira	1	320.000,00	320.000,00
Serviços de montagem eletromecânica de equipamentos.	Empreiteira	4	60.000,00	240.000,00
Serviços de instalações elétricas, paineis e interligações	Empreiteira	1	250.000,00	250.000,00
Serviço de isolamento e proteção contra animais e pasaros, setor de MT	Empreiteira	7	3.000,00	21.000,00
Serviços de obras civis - Cercas muro concreto vazado 2,6m (405m), portões, calçada (450m²) e sinalização	Empreiteira	1	270.000,00	270.000,00
Serviço de obras civis - terraplenagem	Empreiteira	7500	20,00	150.000,00
Serviço de obras civis - Drenagem	Empreiteira	6000	3,00	18.000,00
Serviço de obras civis - Grama	Empreiteira	2500	3,00	7.500,00
Pavimentação circulação pesada	Empreiteira	1000	15,00	15.000,00
Serviço de obras civis embritamento	Empreiteira	400	80,00	32.000,00
Serviço de Iluminação patio	Empreiteira	4000	0,70	2.800,00
Serviço de Agua e esgoto	Empreiteira	1	5.100,00	5.100,00

Serviço de malha de terra sistema de aterramento	Empreiteira	7500	5,00	37.500,00
Serviço de obras civis canaletas	Empreiteira	250	150,00	37.500,00
Edificação - prédio de comando e controle de subestação - aproximadamente 60m <sup>2</sup>	Empreiteira	1	120.000,00	120.000,00
Edificação - prédio de base operacional para 05 eletricitas de subestação - aproximadamente 70m <sup>2</sup>	Empreiteira	1	120.000,00	120.000,00
Edificação - Garagem para 02 veiculos - aproximadamente 55m <sup>2</sup>	Empreiteira	1	95.000,00	95.000,00
Serviços correlatos, topografia, sondagem, transporte e canteiro de obras	Empreiteira	1	15.000,00	15.000,00
Serviço de engenharia, administração, meio ambiente e outros	Empreiteira	1	420.000,00	420.000,00
Disponibilizar durante a vigencia do contrato 01 veiculo automovel 1,6 dir. hidraulica, vidros fechamento automatico, ar condicionado e seguro total	Empreiteira	1	38.000,00	38.000,00
			TOTAL	6.106.250,00

Quadro 2. Custos da Obra.

Tendo o conhecimento do custo da Obra, busca-se então, avaliar o lucro do empreendimento. Para fins de segurança, não será mostrado nem equiparado o valor pago pela contratante à WEG pela obra e nem o valor que foi fechado com cada fornecedor para o empreendimento. No entanto, se conclui que: para obtenção de lucro, o custo (Quadro 2) deve ser menor que o valor de venda da Subestação pela RGE e maior que o valor global dos fornecedores para execução da obra.

No caso em estudo, a empreiteira - a APTA Sistemas Elétricos, além das montagens elétrica, civil e eletromecânica, ficou responsável também pelos projetos civis e eletromecânicos, podendo terceirizar o mesmo ou não. Está escolha foi feita, visto que, o projeto eletromecânico depende do civil e vice-versa, trazendo maior agilidade em mudanças possivelmente necessárias.

Conforme visto no Quadro 1, todos os equipamentos têm um prazo para ser entregue.

Os impostos sobre todos os equipamentos e serviços (INSS, IPI e ISS) não foram considerados para os cálculos do Quadro 2.

Muitas vezes, não se compra o produto e/ou o serviço mais barato e sim, faz-se uma equivalência entre o custo-benefício. Tal como, manutenção, atrasos, confiabilidade e outros aspectos que são discutidos internamente, na empresa.

## 5.2 Planejamento da Obra

O planejamento de uma obra, conforme visto no Capítulo 2, é uma das partes mais importantes do empreendimento, pois através de um planejamento bem elaborado, é possível que a obra ande com “mais fluidez”, sem imprevistos no “meio do caminho”.

Para controlar o Faturamento da obra, tanto de serviço quanto de equipamento, foi desenvolvido com bases nas especificações da RGE, uma planilha de Acompanhamento de Obra, mostrada no Anexo I, ela é dividida em módulos. A divisão foi feita nos seguintes módulos:

- Serviço de Engenharia – Projetos
- Módulo de LT - 138kV – Constantina
- Módulo de LT - 138kV - Foz de Chapecó
- Barramento AT - 138kV
- Conexão de AT - TR1
- Transformador - TR1
- Conexão de MT - TR1
- Barramento de MT- 25kV
- Módulo de AL – 201
- Módulo de AL – 202
- Módulo de AL – 203
- Módulo de AL – 204
- Módulo Geral / Serviços Auxiliares
- Módulo Geral / Comunicação
- Módulo Geral / Parte Civil
- Módulo Geral / Demais Itens

Em cada um desses módulos são abertos os equipamentos que o compõem e os serviços. Conforme se pode ver na planilha do Anexo 1, os valores e datas de pagamentos para fazer as faturas são pré-definidos de acordo com o cronograma Físico, que é apresentado na Figura 14 (no fim do PD). Um item, só pode ser faturado quando estiver 100% concluído, isto é, por exemplo, só é possível faturar a instalação do transformador no momento que ele estiver montado na própria base civil. Caso haja atraso na execução de algum serviço, atrasa-se o faturamento e este passa para o mês seguinte, podendo assim, alterar as previsões de faturamento da contratada e de pagamento da contratante.

Paralelamente ao Acompanhamento de Obra, é desenvolvido, um cronograma físico, também visto no Capítulo 2. Para este empreendimento, foi usada a ferramenta MS-Project. No cronograma mostrado na Figura 14, pode-se ver exatamente como funcionam os vínculos de tarefas e suas tarefas “filhas”. A ideia e funcionalidade deste cronograma foram detalhadas no Capítulo 2. Para a obra na cidade de Planalto, ele foi dividido em três partes, basicamente, administrativo, fornecimento e execução.

### **5.3 Localização e Levantamento Planialtimétrico**

Ao escolher um terreno para a construção de um empreendimento como Subestação, leva-se em consideração, principalmente a necessidade da região por demanda de energia, logicamente, localização e, às vezes, quando possível, a estrutura física do terreno.

Após a obtenção do licenciamento da área para construção, há também as questões burocráticas do município e do estado, tais como distância para ajardinamento e calçada e recuo de ruas e rodovias, conforme o DAER.

No caso da SE Planalto, conforme consulta feita ao DAER de Palmeira das Missões, a Av. Salgado Filho, que passa na frente do terreno da SE, conforme Figura 15, é o final da RS-324. Por conta disto, o muro da Subestação só pode começar a ser construído 25 metros do eixo da avenida, contabilizando 20 metros de afastamento por regra do DAER e 5 metros para respeitar o plano diretor do município, reservados a ajardinamento (taludes) e construção de calçada. Lateralmente ao terreno, onde está localizada o portão de acesso da SE, por ser uma rua municipal, o recuo previsto para

construção do muro foi de 4 metros, já contabilizando os taludes. As outras duas extremidades do terreno fazem fronteiras com duas Chácaras, não necessitando de afastamentos para empreendimentos.

Com os estudos de distanciamentos feitos, contrata-se uma empresa para fazer o Levantamento Planialtimétrico, que, consiste em: levantar todas as cotas do terreno e marcar geometricamente os pontos de intersecção dos limites do terreno. Conforme a Figura 16, a cota mais alta é a 576,60 e a menor é 570,32 e, o espaço ocupado pelo empreendimento está nos limites geométricos das coordenadas:

- M1: 90°21'32"

- M2: 70°26'15"

- M3: 109°12'13"

- M4: 90°00'00"

Com base nas cotas, já conhecidas através do Levantamento Planialtimétrico, pode-se começar o projeto da Terraplenagem, projeto básico civil, e definir a cota final do terreno, de acordo com a necessidade do empreendimento.



Figura 10. Foto panorâmica do Terreno

## 5.4 Sondagem e Terraplenagem

Com base no arranjo da Subestação, parte do projeto eletromecânico que será abordado posteriormente, inicia o estudo de Sondagem do terreno, que, visto anteriormente busca garantir a resistência e estabilidade da obra. Neste estudo, se dá sempre uma atenção para os equipamentos com maiores cargas, como os Transformadores. Através da Sondagem, definiu-se como será feita a colocação das estacas e a construção das bases dos equipamentos.

O Relatório de Sondagem feito na Subestação de distribuição de energia elétrica de Planalto foi feito pela GEOTEC. Na Figura 17, está o Layout do terreno com a planta de localização dos furos de sondagem.

Feito o Levantamento Planialtimétrico e a Sondagem, e, baseado no arranjo da SE, pode-se fazer o projeto de Terraplenagem.

Terraplenagem é a técnica de engenharia de escavação e movimentação de solos e rochas. O serviço de terraplenagem compreende quatro etapas: escavação, carregamento, transporte e espalhamento/emparelhamento.

Na terraplenagem, deve-se levar em considerações alguns pontos importantes tais quais; elevação do terreno mínima, em média 15 cm acima da rua, declividade mínima de uma ponta a outra do terreno – visando melhorar a drenagem e escoamento da água e deixar o terreno parelho com os arredores, para que não forme um buraco e não vire uma “piscina” a área do empreendimento.

No caso específico em estudo, no projeto de terraplenagem, a cota maior está entre o marco M2 e M3, conforme visto na Figura 18, e é de 572,90 metros. Levando-se em consideração a declividade do terreno em 1%, o fim do mesmo, e, menor cota, está posicionado entre os marcos M4 e M1 e é de 572,00 metros. A cota diminui basicamente 10 cm a cada 10 metros no terreno, com exceção da primeira distância que é de 8,78 metros e da última que é de 9,00 metros. A Figura 11 mostra uma foto do terreno atualizada após o término desta etapa do processo.

No projeto de terraplenagem, podemos ver que a declividade feita dos terrenos externos da SE ao terreno do empreendimento, são feitos através dos taludes.





Figura 11. Terreno após a Terraplenagem.

### 5.5 Diagrama Unifilar de Operação

Com base no Diagrama Unifilar de Operação, definiu-se como será o arranjo da Subestação e os equipamentos necessários para instalação na mesma. Feito o arranjo (parte do projeto eletromecânico), pode-se começar a fazer todos os estudos para o projeto civil – como sondagem –, conforme visto na seção 5.3.

De acordo com a Figura 19, na qual mostra o Diagrama Unifilar de Operação da SE Planalto, faz-se possível levantar todos os requisitos para execução do empreendimento e fazer sua cotação.

Como se pode observar no desenho, a SE irá receber duas linhas de transmissão de alta tensão 138 kV de Constantina e Foz-Chapecó, ficando com duas fontes de alimentação no Barramento de Linha, assim, quando, por um evento uma sai de operação, a outra permanece energizando.

As linhas entram vindas de uma torre, que será mostrada no arranjo eletromecânico, e passam pelos Transformadores de Potencial  $\phi B$ , estes precedidos por Pára-Raios, que estão em paralelo com o circuito. Seguindo, elas passam pelos transformadores de corrente que estão em série com o circuito. A conexão das linhas a Barra de Operação

P1, é feita de duas formas, com isto, pode-se abrir um dos caminhos e o outro continuar energizando o transformador. A chave seccionadora 89-12 recebe a tensão da LT Constantina e faz a ligação com o barramento de linha. A Chave 89-8 (com lâmina de terra) também recebe a carga da LT Constantina elas, juntamente com a chave 89-10 fazem a isolação do disjuntor 52-2 e após isto fazem a ligação com a barra de linha P1. O mesmo ocorre com a LT Foz-Chapecó,, conforme mostrado no Diagrama Unifilar de Operação. No barramento P1, há um conjunto de pára-raios e um dec transformador de Potencial ( $\phi$ ABC.). Todos estes equipamentos são de Alta Tensão, 145kV.

Na saída do Barramento de 138 kV para o transformador de força, há um Disjuntor, 52-3, isolado pelas seccionadoras 89-14 e 89-16, e, com a mesma configuração dos disjuntores anteriores, tendo a Chave 89-18 ligada em paralelo, assim, como explicada anteriormente, tendo duas alternativas pra passagem da energia. Procede ainda o transformador de força, TR-1, que faz a transformação de 138 para 23 kV, um conjunto transformadores de corrente que fazem a proteção do circuito, podendo reconhecer a diferença entre as fases das correntes, assim, reconhecendo falhas.

Após o TR há um conjunto de PRs e TCs de proteção e medição entre este ponto e o barramento de 23kV. A proteção também é feita através do disjuntor 52-5, que está isolado entre as seccionadoras 89-28 e 29-30 e, antes das chave 89-28, tem a seccionadora 29-26. Paralelamente ao disjuntor, esta ligada a chave 89-34, com a mesma função descrita anteriormente.

Após a saída do TR-1, também há a ligação para o TR-2, transformador de serviços auxiliares de 75kVA, que é ligado ao painel de serviços auxiliares que estão na casa de comando, e a ligação ao TP de medição, que tem a função de alimentar os dispositivos de medição e proteção. Os painéis de serviços auxiliares CA alimentam os dispositivos de proteção e os retificadores, estes, fazem a alimentação dos painéis de serviços auxiliares CC. As ligações antecedidas são pela seccionadora FU-1.

No barramento de MT, é mostrado quatro alimentadores, que vem antecedidos de 4 disjuntores, 52-xx, isolados por seccionadoras 29-xx. Os alimentadores estão com as legendas AL 204, AL203, AL202 e AL201 e tem como função fazer a distribuição da energia em média tensão (23kV) para região.

Antes dos alimentadores, tem os religadores e são colocadas chaves e um circuito em paralelo, estas chaves marcadas pela legenda 29-xx. Elas servem para que, quando necessário uma paralisação num disjuntor ou no alimentador, faça a transferência de

carga para outro barramento. Na saída dos alimentadores, há pára-raios conectados, de baixa tensão (23kV).

As medições de proteção e controle, são feitas com sinais dos enrolamentos secundários dos TCs de linha ou dos TPs de entrada. Caso a concessionária ou indústria não aceite, é necessário colocar um equipamento específico para medição na SE.

No Diagrama da SE Planalto, tem-se também um quinto alimentador, AL 205, que é previsto para o futuro, e uma conexão com uma SE Móvel, para futuras desenergizações ou transferência de carga.

Na casa de comando, está previsto os painéis, de linhas (LT-1 e LT-2), transformador de força (TR-1), alimentadores (AL1-4), serviços auxiliares (CA e CC) e UTR. Bem como o retificador e respectivo banco de baterias.

## **5.6 Diagrama Unifilar de Proteção e Medição**

A proteção de subestação de distribuição de energia não é o objetivo principal deste trabalho. No entanto, serão vistos os principais relés de proteção (que são alocados aos painéis de proteção, controle e medição), suas atuações e ligações com os equipamentos de pátio.

Os relés e suas funções são definidos pela tabela ANSI, que está mostrada no Quadro 3.

No caso da SE Planalto, 138/23 kV – 10/12,5 MVA, conforme o Diagrama Unifilar de Operação, os principais relés de proteção utilizados são:

- Relé de Distância função 21 F/N - funções de distância (21/21 F/N) para detecção de faltas entre fases e entre fases e terra, com temporizadores independentes por zona;
- Relé Direcional de Sobrecorrente C/A função 67 F/N - função de sobrecorrente direcional de neutro (67 N), com unidades instantâneas e temporizadas para complementação da proteção de distância para faltas a terra independentes das funções de medição de distância;
- Relé de Sobrecorrente função 50/51 F - opera baseado na medição das correntes das Fases A, B e C. Pode ter atuação instantânea (50) ou temporizada (51). O elemento

opera por fase, ou seja, basta uma das fases exceder o valor de pickup para que o elemento seja sensibilizado.

- Relé de Sobrecorrente função 50/51 N - opera baseado na corrente calculada a partir da soma vetorial das três correntes de fase medidas pelo relé. Elementos instantâneo (50N) e temporizado (51N) estão disponíveis.

- Relé de Sobrecorrente Diferencial função 87 - o relé Diferencial compara as correntes que entram e saem dos terminais, assim quando houver uma diferença superior a um determinado valor ajustado, o relé será sensibilizado e enviará o sinal de disparo para o disjuntor correspondente.

- Relés térmico função 49 - A função 49 é destinada à proteção de grandes máquinas, tais como transformadores de potência, motores de indução e geradores. Sua utilização é encaminhada para proteção de máquinas quando submetidas a sobrecargas pesadas, que inerentemente provocam uma elevação de temperatura considerável. A atuação do relé baseia-se na temperatura real do equipamento e não através da elevação de temperatura.

- Relé de Interrupção ou Abertura Temporizada função 62 – Atua diretamente nos equipamentos de pátio, fazendo desligamento do Disjuntor.

- Relé de Bloqueio função 86 - O Relé de Bloqueio tem como finalidade atuar, a partir de um comando externo, permanecendo desta forma até ser rearmado manualmente através de um botão existente na parte frontal do Relé. O Relé só permitirá o seu rearme se a causa que originou sua atuação for regularizada. Possui um led de sinalização que quando está na cor verde indica que o equipamento está “Ligado” em perfeitas condições de operação e quando o led de sinalização passa para a cor vermelha indica que o relé está "atuado" e dois contatos reversíveis independentes para alarme ou desligamento. Em subestações é usado em conjunto com os Disjuntores de AT e BT.

No Diagrama Unifilar de Proteção e Medição, Figura 20, é mostrado todo sistema de proteção da Subestação. Proteção de entrada da linha, proteção do transformador e proteção de saída dos alimentadores. Nesta seção, diferentemente do Corte Eletromecânico, que será visto na seção 5.8, é possível visualizar a atuação dos relés, que ficam nos painéis de proteção,

Nas entradas das linhas de transmissão Foz-Chapecó e Constantina, há os TC e TP que ligam na barra P1 (138 kV) e tem suas funções de proteção e medição ligadas aos painéis 7SA6315 (medição) e 7SJ6455 (medição e controle). O TP e TCs atuam com as funções de medição e proteção, neste caso, através dos relés 50/51 de sobrecorrente, visto que este equipamento, neste caso tem dois enrolamentos. No painel de medição e controle, ainda há os relés direcional de sobrecorrente 67 F/N, 25 (verificador de sincronização), 79 (função de religamento C/A) e 62 BF.

No painel 7SJ6355 são ligados os TCs de bucha de alta tensão e baixa tensão do transformador, para reconhecimento de avarias de sobrecorrente e os relés com as funções 20 e 63, que tem como objetivo medir a funcionalidade das válvulas de pressão e pressão de nível de óleo.

Tanto os transformadores de corrente de bucha de alta tensão quanto baixa tensão são ligados aos relés do painel de controle e proteção do Trafo 7UT6125 que contém o relé de sobrecorrente diferencial com a função 87. Nele é reconhecida qualquer variação de corrente entre a os equipamentos ligados ao relé, no caso, um TC de alta e um TC de baixa, ambos de bucha do TR.

No painel de linha do setor de 23 kV (7SJ6325), são ligados os TCs de baixa tensão. Eles têm como funções 50/51N, 57 F/N (aterramento ou curto circuito), visto que um enrolamento do transformador de corrente é aterrado. Neste painel, também há os relés com as seguintes funções; 46, balanceamento de corrente de fase, 81, Relé de Frequência, 79, religamento e 62 BF.

Todos os painéis são ligados aos relés com função 86, de bloqueio, e estes aos disjuntores. Os relés, ao reconhecerem um problema no circuito da subestação desarmam os disjuntores fazendo com que a SE “caia”, ou seja, pare de fazer a distribuição de energia elétrica. E, eles permitirão o desbloqueio somente quando o problema causador do desarme for solucionado.

Para proteção do transformador, que é o principal equipamento da subestação, são usados também os dispositivos com as funções 49BT (medidor de temperatura em baixa tensão), 26AT (dispositivo térmico do TR), 71 (indicador de nível) e 90 (dispositivo de regulação).

1	Elemento Principal	48	Relé de Seqüência de Partidas Incompletas
2	Relé de Partida ou Fechamento Temporizado	49	Relé Térmico para Máquina ou Transformador
3	Relé de Verificação ou Interbloqueio	50	Relé de Sobrecorrente Instantânea
4	Contator Principal	51	Relé de Sobrecorrente Temporizado
5	Dispositivo de Interrupção	52	Disjuntor A/C
6	Disjuntor de Partida	53	Relé para Excitatriz ou Gerador DC
7	Disjuntor de Anodo	54	Disjuntor de Corrente Contínua, Alta Velocidade
8	Dispositivo de desconexão da Energia de Controle	55	Relé de Fator de Potência, Controle do Fator de Potência
9	Dispositivo de Reversão	56	Relé de Aplicação de Campo
10	Chave de Seqüência das unidades	57	Dispositivo de Aterramento ou Curto-circuito
11	Reserva para aplicação futura	58	Relé de Falha de Retificação
12	Dispositivo de Sobrevelocidade	59	Relé de Sobretensão
13	Dispositivo de Rotação Síncrona	60	Relé de Balanço de Tensão
14	Dispositivo de Subvelocidade	61	Relé de Balanço de Corrente
15	Dispositivo de Ajuste ou Comparação de Velocidade ou Freqüência	62	Relé de Interrupção ou Abertura Temporizada
16	Reserva para aplicação futura	63	Relé de Pressão de Nível, de Fluxo ou Gás
17	Chave de Derivação ou de Descarga	64	Relé de Proteção de Terra
18	Dispositivo de Aceleração ou Desaceleração	65	Regulador
19	Contator de Transição Partida - Marcha	66	Dispositivo de Intercalação ou Escapamento de Operação
20	Válvula operada eletricamente	67	Relé Direcional de Sobrecorrente C/A, direcional de Terra
21	Relé de Distância	68	Relé de Bloqueio
22	Disjuntor Equalizador	69	Dispositivo de Controle Permissivo
23	Dispositivo de Controle de Temperatura	70	Reostato eletricamente operado
24	Reserva para aplicação futura (V / Hz)	71	Reserva para aplicação futura, Disjuntor de Nível
25	Dispositivo de Sincronização ou de Verificação de Sincronismo	72	Disjuntor D/C
26	Dispositivo Térmico do Equipamento	73	Contator de Resistência de Carga
27	Relé de Subtensão	74	Relé de Alarme
28	Reserva para aplicação futura, Detetor de chama	75	Mecanismo de mudança de posição
29	Contator de Isolamento	76	Relé de Sobrecorrente D/C
30	Relé Anunciador	77	Transmissor de Impulsos
31	Dispositivo de Excitação em Separado	78	Relé de medição de Ângulo de Fase, Proteção Falha de Sincronismo
32	Relé Direcional de Potência	79	Relé de Religamento C/A
33	Chave de Posicionamento	80	Reserva para aplicação futura, Relé de Fluxo
34	Chave de Seqüência, operada por motor	81	Relé de Freqüência
35	Dispositivo para operação das escovas ou p/ curto-circuitar anéis ou coletor	82	Relé de Religamento C/C
36	Dispositivo de Polaridade	83	Relé de seleção de Controle ou de Transferência Automática
37	Relé de Subcorrente ou Subpotência	84	Mecanismo de Operação
38	Dispositivo de Proteção dos Mancais	85	Relé Receptor de Onda Portadora ou Fio Piloto
39	Reserva para aplicação futura, Vibração dos Mancais	86	Relé de Bloqueio
40	Relé de Campo, Perda de Excitação	87	Relé de Proteção de Sobrecorrente Diferencial
41	Disjuntor ou Chave de Campo	88	Motor Auxiliar ou Motor Gerador
42	Disjuntor ou Chave de Operação Normal	89	Chave Separadora, Relé de Linha
43	Dispositivo ou Seletor de Transferência Manual	90	Dispositivo de Regulação
44	Relé de Seqüência de Partida das unidades	91	Relé Direcional de Tensão
45	Reserva para aplicação futura, Monitoramento das Condições Atmosféricas	92	Relé Direcional de Tensão e Potência
46	Relé de Reversão ou Balanceamento Corrente de Fase	93	Contator de Variação de Campo
47	Relé de Seqüência de Fase de Tensão	94	Relé de Desligamento ou de Disparo Livre (TRIP)

Quadro 3. Funções ANSI caracterizando as proteções elétricas e/ou mecânicas.

## 5.7 Arranjo Eletromecânico e Disposição da Subestação

Na Figura 21 está representada a disposição do arranjo da subestação dentro do terreno planejado para o empreendimento. A área hachurada compreende a um “bay” futuro que será implantado pela Rio Grande Energia – RGE. No entanto, como ele será uma extensão dos barramentos já existentes, na implantação que está sendo estudada neste Projeto de Diplomação, estas estruturas já estarão completas.

Juntamente com a disposição do arranjo eletromecânico, a Figura 21 também contempla a localização da casa de comando, da estação avançada – que irá ter uma

garagem para dois carros e a área para depósitos de postes. Esta estação avançada irá permitir que os Engenheiros e Eletricistas responsáveis possam trabalhar, dar treinamentos e exercer funções referentes ao setor de energia da região que depende da carga da Subestação. O desenho, também, nos mostra a disposição para alocação de uma SE Móvel, conforme foi descrito no Diagrama Unifilar de operação. Esta será usada em casos de necessidades futuras tanto para uma maior demanda de carga quanto para manutenção na estrutura já existente.

Visto de cima, o projeto mostra perfeitamente a entrada das duas linhas de Transmissão de Alta Tensão - 138kV. Entre os marcos 148 e 149 está ilustrada a entrada na Linha Foz-Chapecó e entre os marcos 152 e 153 está mostrado a entrada da Linha que vem da Subestação de Transmissão Constantina. Assim, a SE tem duas fontes de alimentação independentes. Logo, quando for necessário ou houver um desligamento forçado de uma delas (tanto acidental quanto para manutenção), a SE não deixará de fazer a distribuição de energia elétrica para a região.

Por ser um circuito trifásico as linhas de transmissão tem que entrar em um determinado sentido nos barramentos de linha e sair pelos alimentadores nesta mesma sequência. No arranjo eletromecânico percebe-se que tanto a LT Foz-Chapecó quanto a LT Constantina entram no barramento de linha com a mesma notação e sentido de fase;  $\phi A$ ,  $\phi B$  e  $\phi C$ . Elas passam pelas chaves seccionadoras, pelo transformador e saem pelos religadores neste sentido. Caso haja uma inversão de fase, o circuito ficará desequilibrado. Teoricamente a defasagem entre as fases é de  $120^\circ$ , no entanto, em campo, sempre há uma variação desta, mínima, mas com o somatório total das fases resultando  $360^\circ$ .

As linhas de transmissão entram no barramento representado pelo marco 248 e caem direto na seccionadora, ou, passam diretamente para o marco 249 e conectam na seccionadora que está antes do disjuntor. Com isso, a LT tem a possibilidade de percorrer dois caminhos para energizar os barramentos de linha, ou passando pelo disjuntor e pelas chaves que o isolam, ou passando diretamente pela primeira seccionadora.

Cada LT tem um bay de entrada e saída de linha específico e entre eles há o bay do transformador, que é por onde a energia passará até o maior equipamento da SE e terá sua tensão rebaixada. O funcionamento do circuito será abordado com mais ênfase na seção 5.8.

Passando pelo barramento geral 138kV de linha, o circuito segue em direção ao transformador, que rebaixa a tensão e envia aos alimentadores. Cada alimentador suporta em média, dependendo do fabricante, 3 MVA, logo, para um transformador de 10 MVA, pode-se usar apenas quatro alimentadores. Que é o caso da SE Planalto, que serão implantados os alimentadores PNT 12, PNT 13, PNT 14 e PNT 15, onde PNT15 é, também, o bay de entrada geral de 23kV. Caso haja uso de ventilação forçada e o transformador gerar 12,5MVA, esta potência também é absorvida pelos quatro alimentadores, e, paralelamente, eles irão fornecer uma quantidade maior de energia de distribuição.

Na Figura 21, também pode-se identificar a blindagem da Subestação, que é com Cabos de Aço de 3/8" e cobre toda a área que está contemplada com os barramentos de 145kV e de 23kV, juntamente com os equipamentos instalados. Esta blindagem protege a SE de descargas atmosféricas, visto que o pára-raios é um equipamento de proteção para sobretensão no sistema.

Estão mostrados pelas letras A, B, C, D, E, F e H os cortes que serão vistos na sessão 5.8. O arranjo nos mostra não somente a disposição do empreendimento, mas também a localização dos equipamentos, o distanciamento entre barras, pórticos e equipamentos. Porém, nos cortes é que é mostrado todo funcionamento e circuito que a corrente passa.

Para a entrada das LTs de alta tensão, 138 kV, são usados Cabos nus de alumínio com alma de aço, cujo modelo é CAA #477 MCM HAWK e seus dados construtivos podem ser vistos na Figura 12. Para continuação do circuito, após a entrada das LT da barra demarcada pelo marco 248 até o transformador, são usados Cabos nus de alumínio, cujo modelo é CA #477 MCM COSMOS, seus dados são mostrados na Figura 13. No setor de 23kV, isto é, do transformador até os alimentadores, são usados Cabos de Alumínio CA #954 MAGNÓLIA.

Usa-se os cabos CA nas subestações de alta tensão, pois são feitos de Alumínio simples, de liga de Alumínio, logo, mais leve que o Cobre. No setor de 138kV, usa-se os cabos CAA, que tem uma alma de aço – um cabo concêntrico – que permite lançamento a maiores distâncias, pois permite uma flecha maior no cabo. Em Extra Alta Tensão – EAT, igual ou superior a 230 kV, normalmente são usados apenas cabos CAA.



Um estudo muito importante feito com base no arranjo eletromecânico é a Sondagem. Pois, com base nos lugares aonde tem mais carga, mais peso, decide-se os pontos aonde serão cravadas as estacas para a Sondagem.

<b>DADOS CONSTRUTIVOS</b>																	
<b>CABOS NUS DE ALUMÍNIO COM ALMA DE AÇO - CAA</b>																	
código do cabo	bitola AWG / MCM	seção nominal			formação				diâmetro externo nominal (mm)	peso líquido nominal (kg/km)	peso percentual		acondicionamento padrão (*)				
		Al (mm²)	aço (mm²)	equiv. cobre (mm²)	alumínio		aço				Al (%)	aço (%)	rolos		bobinas		
					n° de fios	φ (mm)	n° de fios	φ (mm)					peso líquido (kg)	lance aprox. (m)	peso líquido (kg)	lance aprox. (m)	tipo de bobina
Turkey	6	13,30	2,22	8,37	6	1,68	1	1,68	5,04	53,74	67,9	32,1	100	1.860	560	10.420	100/60
Swan	4	21,15	3,53	13,30	6	2,12	1	2,12	6,36	85,45	67,9	32,1	100	1.170	560	6.550	100/60
Sparrow	2	33,62	5,60	21,15	6	2,67	1	2,67	8,01	135,9	67,9	32,1	100	736	560	4.120	100/60
Robin	1	42,41	7,07	26,67	6	3,00	1	3,00	9,00	171,5	67,9	32,1	100	583	560	3.265	100/60
Raven	1/0	53,49	8,92	33,62	6	3,37	1	3,37	10,11	216,1	67,9	32,1	100	463	560	2.590	100/60
Quail	2/0	67,43	11,22	42,41	6	3,78	1	3,78	11,34	272,6	67,9	32,1	100	367	560	2.050	100/60
Pigeon	3/0	85,01	14,19	53,49	6	4,25	1	4,25	12,75	343,6	67,9	32,1	100	291	560	1.630	100/60
Penguin	4/0	107,2	17,87	67,43	6	4,77	1	4,77	14,31	433,3	67,9	32,1	100	231	560	1.290	100/60
Partridge	266,8	135,2	21,99	85,01	26	2,57	7	2,00	16,28	546,3	68,5	31,5	—	—	1.280	2.340	125/100
Ostrich	300,0	152,0	24,71	95,6	26	2,73	7	2,12	17,28	614,8	68,5	31,5	—	—	1.280	2.080	125/100
Pipper	300,0	152,0	35,47	95,6	30	2,54	7	2,54	17,78	697,0	60,4	39,6	—	—	1.530	2.195	125/100
Linnet	336,4	170,5	27,83	107,2	26	2,89	7	2,25	18,31	689,2	68,5	31,5	—	—	1.280	1.855	125/100
Oriole	336,4	170,5	39,78	107,2	30	2,69	7	2,69	18,83	784,5	60,4	39,6	—	—	1.530	1.950	125/100
Merlin	336,4	170,5	9,46	107,2	18	3,47	1	3,47	17,35	543,3	86,4	13,6	—	—	1.310	2.400	125/100
Ibis	397,5	201,4	32,73	126,7	26	3,14	7	2,44	19,88	814,3	68,5	31,5	—	—	1.280	1.570	125/100
Lark	397,5	201,4	46,87	126,7	30	2,92	7	2,92	20,44	927,4	60,4	39,6	—	—	1.530	1.650	125/100
Hawk	477,0	241,7	39,19	152,0	26	3,44	7	2,67	21,77	978,0	68,5	31,5	—	—	2.555	2.610	170/80
Hen	477,0	241,7	56,30	152,0	30	3,20	7	3,20	22,40	1.112,0	60,4	39,6	—	—	1.530	1.370	125/100
Dove	556,5	282,0	45,92	177,4	26	3,72	7	2,89	23,55	1.140,0	68,5	31,5	—	—	2.555	2.240	170/80
Grosbeak	636,0	322,3	52,49	202,7	26	3,97	7	3,09	25,15	1.303,0	68,5	31,5	—	—	2.555	1.960	170/80
Redwing	715,5	362,5	82,41	228,0	30	3,92	19	2,35	27,43	1.654,0	60,9	39,1	—	—	2.800	1.695	170/80
Drake	795,0	402,8	65,44	253,4	26	4,44	7	3,45	28,11	1.629,0	68,5	31,5	—	—	2.555	1.570	170/80

(\*) Este acondicionamento constitui o padrão Prysmian de lances e bobinas, quantidades diferentes das indicadas poderão ser fornecidas em bobinas diferentes, mediante consulta.

Figura 12. Dados construtivos cabos CAA com referência ao cabo Hawk.

Fonte: [www.prysmian.com.br](http://www.prysmian.com.br) [11]

CÓDIGO	BITOLA (AWG) ou (MCM)	SEÇÃO NOMINAL (mm <sup>2</sup> )	Nº FIOS X DIÂMETRO (mm)	DIÂMETRO NOMINAL DO CABO (mm)	MASSA NOMINAL (kg/km)	RMC (kN)	RESISTÊNCIA ELÉTRICA NOMINAL C.C. 20°C (ohm/km)
Peachbell	6	13,21	7 x 1,55	4,65	36,4	2,50	2,1755
Rose	4	21,12	7 x 1,96	5,88	58,2	3,91	1,3606
Lily	3	26,61	7 x 2,20	6,60	73,4	4,85	1,0799
Iris	2	33,54	7 x 2,47	7,41	92,5	5,99	0,8567
Pansy	1	42,49	7 x 2,78	8,34	117,1	7,30	0,6763
Poppy	1/0	53,52	7 x 3,12	9,36	147,6	8,84	0,5369
Aster	2/0	67,35	7 x 3,50	10,50	185,7	11,12	0,4267
Phlox	3/0	84,91	7 x 3,93	11,79	234,1	13,45	0,3384
Oxlip	4/0	107,41	7 x 4,42	13,26	296,1	17,01	0,2675
Sneezewort	250	126,67	7 x 4,80	14,40	349,2	20,06	0,2269
Valerian	250	126,37	19 x 2,91	14,55	348,4	20,68	0,2274
Daisy	266,8	135,25	7 x 4,96	14,88	372,9	21,42	0,2125
Laurel	266,8	135,20	19 x 3,01	15,05	372,8	22,13	0,2125
Peony	300	151,85	19 x 3,19	15,95	418,7	24,29	0,1892
Tulip	336,4	170,48	19 x 3,38	16,90	470,0	27,27	0,1686
Daffodil	350	177,62	19 x 3,45	17,25	489,7	28,41	0,1618
Canna	397,5	202,09	19 x 3,68	18,40	557,2	31,76	0,1422
Goldentuft	450	228,14	19 x 3,91	19,55	629,0	35,01	0,1260
Cosmos	477	241,15	19 x 4,02	20,10	664,9	37,01	0,1192
Syringa	477	241,03	37 x 2,88	20,16	664,5	38,60	0,1192

Figura 13. Dados construtivos cabos CAA com referência ao cabo Cosmos.

Fonte: [www.lamesa.com.br](http://www.lamesa.com.br). [6]

## 5.8 Arranjo Geral – Cortes

A planta de Arranjo Geral – Cortes é um complemento do Arranjo Eletromecânico e situação. Através dos cortes, pode-se ter conhecimento de como funciona o circuito elétrico da Subestação.

### Cortes A-A e B-B e Cortes C-C, D-D, E-E, F-F, G-G, H-H

Como se pode ver na Figura 22, os cortes A-A referem-se a linha de transmissão de Alta Tensão Constantina e os cortes B-B são referente a LT Foz-Chapecó, também de Alta tensão. Ambas LTs tem o mesmo caminho de entrada e energizam a mesma barra (P1)

Tanto na entrada de linha no setor de 138 kV quanto à entrada da mesma no setor de 23 kV, há proteções para que quando haja diferenças de tensões ou corrente, sejam acionados os relés dos painéis de controle e proteção. Estas proteções são feitas pelos TPs de entrada, controla a tensão, TCs de entrada de linha, faz o controle da corrente, pára-raios, protege contra descargas elétricas do circuito (não atmosféricas), chaves seccionadoras, isolam equipamentos e disjuntores, armam e desarmam o circuito.

Usualmente, o caminho é feito na seguinte ordem, chave, disjuntor, chave. No entanto, há padrões de Subestações na qual não há proteção na entrada de linha de alta tensão, somente no transformador, antes dele é colocado PRs e TCs. Não raramente, o TP de proteção é colocado na saída da Subestação de geração de energia (transmissora), não precisando ter na entrada da SE de distribuição.

Antes de entrar na barra que está no marco 248, a LT passa pelos pára-raios, que tem funções de amenizar descargas elétricas decorrentes da própria linha de transmissão, por um TP que está em paralelo com a rede ligado apenas há uma fase, pois faz a derivação da linha e tem a função de proteção e pelos TCs que estão em série e também tem função de proteção. Os relés de proteção, vistos na sessão 5.6, são acionados e/ou fazem o reconhecimento de avarias através de variações na corrente ou na tensão do sistema. No caso dos TCs, eles ficam em série no circuito trifásico, pois trabalham, além de detecção de corrente, com o reconhecimento e, quando houver, variações nas fases (ângulos de fase).

Ao entrar no poste do marco 248, há dois caminhos que podem ser percorridos. No primeiro caminho, os cabos são ligados da barra até primeiras chaves seccionadoras, que estão distantes 1,50 metros do primeiro poste. Das chaves, os cabos alimentam diretamente a barra geral 138kV P1 (conforme legenda do projeto), que devem seguir a sequência de fase  $\varphi A$ ,  $\varphi B$  e  $\varphi C$ , como demonstrado no desenho. A Barra P1 também pode ser energizada por outro caminho, aonde os cabos são ligados do poste no marco 248 diretamente ao poste do marco 249, aonde conectam nas chaves seccionadoras com lâmina de terra distante 3 metros do poste na situação 249. Após passar pelas chaves, vão pelo disjuntor até as outras seccionadoras, e, por final são ligados a barra a Barra P1. Este caminho é feito com proteção na entrada da Barra. As chaves tem a função de isolar o disjuntor. Todos os equipamentos citados no setor de 138 kv são de Alta Tensão (145kV). Ambos “bays” de entrada de linha, Constantina e Foz-Chapecó, também são “bays” de saída de linha de transmissão de 138kV.

Após a barra de operação (geral P1) estar energizadas, a corrente passa pelo “bay” do transformador (que é alimentado pelas barras de transferência de linha) diretamente a aos TCs que fazem a proteção do transformador. Percorrendo este caminho, passa pelo TR e faz o rebaixamento de tensão para 23kV.

Chegando aos barramentos de baixa tensão, os cabos são fixados em estruturas entre os poste para os módulos de MT que tem 10 metros de altura. Antes da fixação, a linha

chega aos pára-raios e aos TCs de 23 kV, para proteção de entrada. Passando pelos TCs a linha entra no disjuntor que está isolado por uma seccionadora tripolar e uma unipolar. Da seccionadora unipolar, os cabos vão através de chaves tripolares para a barra de operação de 23kV. E, antes da chave, conecta-se na chave fusível e vai até o transformador de serviços auxiliares, que é ligado aos painéis de serviço auxiliares.

Da barra de operação, a linha passa pelo alimentador - que está isolado e protegidos por chaves seccionadoras -, por um TC, que tem como função fazer o controle da corrente de saída, e vai para rede de distribuição. Caso haja algum problema no alimentador, o circuito é direcionado, pela abertura das chaves do alimentador e fechamento das chaves superiores diretamente à barra de transferência de linha, fazendo assim a distribuição de energia para a região. No dito popular, é comum dizer que quando acontece isso, faz-se um “bay pass” pelo circuito do setor de 23 kV. Basicamente, o funcionamento de entrada e saída do setor de baixa e alta tensão são muito parecidos.

Na Figura 23, Arranjo Geral – Cortes C-C, D-D, E-E, F-F, G-G, H-H, é possível ter uma “visão” mais detalhada do setor de Baixa Tensão.

No corte D-D pode-se notar a instalação para espera da SE móvel, provida de chave seccionadora e conexão específica.

Nos cortes E-E, G-G e H-H é possível ver mais detalhadamente o desenho dos postes do alimentador, poste de serviços auxiliares e poste do disjuntor, respectivamente.

## **5.9 Transformador de Força**

O transformador de força destinado à SE Planalto foi fabricado pela própria WEG em sua fábrica em Gravataí. Com o equipamento segue o logotipo Trafo By WEG, pois, a Trafo foi comprada pela WEG.

O transformador foi fabricado de acordo com a norma NBR-5356/07, é um equipamento trifásico com potência de 10MVA, e com ventilação forçada de 12,5MVA. O equipamento está com comutador interno, o que libera o uso de reguladores de tensão na Subestação.

É de encargo da WEG, transporte, montagem e comissionamento do transformador na SE Planalto.

No Anexo II é mostrado as placas e as fiações do TR de força.

## 6 CONCLUSÕES

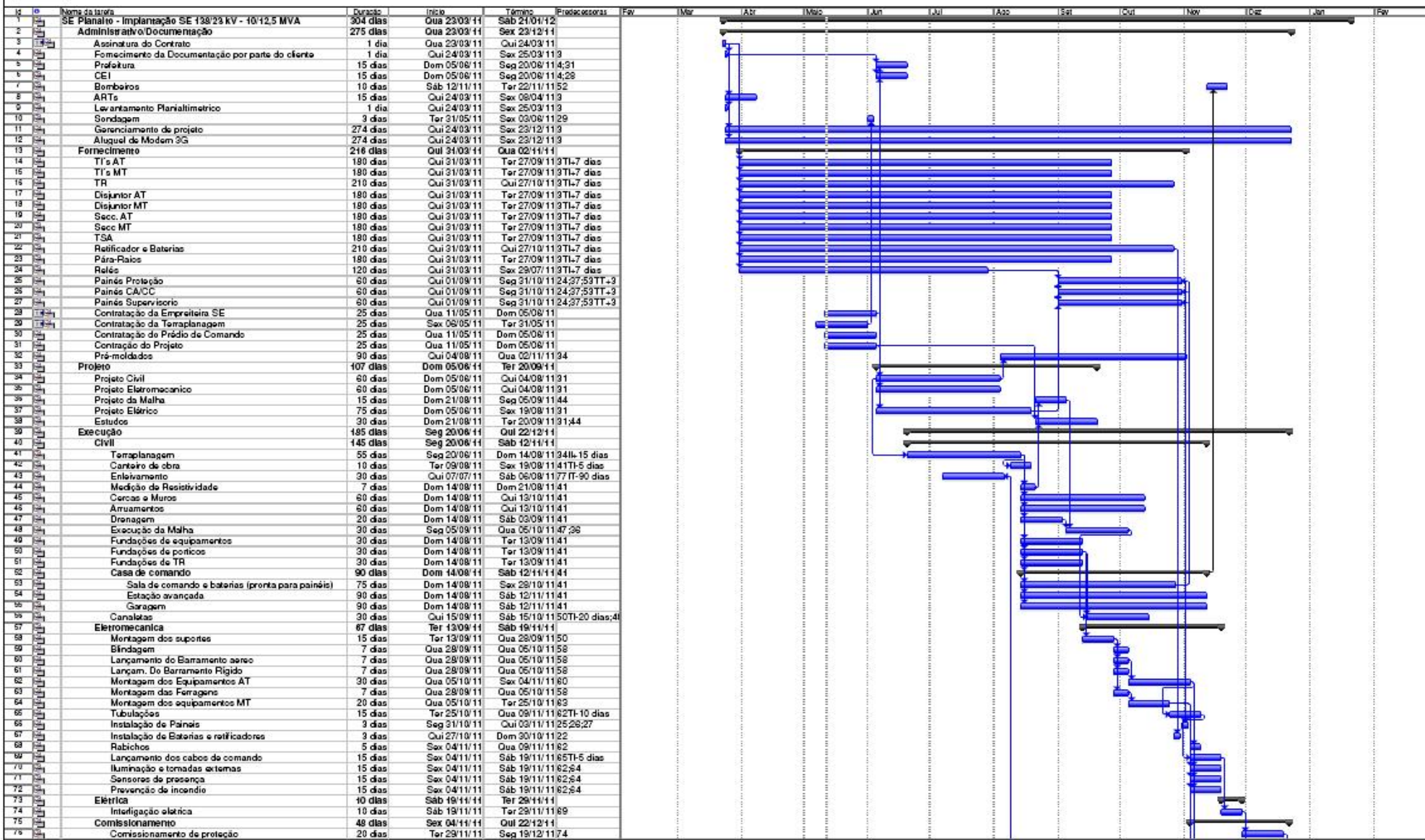
Atualmente, o Brasil é um país que está com um crescimento econômico muito bom e estável, logo, os investimentos estão cada vez maiores. A área de energia tanto de transmissão quanto de distribuição está muito “aquecida”. Inúmeros empreendimentos estão sendo construídos.

O projeto e execução de uma Subestação de Distribuição de Energia, como a SE Planalto, é um empreendimento muito detalhado para ser executado. É necessário um planejamento consistente, com um cronograma físico e físico-financeiro bem estruturado, com datas de entrega de equipamentos e projetos concretas. Atrasos são aceitáveis, e levados em consideração, tanto os atrasos por fenômenos climáticos quanto os atrasos de produção. Por isso, é necessário um planejamento bem feito, para atenuar ao máximo os atrasos e entregar a obra no prazo determinado.

Logo, nota-se que um bom planejamento, um gerenciamento adequado é necessário para a execução de um empreendimento de grande porte. Este planejamento deverá ser feito com base nas especificações e conhecimento técnico que se tem a respeito da Subestação.

## REFERÊNCIAS

- [1] Equipamentos Elétricos – Especificação e Aplicação em Subestações de Corrente Alternada, Furnas/UFF, 1995.
- [2] Especificação e detalhes de equipamentos elétricos para Subestações. In: [www.weg.net](http://www.weg.net), acessado em outubro de 2011.
- [3] TORTORELLA, Augusto Luz. Projeto de Diplomação, Subestação Móvel, 1997.
- [5] DACQ.T. Noções de Sistemas Elétricos e Noções Gerais das Fases de Projetos de Construção de Subestações. Furnas, 1987.
- [6] Catálogo de cabos. In: [www.lamesa.com.br](http://www.lamesa.com.br), acessado em novembro de 2011.
- [7] Fundamentos Básicos de Proteção de Circuitos Elétricos. In: [www.gesupply.com.br](http://www.gesupply.com.br), acessado em outubro e novembro de 2011.
- [8] Nascimento, Julio Cezar do. Especificação Técnica 20302 01 10/11. In: <http://www.copel.com>, acessado em novembro de 2011.
- [9] Sistemas Elétricos. In: [www.ons.com.br](http://www.ons.com.br), acessado em outubro de 2011.
- [11] Catálogo de cabos. In: [www.prysmian.com.br](http://www.prysmian.com.br), acessado em novembro de 2011.
- [12] DIAS, G. A. Dimensionamento e Seleção de Componentes e Sistemas em Subestações de Alta Tensão Visando a Eficiência Energética. Porto Alegre, 1996.
- [13] CAMINHAS A. C. Introdução à proteção dos Sistemas Elétricos. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.
- [14] Textos e pesquisas diversas. In: [www.google.com.br](http://www.google.com.br), acessado durante toda execução do Projeto de Diplomação.
- [15] SE Planalto – Cronograma de entrega de Equipamentos.



Projeto: Planalto  
Data: Qui 12/05/11

Tarefa: [Barra azul] Andamento: [Barra cinza] Resumo: [Barra verde] Tarefas externas: [Barra amarela] Data limite: [Barra vermelha]

Divisão: [Ponto] Etapa: [Seta] Resumo do projeto: [Barra verde] Etapas sistema: [Seta]

Página 1





ID	Nome da tarefa	Duração	Início	Término	Predecessoras	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
77	Comissionamento de equipamentos	30 dias	Sex 04/11/11	Dom 04/12/11 62,24														
78	Comissionamento do supervisor	20 dias	Ter 28/11/11	Sex 19/12/11 74														
79	Energização	3 dias	Seg 19/12/11	Qui 22/12/11 76,77,78														
80	Databook	30 dias	Qui 22/12/11	Sáb 21/01/12														
81	Databook	30 dias	Qui 22/12/11	Sáb 21/01/12 79														

Projeto: Planalto  
Data: Qui 12/05/11

Tarefa: Divisão:

Andamento: Etapa:

Resumo: Resumo do projeto:

Tarefas ocultas: Etapas ocultas:

Data limite:

Página 2

Figura 14. Cronograma Físico SE Planalto.

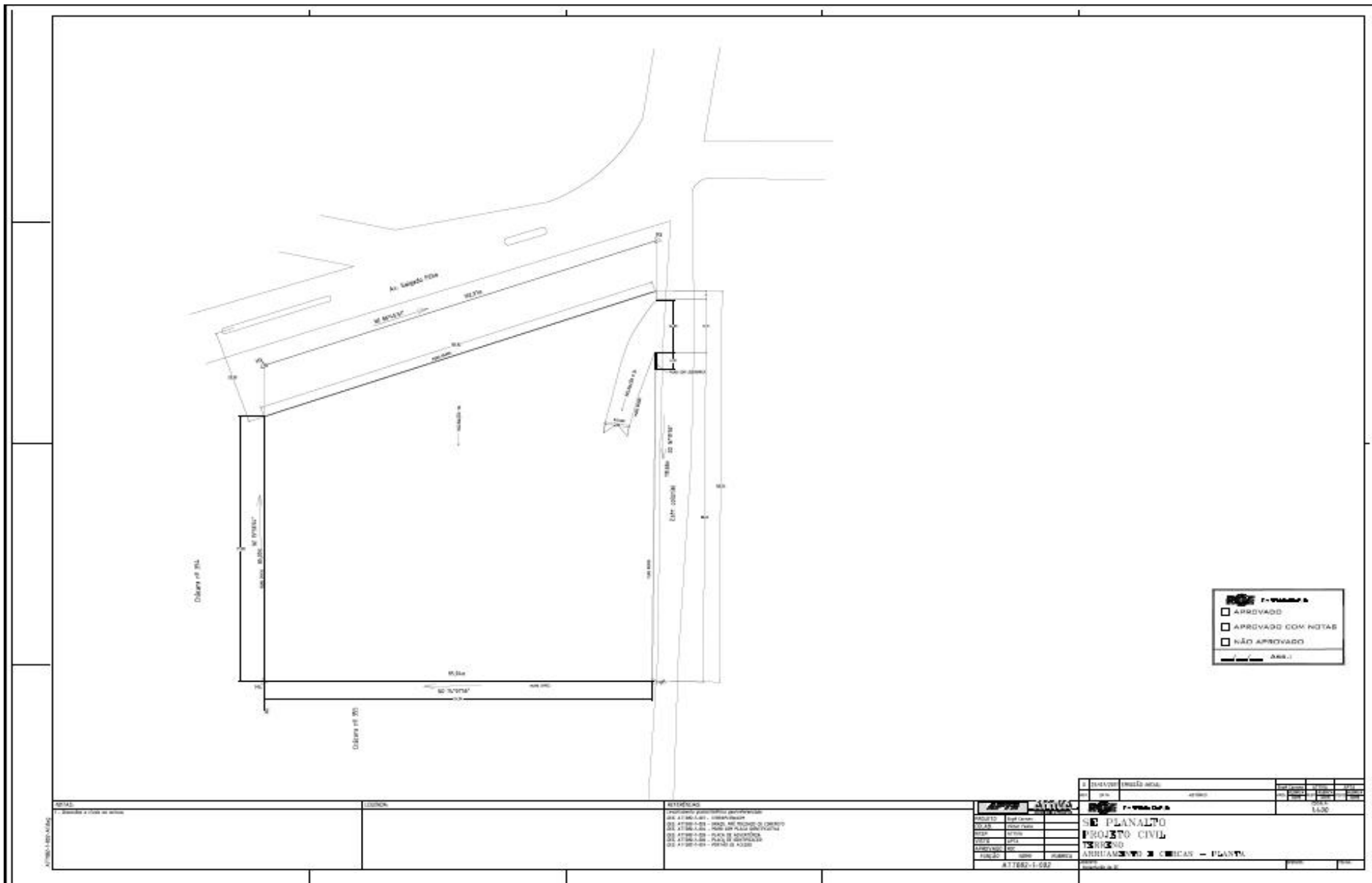


Figura 15. Localização do terreno e arruamentos.

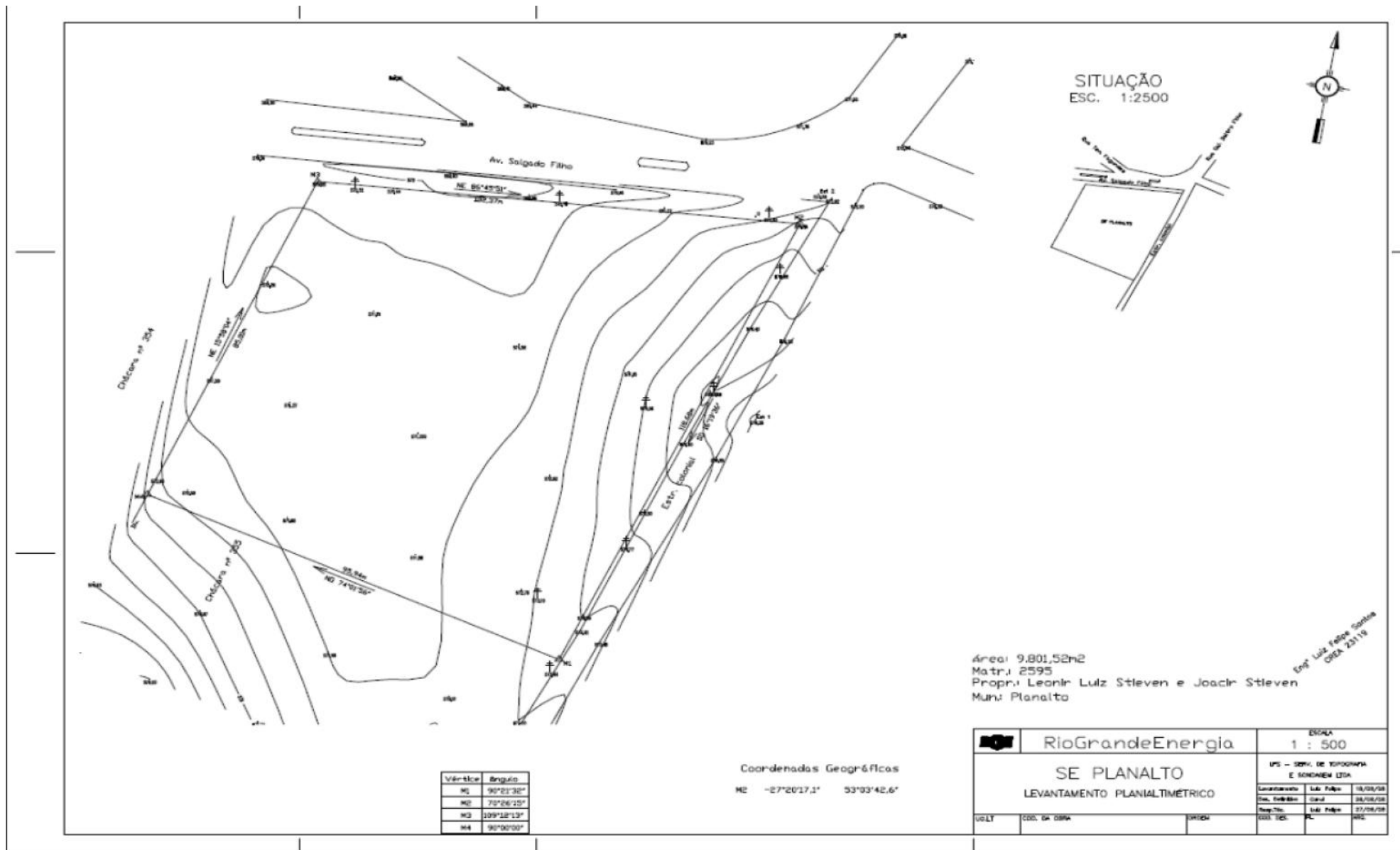


Figura 16. Levantamento Planialtimétrico.

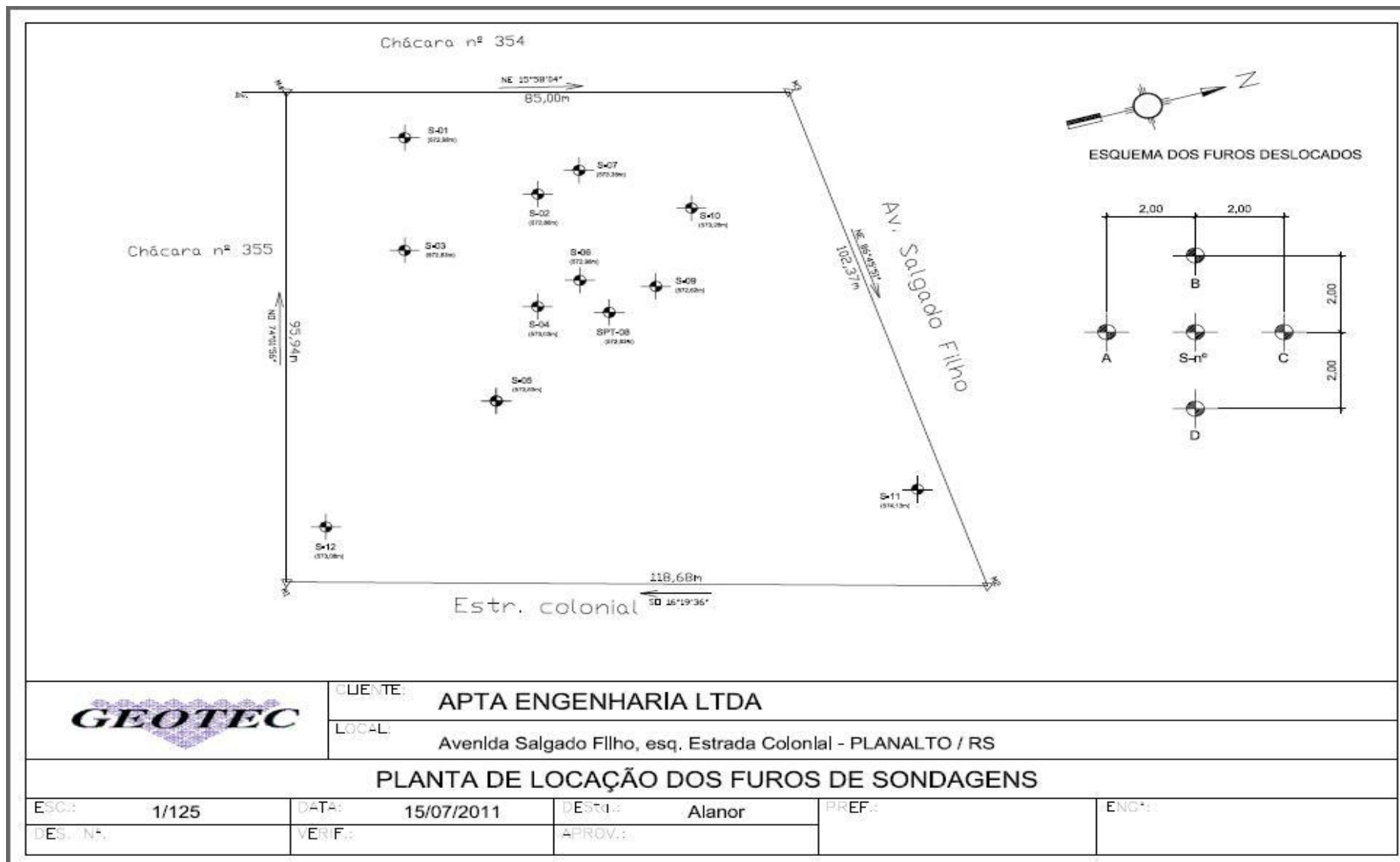
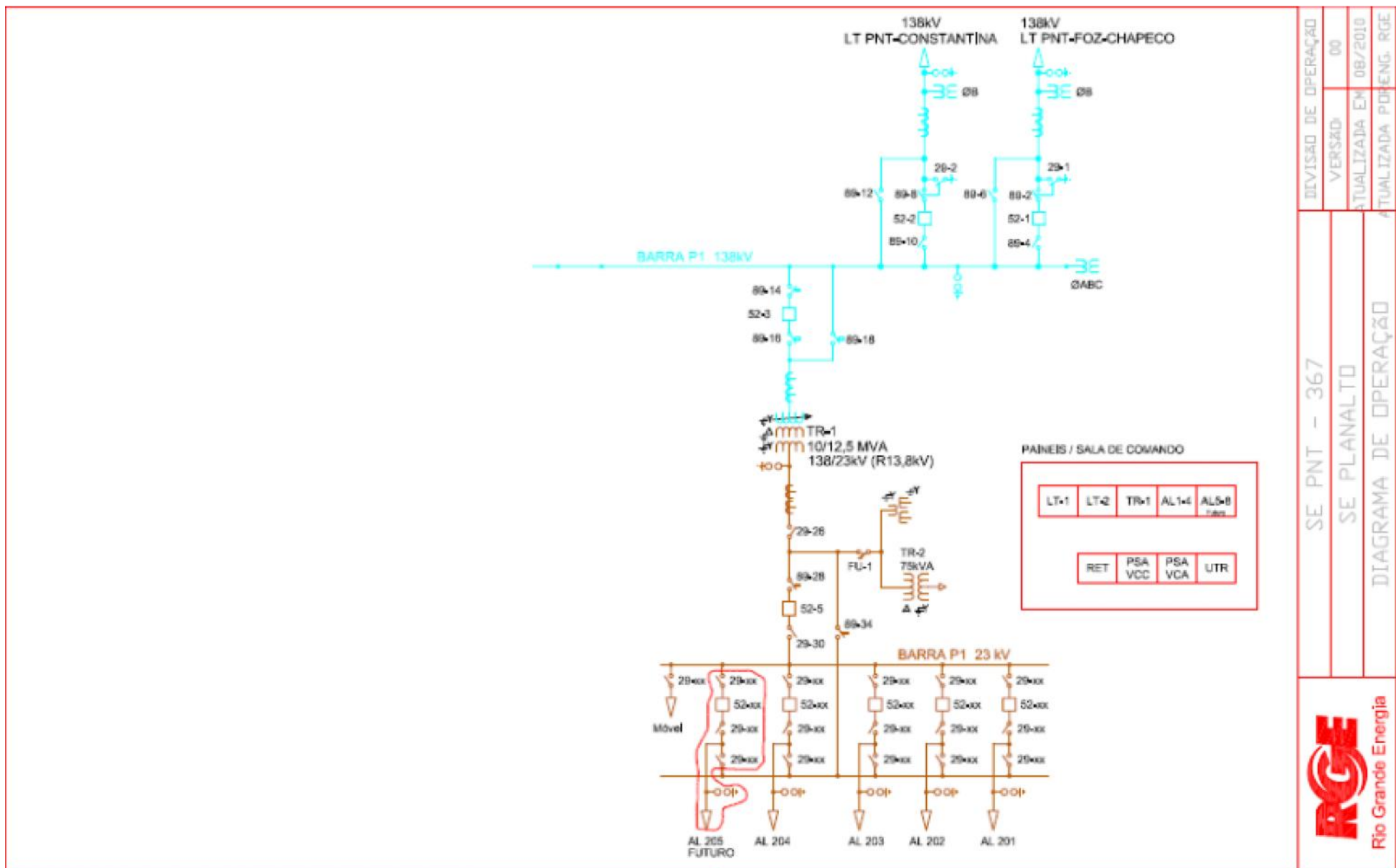


Figura 17. Pontos específicos para o Levantamento Planialtimétrico com base nas cargas dos equipamentos.



Figura 18. Projeto Terraplenagem



DIVISÃO DE OPERAÇÃO	00
VERSÃO	08/2010
ATUALIZADA EM	ATUALIZADA POR ENG. RGE

SE PNT - 367  
SE PLANALTO  
DIAGRAMA DE OPERAÇÃO



Figura 19. Diagrama Unifilar de Operação.

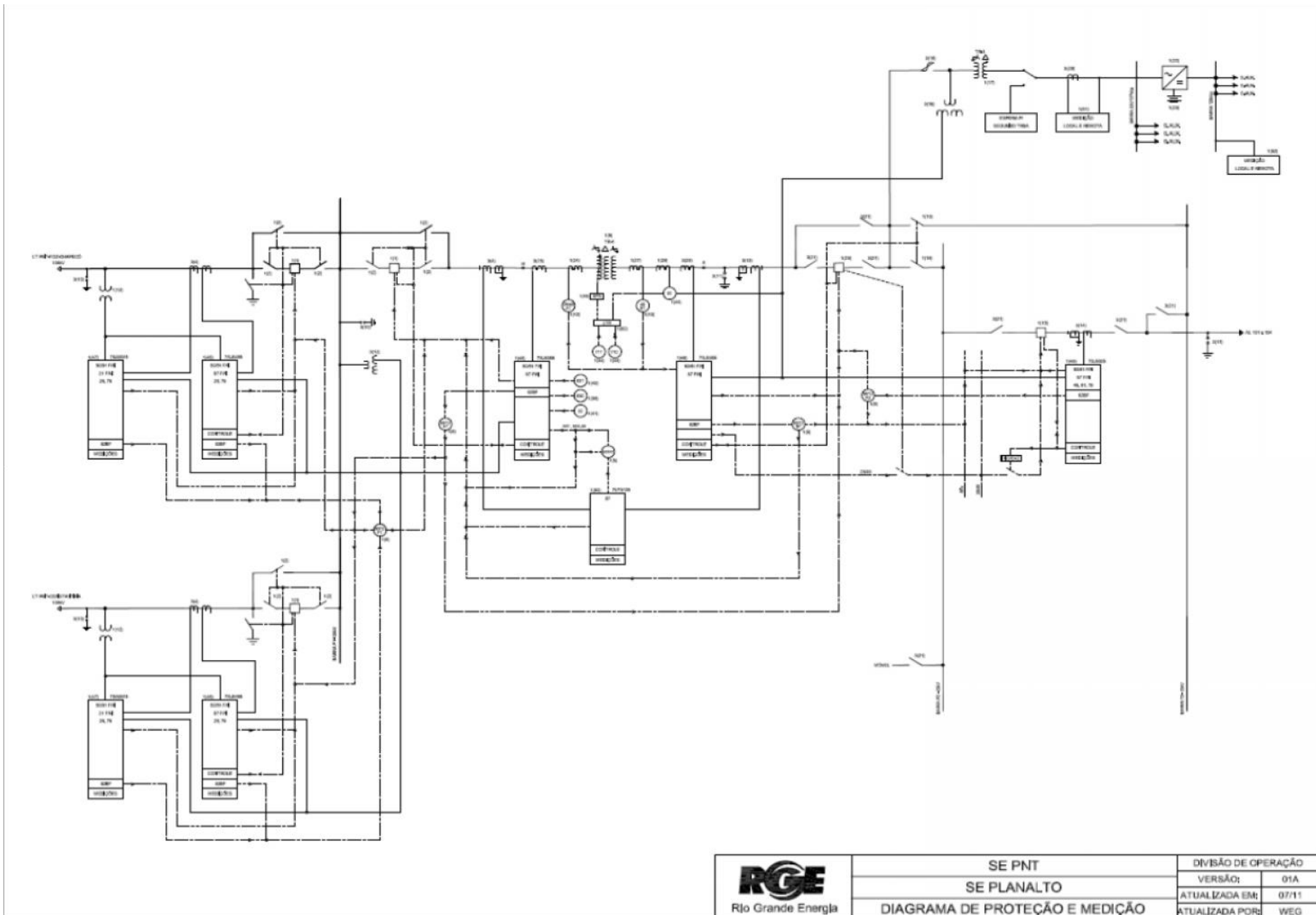



Figura 20. Diagrama de Proteção e Medição.

 <b>RGE</b> Rio Grande Energia	SE PNT		DIVISÃO DE OPERAÇÃO	
	SE PLANALTO		VERSÃO:	01A
	DIAGRAMA DE PROTEÇÃO E MEDIÇÃO		ATUALIZADA EM:	07/11
			ATUALIZADA POR:	WEG

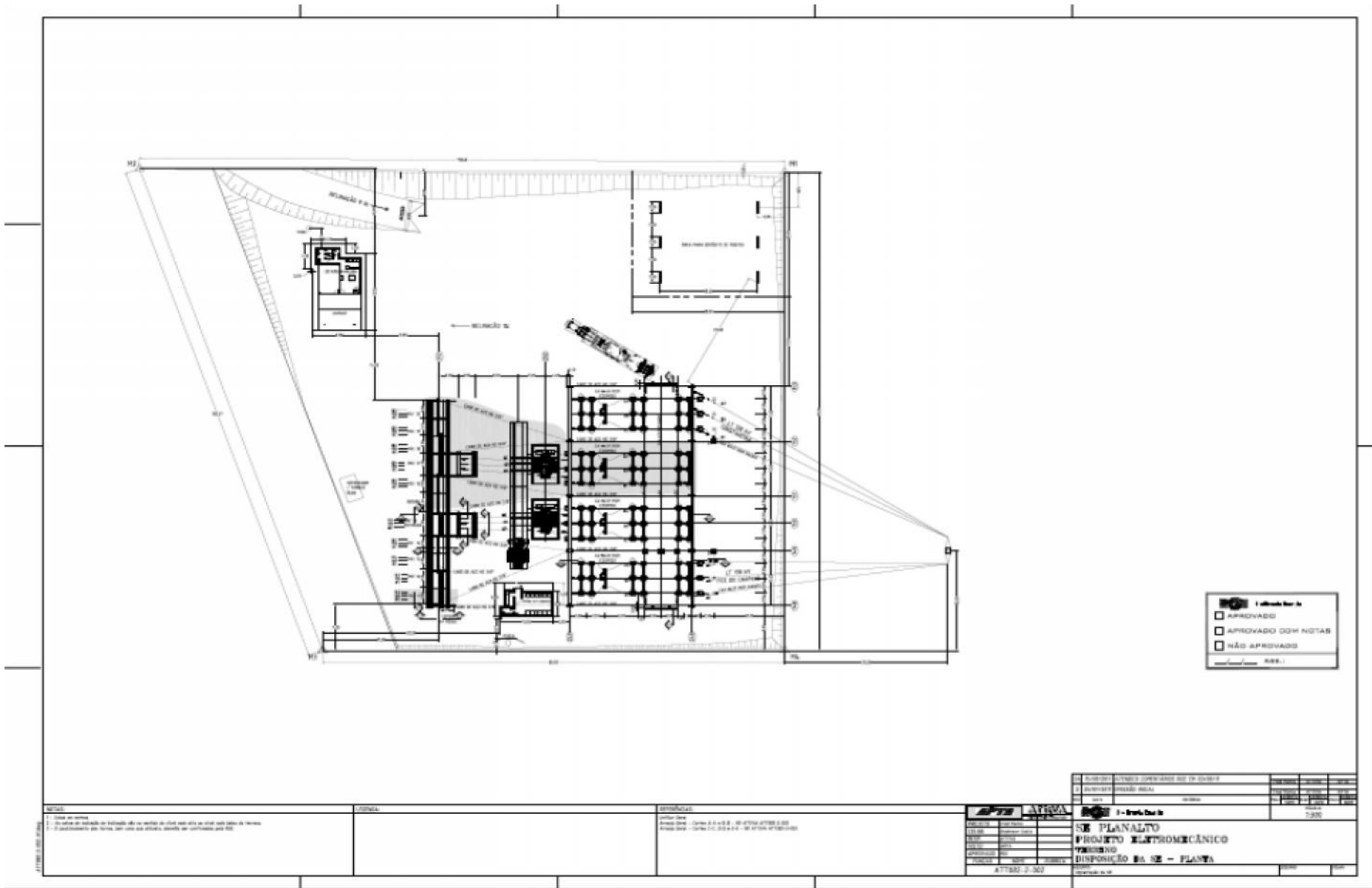


Figura 21. Projeto Eletromecânico – Arranjo.



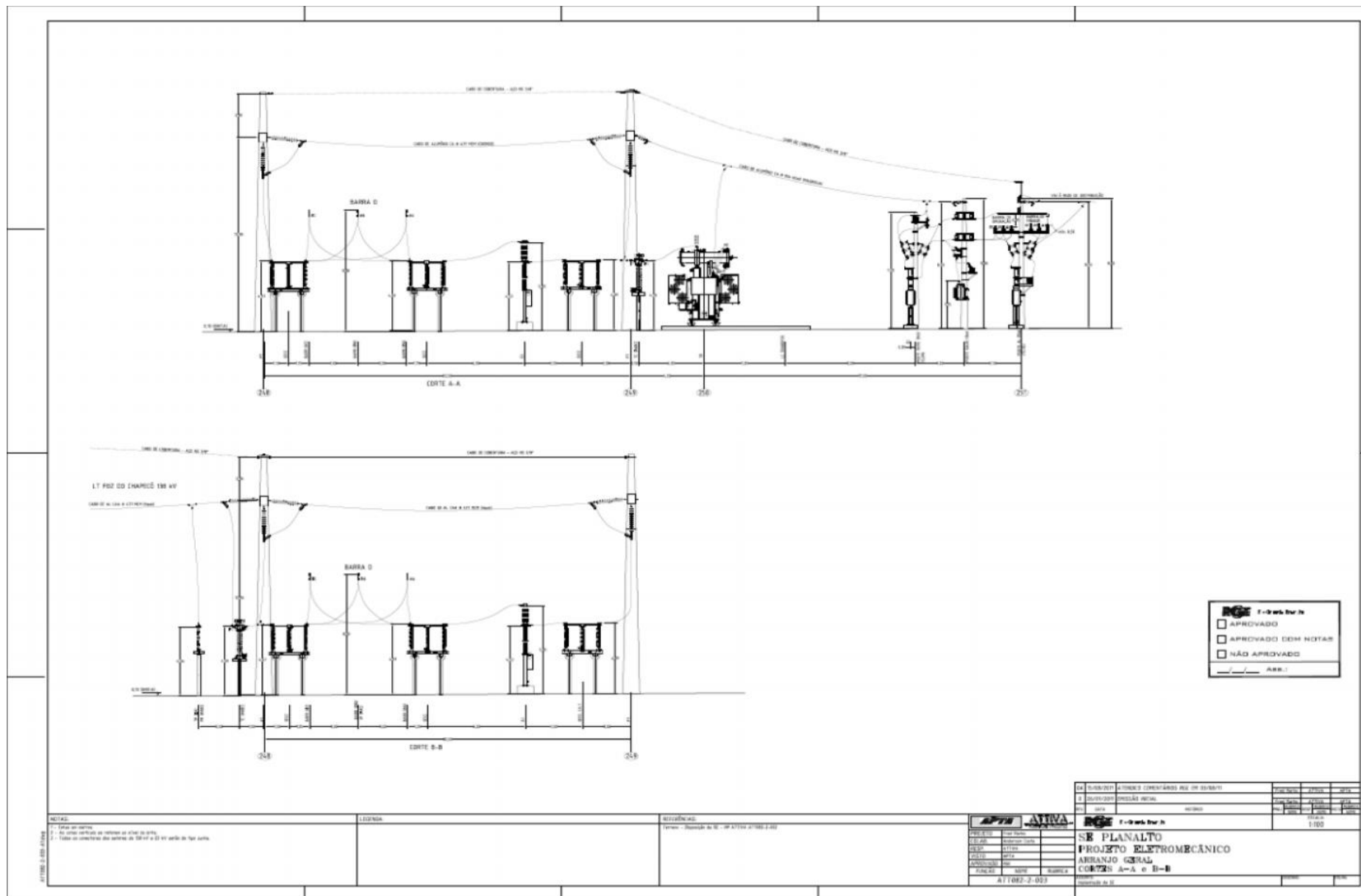


Figura 22. Cortes A-A e B-B.

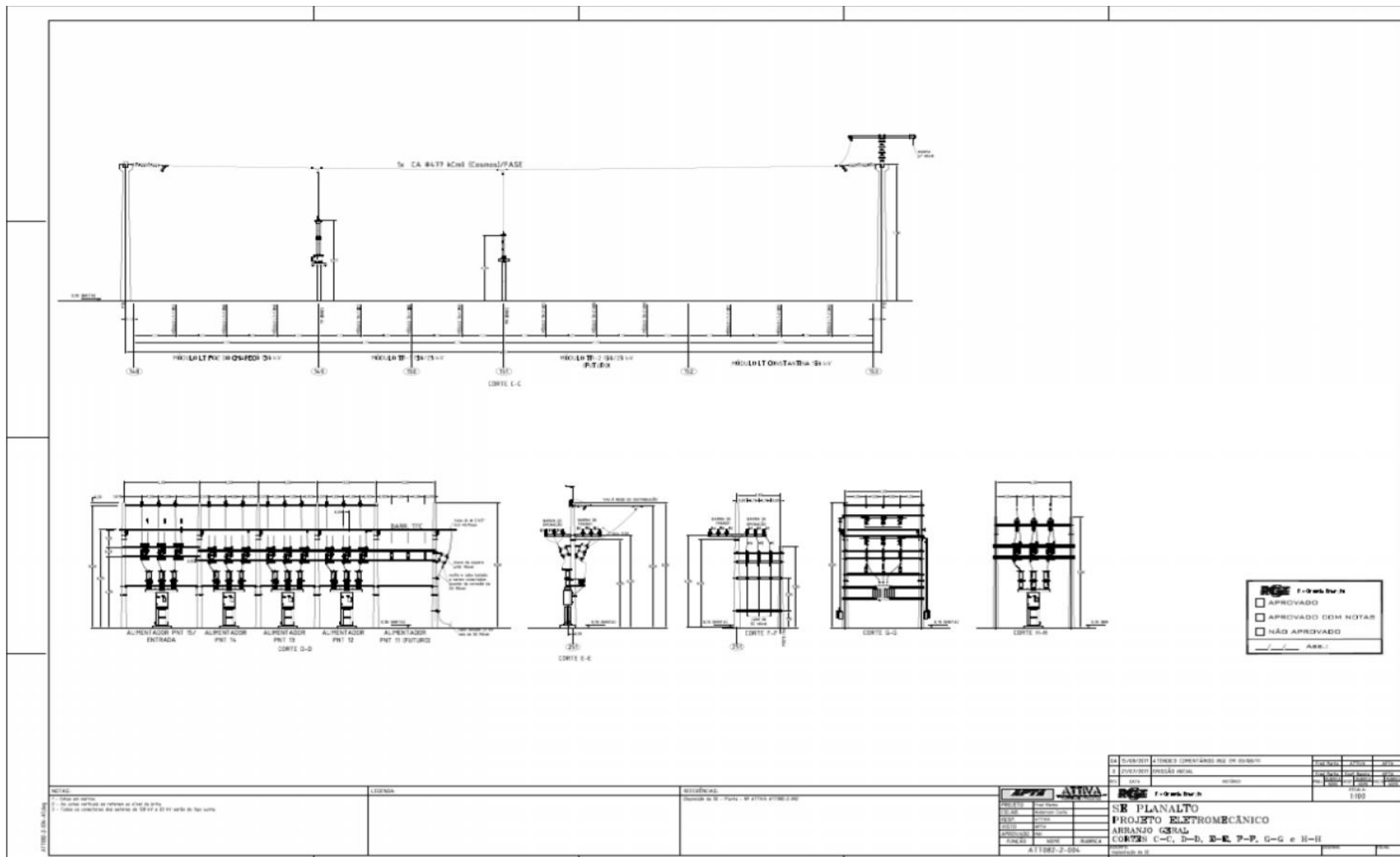


Figura 23. Cortes C-C, D-D, E-E, F-F, G-G E H-H.

