

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

BRAYAN MENDES NOGUEIRA

**PROJETO ELÉTRICO DE UMA SUBESTAÇÃO DE ENERGIA EM  
MÉDIA TENSÃO COM GERADOR A DIESEL EM PARALELO**

VIÇOSA  
2016

BRAYAN MENDES NOGUEIRA

**PROJETO ELÉTRICO DE UMA SUBESTAÇÃO DE ENERGIA EM  
MÉDIA TENSÃO COM GERADOR A DIESEL EM PARALELO**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Mauro de Oliveira Prates.

VIÇOSA  
2016



Nesta página será inserida a ficha catalográfica correspondente à sua Monografia. Ela será elaborada pelo pessoal da Biblioteca Central da UFV.

A priori deixa a página em branco.

**BRAYAN MENDES NOGUEIRA**

**PROJETO ELÉTRICO DE UMA SUBESTAÇÃO DE ENERGIA EM  
MÉDIA TENSÃO COM GERADOR A DIESEL EM PARALELO**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Mauro de Oliveira Prates - Orientador**  
**Universidade Federal de Viçosa**

---

**Prof. Dr. José Tarcísio de Resende - Membro**  
**Universidade Federal de Viçosa**

---

**Prof. Dr. José Carlos da Costa Campos – Membro**  
**Universidade Federal de Viçosa**

---

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas certamente, não sou o que era antes”.*

*(Autor Desconhecido)*

*Aos meus pais João Luiz e Elianete.*

## *Agradecimentos*

Agradeço à minha mãe, Elianete, pelo total apoio em todos os momentos de minha vida e seu amor incondicional. A meu pai, João Luiz, pelo apoio e confiança em meu trabalho.

Agradeço ao professor e amigo José Tarcísio por sempre depositar confiança em meu trabalho como monitor de suas disciplinas, e acima de tudo, por servir de exemplo e inspiração para minha futura carreira profissional e vida pessoal. Aos professores Pizziolo e Alexandre por me imporem desafios que me mostraram o tamanho de minha capacidade de passar por cima das dificuldades. Ao professor Mauro Prates por me dar a oportunidade de trabalhar como professor no projeto de extensão e por me orientar na produção desta monografia.

Agradeço aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica por terem sempre me ajudado. Aos funcionários João, Michael, Lúcio e Idelane pelos conselhos e conversas que sempre me ajudavam nas horas de dúvidas e escolhas. Ao Claudio da secretaria por sempre me atender de forma solícita e amigável. E por fim à Sirene, seja me lembrando de meus compromissos ou me dando conselhos sobre o que eu deveria ou não fazer sempre de forma sincera, e que acima de tudo me ensinou como é importante fazer do trabalho uma coisa que traga felicidade.

Agradeço aos amigos de curso pelo suporte nas dificuldades e das comemorações nas horas de sucessos. Agradeço profundamente aos amigos de república por suportarem os “choros” e pelo suporte nas dificuldades enfrentadas.

Agradeço aos engenheiros eletricitas Alexandre e Wladmen da Eletrocidade por me mostrarem o que realmente é ser um engenheiro eletricitista, e por me mostrarem diversos caminhos a serem seguidos dentro da profissão. Agradeço também à Cristina e Bruno por me ajudarem, de formas distintas, a aprender o máximo possível no período de estágio.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para chegar até a conclusão deste trabalho. Obrigado.



## *Resumo*

Este trabalho consiste em um estudo e descrição detalhada de um projeto elétrico para a implementação de uma subestação de energia elétrica que possui interligada em sua rede geradores de energia a diesel. É abordada uma introdução sucinta, explicando os conceitos básicos de uma subestação de energia elétrica e suas principais características. Em seguida é feito um estudo de caso, levando à elaboração de um projeto elétrico completo para uma subestação alimentada na rede primária de 22kV e potência instalada de 1265kW. Foi realizado todo o dimensionamento prévio dos componentes e equipamentos utilizados na instalação e subsequentemente será feito o desenho do projeto utilizando o software AutoCAD®. Para atender as necessidades da instalação são dimensionados dois geradores a diesel para suprir os horários de ponta e da falta de energia elétrica. O projeto teve um parecer satisfatório, haja visto que a Energisa aprovou o projeto e após a execução, teve a energização da subestação liberada.

**Palavras-chaves:** Projeto Elétrico; Subestação; Média tensão; Grupo gerador.

# *Sumário*

1	Introdução.....	14
1.2	Objetivos Gerais .....	14
1.3	Objetivos Específicos .....	15
2	Revisão Bibliográfica.....	16
2.1	Componentes e definições para uma subestação de energia .....	16
2.2	Tipos de subestação .....	19
2.2.1	Quanto ao nível de tensão.....	19
2.2.2	Quanto à relação entre os níveis de tensão de entrada e saída .....	19
2.2.3	Quanto ao tipo de isolamento .....	20
2.3	Paralelismo entre transformadores .....	20
2.4	Proteção em média tensão .....	21
2.5	Acoplamento de geradores na subestação .....	22
3	Materiais e Métodos .....	25
3.1	Materiais utilizados.....	25
3.2	Metodologia utilizadaa .....	25
3.2.1	Características do projeto .....	25
3.2.2	Alvenaria .....	26
3.2.3	Equipamentos de transformação.....	26
3.2.4	Condutores e eletrodutos .....	27
3.2.5	Medição .....	27
3.2.6	Proteção e manobra .....	27
3.2.7	Placas de advertência.....	28
3.2.8	Dispositivos e equipamentos auxiliares.....	28
3.2.9	Interligação com o poste.....	28
3.2.10	Diagrama Unifilar.....	28
3.2.11	Situação de implantação .....	29
3.2.12	Coordenograma .....	29
3.2.13	Geradores.....	30
4	Resultados e Discussões.....	31
4.1	Características do projeto .....	31
4.2	Alvenaria .....	33
4.3	Equipamentos de transformação.....	36
4.4	Condutores e eletrodutos .....	37
4.4.1	Ramal de ligação e de entrada .....	37

4.4.2	Barramento de média tensão .....	37
4.4.3	Barramento interno em média tensão .....	38
4.4.4	Barramento baixa tensão .....	38
4.5	Medição .....	38
4.6	Proteção e manobra .....	40
4.6.1	Proteção sobrecorrente .....	40
4.6.2	Proteção sobretensão .....	41
4.6.3	Proteção subtensão ou falta .....	41
4.6.4	Sistema de aterramento.....	41
4.6.5	Extintor de incêndio .....	42
4.7	Placas de advertência.....	42
4.8	Dispositivos e equipamentos auxiliares.....	42
4.8.1	Muflas .....	42
4.8.2	Isolação.....	42
4.8.3	Iluminação .....	43
4.8.4	Suporte para muflas e para-raios .....	43
4.9	Interligação com o poste.....	43
4.10	Diagrama Unifilar.....	44
4.11	Situação de implantação .....	45
4.12	Coordenograma – Ajuste para proteção secundária .....	46
4.12.1	Premissas .....	46
4.12.2	Cálculo de ajuste da proteção secundária .....	47
4.12.2.1	Dados da corrente de curto circuito no ponto de derivação	47
4.12.2.2	Cálculo das correntes nominais e de partida do relé .....	47
4.12.2.3	Cálculo da corrente de magnetização dos transformadores.	47
4.12.2.4	Cálculo do ponto ANSI dos transformadores.....	48
4.12.2.5	Cálculo da corrente instantânea de ajuste do relé.....	48
4.12.3	Ajuste do relé .....	48
4.12.4	Parametrização do relé secundário (modelo URPE-7104).....	48
4.12.5	Dados de configuração exigidos pela Energisa .....	50
4.12.6	Conclusão do coordenograma .....	50
4.13	Geradores .....	50
4.14	Diagrama funcional da subestação .....	53
5	Conclusão .....	54
	Referências Bibliográficas .....	55
	Apêndice - Pranchas do projeto.....	57

## *Lista de Figuras*

Figura 1: Vista superior da subestação de medição/proteção.....	34
Figura 2: Vista lateral da subestação de transformação .....	34
Figura 3: Vista superior da subestação de transformação .....	35
Figura 4: Detalhamento das caixas de passagem.....	35
Figura 5: Detalhamento da caixa de aterramento e conexão dos condutores.....	36
Figura 6: Sistema de proteção mecânica dos condutores passando pela terra .....	36
Figura 7: Vista lateral da área de medição na subestação de proteção/medição .....	39
Figura 8: Vista frontal da área de medição na subestação de proteção/medição .....	39
Figura 9: Localização do disjuntor na subestação de medição/proteção .....	40
Figura 10: Malha de aterramento completa da subestação .....	42
Figura 11: Detalhamento do suporte para muflas e para-raios .....	43
Figura 12: Detalhamento das características de ligação no poste. ....	44
Figura 13: Diagrama unifilar da subestação de medição/proteção.....	44
Figura 14: Diagrama unifilar da subestação de transformação .....	45
Figura 15: Planta de situação.....	46
Figura 16: Curva de atuação do relé de proteção .....	49
Figura 17: Grupo gerador a diesel de 700kVA. ....	52
Figura 18: Redutor de ruído para geradores a diesel.....	52
Figura 19: Diagrama funcional da subestação de medição/proteção .....	53
Figura 20: Diagrama funcional da subestação de transformação .....	53

## *Lista de Tabelas*

Tabela 1 – Quadro de cargas da instalação.....	32
Tabela 2 – Parâmetros calculados para o relé.....	49
Tabela 3 – Parâmetros ajustados pela Energisa para o relé.....	50

# ***1 Introdução***

O Sistema Elétrico de Potência brasileiro possui definidos os níveis de tensões nas etapas de geração, transmissão e distribuição. Assim para que a energia chegue ao consumidor final é necessário fazer a adequação entre tais valores de tensão. É neste momento que entram as subestações, que utilizando equipamentos de transformação, manobra e proteção possibilitam o atendimento ao cliente final de energia elétrica [1].

Assim uma subestação é definida como o conjunto de equipamentos que faça o chaveamento, transformação, proteção ou regulação da tensão elétrica. As subestações devem garantir um alto grau de confiabilidade às instalações elétricas internas e este é o grande desafio na elaboração de um projeto elétrico de uma subestação [1].

Quando a subestação é de uso exclusivo de uma empresa, há algumas características que devem ser analisadas de forma cautelosa. Uma dessas características está relacionada ao valor da tarifa horosazonal de energia, que no horário de ponta (18h00min às 21h00min) é muito mais caro do que no resto do dia. Outro ponto crítico é que uma falta de energia na rede pode gerar muito prejuízo no processo produtivo. Nestes casos é necessário avaliar a possibilidade de instalar um gerador de energia na empresa de modo a ser acionado nos horários de ponta e, também, na ocorrência de falta de energia elétrica [1].

Apesar da importância das subestações, devido ao nível de complexidade e de responsabilidade que tais projetos podem atingir, não há um número elevado de profissionais de engenharia elétrica que fazem este tipo de projeto. Assim, este trabalho visa servir como uma fonte de informação aos profissionais da área que pretendem executar tal tipo de trabalho. É importante destacar que este trabalho surgiu de um estágio realizado na empresa Eletrocidade de Muriaé. No período do estágio, a empresa foi contratada para fazer um projeto de uma indústria que necessitava de geradores em paralelo com a mesma. Com isso, todos os parâmetros foram dimensionados durante esse estágio, bem como a execução do projeto. [11] [12]

## **1.1 Objetivos Gerais**

O objetivo principal deste trabalho é apresentar detalhadamente o processo de produção de um projeto elétrico de uma subestação de transformação de energia elétrica abrigada com dois transformadores em paralelo e dois geradores em paralelo com

chaveamento em rampa dos geradores utilizando os padrões exigidos pela concessionária de energia elétrica Energisa.

## 1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Fazer o dimensionamento dos materiais e equipamentos a serem utilizados nas subestações de medição/proteção e transformação com base na norma “NDU-002 FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM TENSÃO PRIMÁRIA” da Energisa e os requisitos de projeto.
- Fazer a representação gráfica da subestação utilizando um software específico. Neste caso o AUTOCAD®.
- Fazer os cálculos necessários para descobrir os parâmetros de entrada do relé de proteção programável, conhecido comumente como Coordenograma.
- Fazer os cálculos relacionados à implantação de um sistema de geração de energia à diesel.

Assim, seguindo os passos anteriores conseguimos concluir o projeto da subestação de modo que esteja pronto para ser encaminhada à concessionária de energia (neste caso a Energisa) para aprovação e posteriormente sua energização.

## ***2 Revisão Bibliográfica***

Primeiramente, antes de começar o embasamento teórico sobre as subestações de energia elétrica, é interessante levar em consideração alguns aspectos que influenciam na escolha do número de subestações dentro de uma planta industrial. Estes aspectos relacionam localização das cargas, concentração de cargas e fator econômico. A seguir são levantadas algumas informações pertinentes a considerar [1] [2] [11].

- Quanto menor a capacidade da subestação, maior o custo por kVA;
- Quanto maior o numero de subestações unitárias, maior será o emprego de cabos de tensão primária;
- Desde que convenientemente localizadas, quanto maior for o número de subestações unitárias, menor será o emprego de cabos de baixa tensão (geralmente são mais caros);

Assim fica claro que o projetista deve sempre avaliar a relação de benefícios técnico-econômicos para favorecer o cliente em questão de qualidade e custo [1].

Além disso, um projeto de subestação deve conter os seguintes dados:

- Finalidade do projeto;
- Local onde vai ser construída a subestação;
- Carga prevista e tipo de subestação (abrigada, ao tempo, blindada etc.);

Memorial de cálculo da demanda prevista;

- Descrição sumária de todos os elementos de proteção utilizados, baseada no cálculo do curto-circuito;
- Características completas de todos os equipamentos utilizados;

### **2.1 Componentes de definições para uma subestação consumidora**

A seguir são definidos os principais termos e componentes utilizados pela norma “NDU-002 FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM TENSÃO PRIMÁRIA” da Energisa [4]



### 1. Aterramento

Ligação à terra do neutro da rede e o da instalação consumidora.

### 2. Caixa de Passagem

Caixa destinada a facilitar a passagem dos condutores do ramal subterrâneo.

### 3. Carga Instalada

É a soma das potências nominais, dos equipamentos elétricos instalados na unidade consumidora, em condições de entrar em funcionamento, expressa em quilowatts (kW).

### 4. Chave de Aferição

Dispositivo que possibilita a retirada do medidor do circuito, abrindo o seu circuito de potencial, sem interromper o fornecimento, ao mesmo tempo em que coloca em curto o secundário dos transformadores de corrente.

### 5. Concessionária ou Permissionária

Agente titular de concessão ou permissão federal para prestar o serviço público de energia elétrica, referenciado, doravante, apenas pelo termo: Concessionária.

### 6. Consumidor

Pessoa física ou jurídica ou comunhão de fato ou de direito, legalmente representada, que solicitar a Concessionária o fornecimento de energia elétrica e assumir a responsabilidade pelo pagamento das faturas e pelas demais obrigações fixadas em normas e regulamentos da ANEEL, assim vinculando-se aos contratos de fornecimento.

### 7. Demanda

É a média das potências elétricas, ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico, pela parcela de carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado.

### 8. Demanda Contratada

É a demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela Concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (KW).

#### 9. Entrada de Serviço da Unidade Consumidora

É o conjunto de condutores, equipamentos e acessórios, compreendidos entre o ponto de derivação da rede secundária e a medição e proteção, inclusive (ramal de ligação + ramal de entrada da unidade consumidora).

#### 10. Medição Indireta

É a medição de energia efetuada com transformadores para instrumentos – TC (Transformador de Corrente) e/ou TP (Transformador de Potencial).

#### 11. Medidor

É o aparelho instalado pela Concessionária, que tem por objetivo medir e registrar o consumo de energia elétrica ativa e/ou reativa.

#### 12. Padrão de Entrada

É o conjunto de equipamentos, condutores e acessórios, abrangendo ramal de entrada, poste, pontalete, proteção, caixa para medição e suportes.

#### 13. Ponto de Entrega de Energia

É o ponto de conexão do sistema elétrico da Concessionária com as instalações elétricas da unidade consumidora, caracterizando-se como o limite de responsabilidade do fornecimento.

#### 14. Ramal de Entrada

É o conjunto de condutores e acessórios, inclusive conectores, instalados a partir do ponto de entrega de energia, até a caixa para medição e proteção, cuja instalação é de responsabilidade e propriedade do consumidor.

#### 15. Ramal Interno ou de Saída

É o conjunto de condutores e acessórios instalados internamente nas unidades consumidoras, a partir da medição.

#### 16. Ramal de Ligação

Conjunto de condutores e acessórios instalados entre o ponto de derivação da rede da Concessionária e o ponto de entrega.

#### 17. Subestação

Parte das instalações elétricas da unidade consumidora atendida em tensão primária de distribuição que agrupa os equipamentos, condutores e acessórios destinados à proteção, medição, manobra e transformação de grandezas elétricas.

#### 18. Unidade Consumidora

Conjunto de instalações e equipamentos elétricos, caracterizado pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrega, com medição individualizada e correspondente a um único consumidor.

#### 19. Ponto de Entrega

O ponto de entrega de energia em tensão primária de distribuição deverá estar no máximo a 50 m do poste de derivação da Concessionária e o atendimento da unidade consumidora, sempre que possível, em áreas atendidas por rede de distribuição aérea, será através de ramal de ligação aéreo.

## 2.2 Tipos de subestação

As classificações das subestações podem ser feitas das seguintes formas [5]:

### 2.2.1 Quanto ao nível de tensão

Podem ser classificadas em: [11] [12]

- Baixa tensão (até 1kV);
- Média tensão (entre 1 kV e 34,5kV);
- Alta tensão (entre 34,5 kV e 230 kV) ou Extra alta tensão (níveis maiores que 230kV).

### 2.2.2 Quanto à relação entre os níveis de tensão de entrada e saída

Podem ser classificadas em: de manobra, elevadora ou abaixadora. [11] [12]

- **Subestação de manobra**

É aquela que interliga circuitos de suprimento sob o mesmo nível de tensão, possibilitando sua multiplicação. É também adotada para possibilitar o seccionamento de circuitos, permitindo sua energização em trechos sucessivos de menores comprimentos.

- **Subestação elevadora**

É localizada na saída das usinas geradoras. Elevam as tensões para níveis de transmissão e subtransmissão, visando diminuir a corrente e, conseqüentemente, a área de seção transversal dos condutores e as perdas. Esta elevação do nível de tensão é comumente utilizada para facilitar o transporte da energia, diminuição das perdas do sistema e melhorias no processo de isolamento dos condutores.

- **Subestação abaixadora**

Localizada no final da linha de transmissão ou subtransmissão próximas aos centros consumidores. Reduzem os níveis de tensão, adequando os centros urbanos de modo a evitar problemas para a população como: rádio interferência, campos magnéticos intensos e faixas de servidão muito grandes.

### **2.2.3 Quanto ao tipo de instalação**

Podem ser classificadas em: externas (céu aberto) ou internas. [11] [12]

- **Externas ou a céu aberto**

São construídas em locais amplos ao ar livre. Requerem emprego de aparelhos e máquinas próprios para funcionamento em condições atmosféricas adversas (chuva, vento, poluição etc.), que desgastam os materiais componentes, exigindo, portanto, manutenção mais frequente e reduzindo a eficácia dos isolamentos.

- **Internas**

São construídas em locais abrigados. Os equipamentos são instalados no interior de construções não estando sujeitos às intempéries. Subestações abrigadas podem consistir de cabines metálicas, além de isoladas a gás, tal como o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>).

## **2.3 Paralelismo entre transformadores**

A ligação em paralelo entre dois ou mais transformadores, há a necessidade de que os transformadores cumpram as seguintes condições [6]:

- Igualdade de tensões e relação de transformação.

- Igualdade de defasamento dos diagramas vetoriais (do secundário em relação ao primário).
- Igualdade de sequência.
- Igualdade de tensões de curto-circuito.
- Uma relação de potência compatível.

Assim, se os transformadores cumprirem estas cinco condições, pode-se de fato fazer a ligação em paralelo dos transformadores. Para a interligação de um número maior de transformadores as condições são exatamente as mesmas.

## 2.4 Proteção em média tensão

Na proteção de um sistema elétrico três características devem ser examinadas [5] [8]:

- Operação normal;
- Prevenção contra falhas elétricas
- Limitação dos efeitos devido às falhas.

Observar ou prever as condições normais de operação dos equipamentos é uma tarefa de extrema importância ao projetar um sistema de proteção para prevenir que equipamentos de proteção atuem de forma inadequada, desligando equipamentos sem necessidade. Quando um equipamento está operando sob condições elétricas anormais, diz-se que ocorreu uma falha elétrica [8].

Apesar da prevenção, torna-se inviável agir de forma a prevenir completamente uma ocorrência de falhas, assim devem-se tomar medidas de proteção sobre os efeitos de uma falha. Algumas das mais importantes medidas são [5]:

- Reduzir os efeitos imediatos de uma falha elétrica como: projeto com capacidade de suportar os efeitos mecânicos e térmicos das correntes de curto e limitação das correntes de curto.
- Medidas para extinguir os efeitos imediatos de uma falha elétrica, como: disjuntores com capacidade de interrupção, relés de proteção e fusíveis.
- Análise frequente sobre as mudanças no sistema, e a partir daí constantes reajustes dos relés e reorganização do esquema de operação.

Assim a utilização de relés de proteção é apenas uma das formas de amenizar os efeitos de uma falha no sistema elétrico, porém é utilizada em todas as instalações elétricas de grande porte como: geradores, transformadores, linhas de transmissão, cabos, motores e demais equipamentos integrantes do sistema elétrico [5].

O estudo de seletividade de sistemas elétricos considerando sua aplicação conjunta com os relés de proteção é de extrema importância para um bom funcionamento. Os três procedimentos que podem ser utilizados são [5]:

- Seletividade amperimétrica;
- Seletividade cronológica;
- Seletividade lógica.

A primeira se baseia no valor efetivo da corrente elétrica instantânea no circuito, o segundo se baseia no tempo de ação de cada dispositivo de proteção e por fim o terceiro é uma abordagem nova, que surgiu com o advento do processamento de dados e trabalha de forma que há uma escolha lógica de proteção de forma que em cada situação a proteção tenta isolar apenas o foco do problema [5].

## **2.5 Acoplamento de geradores na subestação**

O funcionamento de uma subestação muitas vezes trabalha a todo vapor durante as 24 horas do dia. Sendo assim, dependendo do tipo de consumidor que esta subestação tiver atendendo, a falta de fornecimento de energia elétrica é algo extremamente prejudicial, gerando muitas vezes enormes prejuízos financeiros. Outra característica de consumidores em média tensão é que em seu contrato de fornecimento de energia elétrica o valor do kWh durante o horário de ponta é significativamente superior ao restante do dia. Assim há a necessidade de propor uma solução para este tipo de problema.[6] [9]

A solução mais utilizada na atualidade é o acoplamento de geradores em paralelo com a rede elétrica, onde há nas proximidades da subestação a instalação de um Quadro de Transmissão Automática (QTA). O QTA é basicamente um dos dispositivos mais importantes para um sistema que possua geração de energia, isso porque o dispositivo mantém um controle de segurança e executa diversas funções que garantem o fornecimento de energia por meio do gerador. Pode ser programado para desempenhar algumas funções essenciais para o acionamento de um gerador, como a comutação imediata ou a interrupção de um sinal elétrico da rede externa. Neste último caso, o QTA aciona um painel que imediatamente inicia o

funcionamento do grupo gerador. É neste momento que o fornecimento de energia é restabelecido. Caso ocorra alguma falha grave no sistema, que impeça seu acionamento, o próprio painel do QTA realiza um bloqueio para manter a integridade do gerador de energia. O QTA deve também monitorar o retorno da rede à normalidade e acionar um contato para retransferência da carga, devendo, a partir daí, o sistema de controle permitir o funcionamento do grupo gerador em vazio para resfriamento, antes de acionar o dispositivo de parada. Quando não incluídos no sistema de controle, sensores de tensão e frequência para o grupo gerador também devem ser previstos. O monitoramento ideal é sobre as três fases, sendo freqüente o uso de sensores monofásicos no lado do grupo gerador, principalmente. Em geral, ajusta-se os sensores para variações de 20% de tensão e 5% de frequência, para mais ou para menos, e um tempo de confirmação de dois a cinco segundos. [9]

No Brasil as empresas geralmente optam por instalar geradores a diesel. Estes podem ser utilizados de forma singela ou em paralelo com outros grupos geradores, formando usinas de até 30 MVA. Os grupos geradores a diesel são construídos com características especiais que os tornam apropriados para diversas aplicações, sejam industriais, hospitalares, comerciais, residenciais, entre outras. Quando são analisadas suas características encontramos a seguinte informação. [6] [9]

- Prós: São geradores mais robustos, ou seja, têm maior durabilidade em comparação com os movidos à gasolina. Da mesma forma, o diesel é um combustível mais barato, fazendo com que o consumo no decorrer do tempo acabe pagando seu investimento inicial mais alto.
- Contras: Além de fazerem mais barulho, o que pode ser um incômodo dependendo da situação, os motores a diesel poluem mais, não sendo o ideal quando sua preocupação está em preservar o meio ambiente.

Neste trabalho, na descrição do projeto, será visto que foi necessário utilizar dois geradores em paralelo. Assim a seguir são mostrados os requisitos exigidos para que se possam colocar dois, ou mais geradores em paralelo. [6] [9]

- As máquinas devem ser de mesma tensão de operação;
- Sequencia de fase respeitada na interligação;
- Frequência da tensão gerada igual entre as máquinas;
- Ângulo de defasagem igual entre fases;

- Verificar se o regulador de tensão está apto para paralelismo com outro gerador e rede;
- Ter um painel apto para proteção e operação do mesmo;
- Sincronização e ajuste da potência ativa de ser imposto pelo controle das máquinas primárias.

Respeitando estas características, os geradores podem ser ligados em paralelo. Vale salientar que as características de paralelismo entre geradores são exatamente as mesmas do paralelismo com a rede elétrica, com a ressalva de uma instalação de um relé direcional para não permitir de forma alguma o fluxo de corrente elétrica do gerador para a rede. [6] [9]

O método de chaveamento entre a rede e o grupo gerador também é de extrema importância. Os dois métodos mais comuns são o de chaveamento direto e a transição em rampa. O primeiro é o mais simples, o QTA apenas muda a chave do lado da rede para o grupo gerador de forma direta. Já o segundo é uma transição onde a potência entregue pelo gerador e pela rede são feitas de forma simultânea. Em outras palavras, o chaveamento da rede para o gerador é feita de modo que a cada instante de tempo há um incremento na participação de potência do gerador e um decréscimo na participação da rede, até que a carga esteja totalmente no gerador. [9]

A transição em rampa é feita na condição de transição fechada, em paralelo com a rede, durante um tempo programado. O sistema de transferência necessita monitorar, por meio de transformadores de corrente, a energia circulante e atuar sobre o sistema de combustível do motor. Sua utilização requer proteções definidas pela concessionária de energia. A transferência com rampa de carga é feita sincronizando o grupo gerador com a rede e, em seguida, comandando o fechamento das chaves de paralelismo. O paralelismo, feito por um sincronizador automático, controla tensão e frequência do grupo gerador e verifica a sequência de fases. Com isso a transição de carga é contemplada. [11]



## ***3 Materiais e Métodos***

Este capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados no trabalho. Nele, serão apresentadas as etapas do projeto executado. No capítulo seguinte os resultados são apresentados os resultados. Dessa forma, os próximos itens trarão os principais pontos que foram necessários para execução do projeto.

### **3.1 Materiais utilizados**

A principal ferramenta utilizada neste trabalho é a utilização de um computador com o software AutoCAD® instalado. São descritos no projeto os diversos materiais que deveriam ser adquiridos após o projeto, como transformadores, geradores, equipamentos de proteção, dentre outros comentados no decorrer do trabalho.

No contexto dos materiais utilizados pode ser citado também os equipamentos de medição como terrômetro, voltímetro, e outros equipamentos utilizados previamente para poder ter um embasamento das características iniciais da implantação da subestação em questão.

### **3.2 Metodologia utilizada**

Para dimensionar os equipamentos e materiais utilizados em uma subestação deve-se fazer uma análise dos dados e alguns cálculos. É descrito a seguir o critério em cada componente da subestação. Como este projeto é feito para uma região onde a Energisa é a companhia de energia, todos os passos a seguir estão de acordo com a norma regulamentadora da instituição para fornecimento de energia em média tensão (NDU-002).

#### **3.2.1 Características do projeto**

A principal característica da instalação está relacionada com a tensão primária de fornecimento existente no local. Com essa informação é possível escolher a classe de isolamento dos materiais utilizados, as distâncias entre os condutores dentro da subestação e a relação dos transformadores a serem utilizados.

Outro fato importante a observar é a potência da subestação. Este dado é encontrado através da soma das potências de todas as cargas instaladas na empresa, e com este valor é

possível encontrar a demanda a ser contratada pela empresa. Este valor de demanda depende do ramo de atividade da indústria, e assim para cada tipo de empresa há um fator de demanda.

Com a carga instalada e demanda conhecida é necessário estimar a potência do gerador a ser utilizado nos horários de ponta. Como o custo desde equipamento é um tanto elevado, há a necessidade de analisar cuidadosamente as características de projeto para poder se chegar no melhor custo/benefício possível.

O método de chaveamento entre a energia da rede elétrica e o gerador é de extrema importância. Ele é feito pelo Quadro de Transmissão Automático (QTA) que deve ser dimensionado de modo que as cargas instaladas sofram o menor impacto possível no momento da transição. Tal característica de chaveamento é escolhida de acordo com a sensibilidade do sistema em relação aos picos de energia, pois cada tipo de equipamento possui uma sensibilidade diferente e em determinados casos um pico de energia pode causar um atraso incalculável em algumas máquinas.

### **3.2.2 Alvenaria**

A localização da subestação deve satisfazer ao propósitos tanto da concessionária quanto do consumidor, preservando sempre critérios técnicos e de segurança. Dessa forma, a subestação foi construída em um local de livre e fácil acesso, em condições adequadas de iluminação, ventilação e segurança.

Algumas características são essenciais na construção da subestação, dentre elas:

- As portas devem possuir no mínimo um metro a mais do que o maior equipamento presente, com uma placa indicando “PERIGO DE MORTE – ALTA TENSÃO”;
- Em cada curva que os cabos fazem há a necessidade de utilizar uma caixa de passagem;
- O aterramento necessita de uma construção especial para seu abrigo, e uma proteção para o ramal subterrâneo de toda a tubulação.

### **3.2.3 Equipamentos de transformação**

Basicamente o único equipamento de transformação é o transformador. Seu dimensionamento deve ser baseado na potência instalada e nas características específicas da carga em questão. O fato de cada caso ter suas peculiaridades pode levar à escolha de 2 transformadores menores ao invés de 1, de um sobredimensionamento ou até mesmo de um

subdimensionamento. Dependendo da demanda da empresa é mais interessante comprar 2 transformadores menores ao invés de um. Primeiro, se um der problema e for para a manutenção a fábrica não fica parada e segundo, com os dois trabalhando em paralelo são possíveis que haja sempre um funcionando em condições nominais e o outro apenas quando houver aumento de demanda. Há casos em que um sobredimensionamento é interessante, pois há grandes chances de se ampliar a carga e em outros seria interessante subdimensionar, pois levaria a uma melhor relação de custo/benefício e o transformador trabalharia sempre em condições nominais. Vale lembrar que o transformador possui um melhor rendimento quando trabalha em condições nominais de funcionamento. Há também a necessidade de avaliar o tipo de isolamento das bobinas, que pode ser à óleo ou à seco. Esta isolamento é importante, pois os transformadores isolados a óleo correm o risco de explodir, haja visto que o óleo isolante é inflamável. Assim dependendo do local onde o transformador for instalado há a necessidade de que seu isolamento seja necessariamente à seco.

### **3.2.4 Condutores e Eletrodutos**

Os condutores se dividem em ramal de ligação e de entrada, condutores de baixa tensão, condutores de média tensão e barramento de média tensão. Tanto a isolamento quanto a bitola dos condutores são escolhidas de acordo com as tabelas presentes na NDU-002.

### **3.2.5 Medição**

Como a potência instalada excede 300 kVA, segundo a NDU-002 a medição obrigatoriamente é feita em média tensão e a três elementos e indireta. Como a medição é indireta, há a necessidade de utilizar transformadores de potencial (TP) e transformadores de corrente (TC) e as relações de transformação estão pré-definidas na NDU-002.

### **3.2.6 Proteção e manobra**

A proteção geral é secundária, feita por um disjuntor à vácuo. Este disjuntor possui as funções 50 (relé de sobrecorrente instantâneo) e 51 (relé de sobrecorrente temporizado CA), que são requisitos da NDU-002.

Para proteção dos equipamentos elétricos contra sobretensão e em pontos de transição de rede aérea para subterrânea ou vice versa, é feito o uso de para-raios poliméricos. Estes são instalados nas terminações de entrada e saída da subestação de proteção/medição e também na entrada da subestação de transformação.

A proteção contra falta de tensão e subtensão é feita no circuito secundário e, especialmente, junto dos motores elétricos ou outras cargas. Esse fato se dá, pois pela NDU-002 não se permite que o disjuntor geral seja equipado com "bobina de mínima tensão" ou dispositivos semelhantes. Há também o dimensionamento da malha de aterramento da subestação, que segue os padrões da norma. E finalizando a parte de proteção é projetado um extintor de incêndio para ajudar contra possíveis problemas com fogo na subestação.

### **3.2.7 Placas de Advertência**

Como uma subestação é uma instalação onde vários profissionais da área poderão ter acesso com o passar do tempo, é de grande importância que exista algumas placas de orientação e advertência.

### **3.2.8 Dispositivos e Equipamentos Auxiliares**

É obrigatório o uso de muflas terminais, tanto na estrutura de derivação de ramal, como dentro da subestação. As muflas terminais estão todas ligadas à malha de terra. Para ajudar na isolação, abaixo de cada chave seccionadora há um tapete isolante. Este item está de acordo com a NR10.

Para a iluminação da subestação são utilizadas luminárias comuns e de emergência. A fixação das muflas e para-raios são feitas com um suporte de metal.

Para fazer a sustentação dos TC's e TP's, foi feito um suporte de metal como previsto pela NDU-002. Este suporte possui um conjunto de eletrodutos e caixas de passagem que permitem que os fios cheguem até o medidor de energia.[13] [14]

### **3.2.9 Interligação com o poste**

Para fazer a interligação com o poste é necessário levar os cabos do ramal de entrada até às muflas que estão presentes na cruzeta de madeira do poste. Logo após a ligação feita na mufla, é interligado cada fase aos para-raios. Vale lembrar que nas subestações sempre é deixado um de cabo reserva que vai do poste até a subestação para cobrir possíveis defeitos em alguma fase. No próprio poste já há um fusível limitador de corrente.

### **3.2.10 Diagrama Unifilar**

Toda subestação necessita ter anexado a seu projeto o diagrama unifilar de suas instalações. Neste caso ela é subdividida em duas partes, haja visto que os lugares físicos da

proteção/medição e transformação são distintos. Nele está simplificado todo o esquema de ligação elétrica do sistema completo.

### 3.2.11 Situação de Implantação

Para poder visualizar como a instalação é feita, é necessário utilizar a planta de situação para indicar onde está cada elemento dentro do terreno da indústria.

### 3.2.12 Coordenograma

A corrente nominal ( $I_n$ ) e a corrente de partida do relé ( $I_p$ ) devem ser calculadas a partir da demanda contratada ( $P$ ) e considerando o fator de potência de 0,92, utilizando a equação (1).

$$I_n = \frac{P(kW)}{\sqrt{3}V \cos \varphi} \quad (1)$$

Para fazer o cálculo da corrente de magnetização dos dois transformadores, são utilizadas as equações (2) e (3). O valor da corrente de magnetização para um transformador isolado e com potência inferior a 2.000 kVA pode ser dado por 8 vezes o valor da corrente nominal e possui tempo de duração de 1 segundo. Se houver mais de um transformador, como é o caso, a corrente de magnetização é dada pela parcela do maior transformador acrescida das correntes nominais dos demais. Todos estes dados foram retirados da NDU-002.

$$I_m = 8I_{n1} + I_{n2} \quad (2)$$

Onde  $I_{n1}$  e  $I_{n2}$  são as correntes nominais dos transformadores.

$$I_{n_{1-2}} = \frac{P(kVA)trafo}{\sqrt{3}V} \quad (3)$$

O ponto chamado ANSI de um transformador nada mais é do que o máximo valor de corrente que ele pode suportar durante um período definido de tempo sem se danificar. Abaixo estão indicados os valores de tais correntes em (4) para o valor do ponto ANSI e em (5) para a corrente nominal ANSI. As constantes utilizadas em ambas as equações estão contidas na norma NDU-002.

$$I_{ansi} = 20I_n \quad (4)$$

$$I_{nansi} = 0,58I_{ansi} \quad (5)$$

Para o cálculo da corrente instantânea de ajuste do relé é utilizado a equação (6), onde a constante a ser multiplicada é pré-definida pela NDU-002.[15]

$$I_{inst} = 1,067x I_m \quad (6)$$

### 3.13 Geradores

Toda empresa que é atendida em média tensão e que possui sua modalidade tarifária no grupo azul, possui um valor bem elevado para a tarifa de energia elétrica no horário de ponta (18h00 min às 21h00 min). Assim, em alguns casos, como o de empresas que possuem seu maquinário trabalhando a todo vapor no horário de 18h00 min às 21h00 min, que é o caso da instalação em questão, é justificável o uso de geradores internos para poupar o uso da energia da rede no horário de ponta para reduzir custos. Outro fator que propicia a aquisição de geradores por indústrias é a garantia de que na falta de energia o processo produtivo não tenha uma pausa por tempo indeterminado.

Outro detalhe importante na instalação dos geradores é o fato de haver a necessidade de ter um ambiente com ventilação. Para isso no espaço onde os geradores serão instalados são projetadas entradas de ar no teto para ajudar na refrigeração do ambiente. Para ajudar na diminuição do ruído gerador é especificado no projeto um redutor de ruídos nos geradores.

## ***4 Resultados e Discussões***

Neste capítulo serão mostrados os resultados das fases do projeto, passando por alvenaria, dimensionamento de condutores, equipamentos auxiliares, diagrama unifilar, coordenograma e, finalizando com a ligação dos geradores em paralelo. Todas as medidas, sejam de cabos, sejam de alvenaria seguiram o padrão exigido pela NDU-002.

### **4.1 Características do projeto**

Em Miraf-MG, cidade onde se encontra a empresa, a rede primária de energia elétrica é atendida em 22kV. Assim este é o ponto inicial para poder escolher os equipamentos utilizados e classe de isolamento dos isoladores.

A partir de um breve levantamento das possíveis cargas da instalação, chegou-se ao quadro de carga mostrado na Tabela 1. Neste quadro são mostradas as cargas da empresa e o detalhamento de cada equipamento.

Tabela 1 – Quadro de cargas da instalação

EQUIPAMENTO		POTÊNCIA(kW)	QUANTIDADE	CARGA TOT.(kW)
MOINHO 15 CV		13,63	1	13,63
MOINHO 10 CV		9,68	1	9,68
MOINHO 20 CV		18,40	2	36,80
MÁQ CHUPETINHA PAVAN		45,50	2	91,00
MÁQ. CHUPETINHA ROMI		47,00	2	94,00
INJETORA ROMI		51,50	2	103,00
INJETORA PAVAN		22,50	1	22,50
AUTO BLOWPLUS		100,00	4	400,00
BOMBA	BOMBA 10 CV	9,68	3	29,04
COMPRESSOR	MOTOR 60 CV	45,00	1	45,00
	MOTOR 40 CV	30,00	1	30,00
	MOTOR 20 CV	18,40	3	55,20
MÁQ. DE ÁGUA GELADA	MOTOR 20 CV	18,40	6	110,40
	MOTOR 3 CV	2,91	6	17,46
ILUM/TOMADA ESCRITÓRIO		30,00	1	30,00
MÁQ. MULTIPET 5000		84,00	2	168,00
CARGA TOTAL INSTALADA = 1.265,53kW				
RAMO DE ATIVIDADE: INDÚSTRIA DE PRODUTOS DE MATERIAIS PLÁSTICOS				
TAB 14/NDU-002, F. DE DEMANDA 85% = DEMANDA TOTAL 1.075kVA				
POTÊNCIA TOTAL DOS TRANSFORMADORES UTILIZADOS = 1.500kVA				

O fator de demanda é encontrado utilizando o enquadramento do ramo da empresa na tabela da NDU-002, que trata da estimativa para o fator de demanda de 85% para empresas do ramo de indústria de produtos de materiais plásticos. Como a demanda encontrada é de



1.075kVA e há uma possibilidade de ampliação de cargas no futuro, é escolhido dois transformadores de modo que a potência destes seja de 1.500 kVA, deixando assim uma previsão de aproximadamente 40%.

Assim, com tais dados de potência, pôde-se escolher os geradores. Neste caso, de acordo com a disponibilidade de potência de grupos geradores já existentes no mercado, a possibilidade de fracionar o investimento, de retirar um para manutenção sem comprometer 100% da geração e o de funcionamento de uma máquina mais próxima das condições nominais, são escolhidos dois geradores de 700kVA de potência que entram em paralelo. O método de chaveamento escolhido é a “Transição em rampa”.

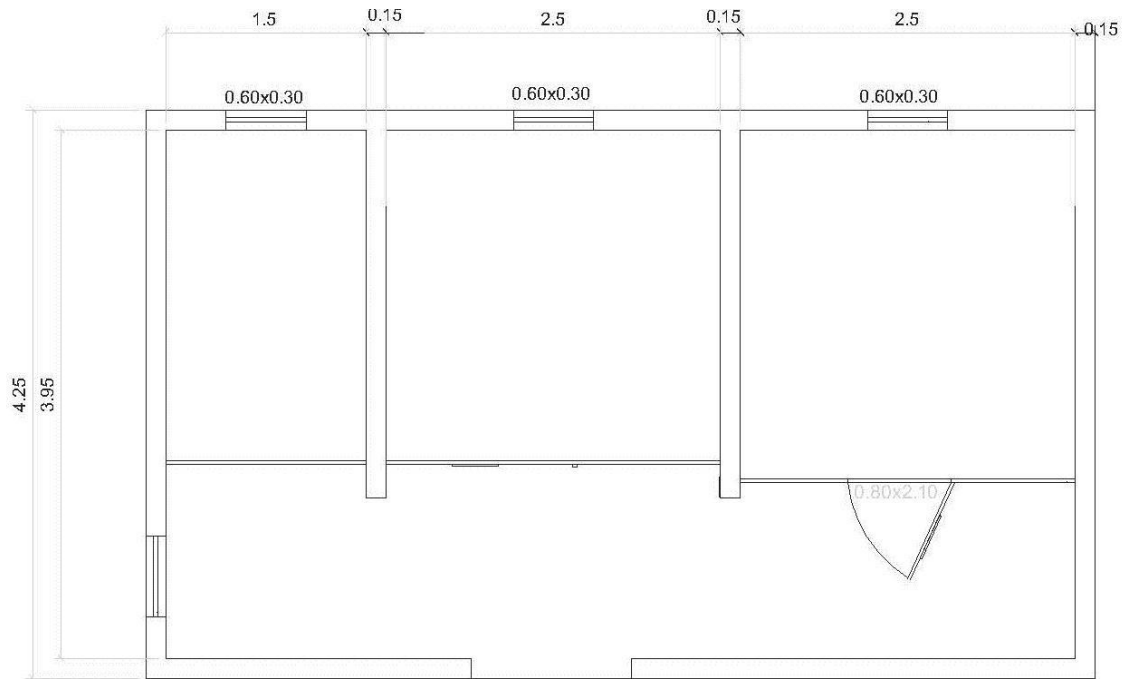
## **4.2 Alvenaria**

Como a subestação possui capacidade instalada superior a 300 kVA, ela obrigatoriamente deve ser do tipo abrigada, conforme a NDU-002. Porém o local da construção possui algumas limitações em relação à espaço, é contruida uma parte da subestação com a medição e proteção, e a outra parte apenas com a transformação. O pé direito é definido em uma altura de 3m por não existir nenhuma viga e ter a entrada e saída de energia subterrânea.

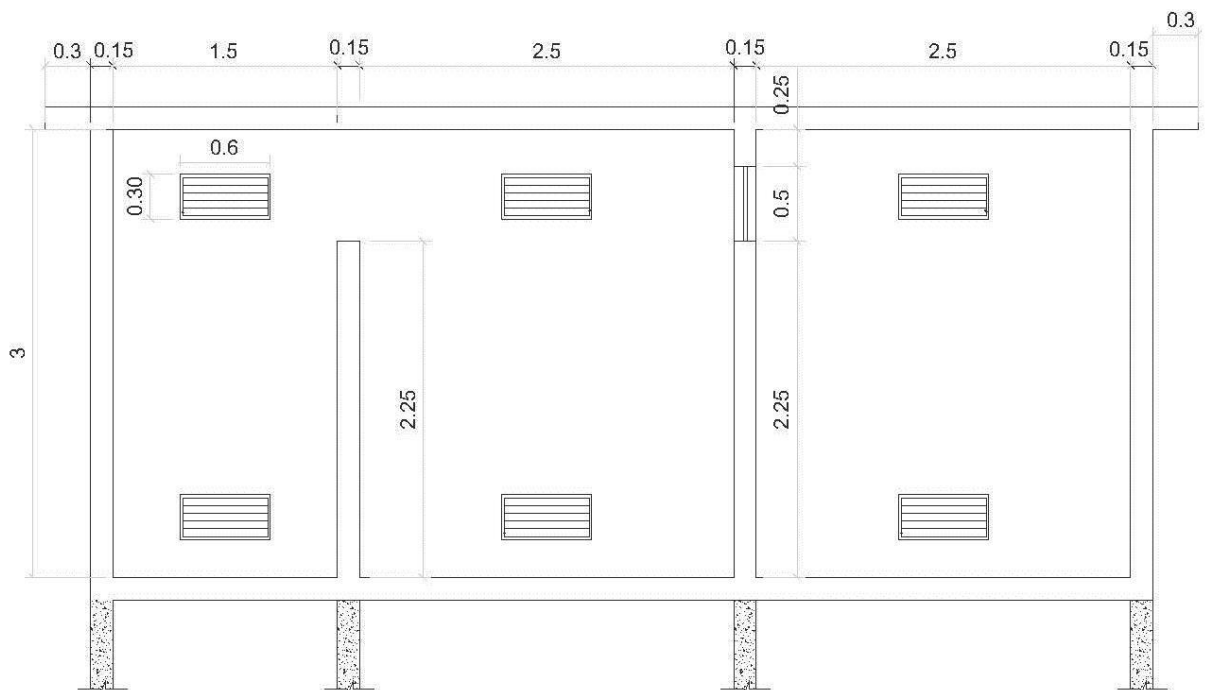
A definição das larguras das portas também seguiram a NDU-002. Assim, as portas internas ficaram com 80 cm de largura, com uma placa indicando “PERIGO DE MORTE – ALTA TENSÃO”. Já as portas externas da subestação de transformação possuem 3,5 m de largura, enquanto que as portas externas da subestação de medição/proteção possuem 1,2 m.

Os cubículos foram isolados com tela de arame galvanizado 12 BWG, com malha de 10mm. Há também seis venezianas para promover a ventilação e ajudar na iluminação. Existe também um extintor de incêndio do tipo Classe – C.

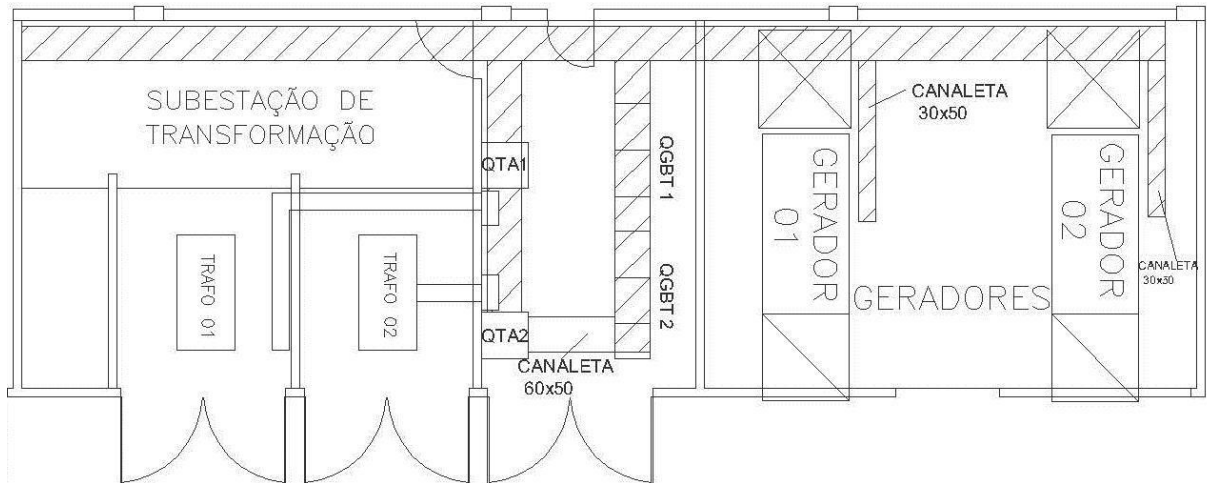
Nas Figuras 1, 2 e 3 há a ilustração da vista superior da medição/proteção, vista lateral e vista superior da parte de transformação, respectivamente.



**Figura 1 – Vista superior da subestação de medição/proteção**

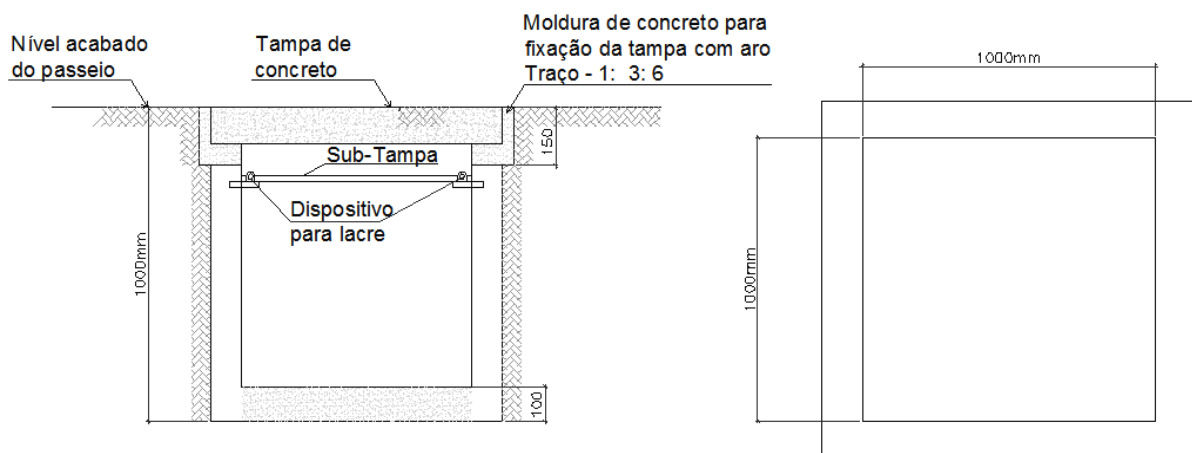


**Figura 2 – Vista lateral da subestação de transformação**



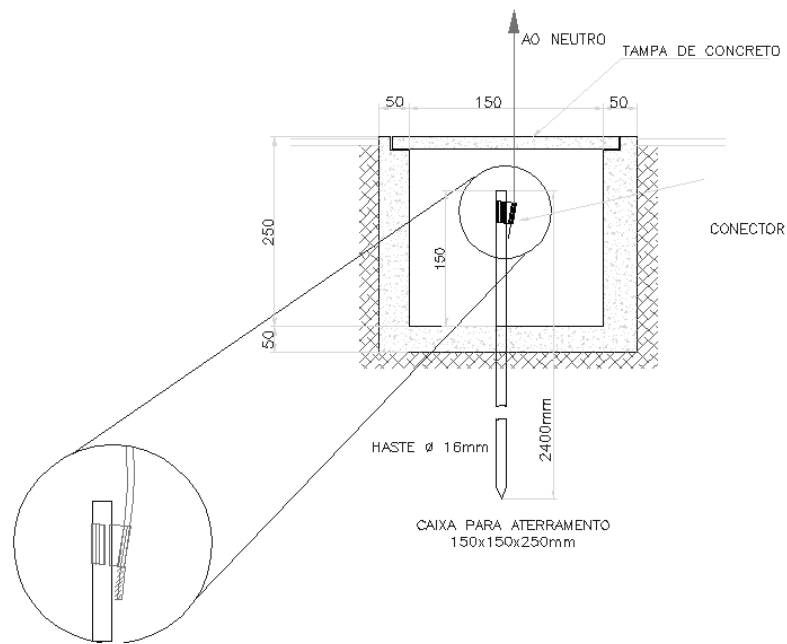
**Figura 3 – Vista superior da subestação de transformação**

Em cada curva que os cabos fazem há a necessidade de utilizar uma caixa de passagem, e estas caixas possuem dimensão de 1000x1000x1000mm. A Figura 4 mostra detalhadamente as caixas.



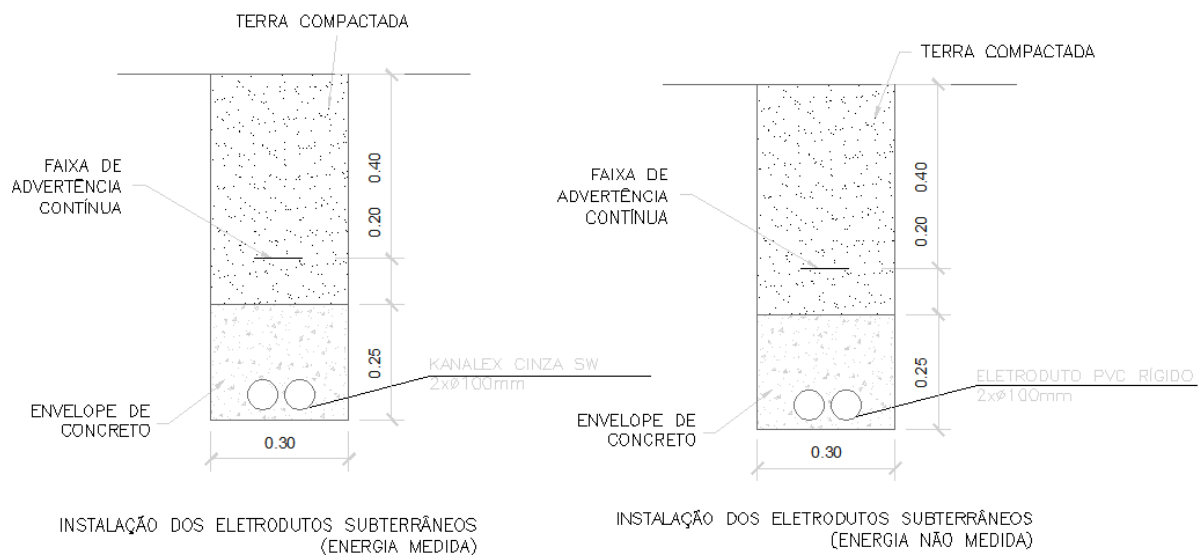
**Figura 4 – Detalhamento das caixas de passagem**

O aterramento também necessita de uma construção especial para seu abrigo. A Figura 5 mostra o detalhamento da caixa de aterramento e em forma ampliada a especificação de como deve ser feita a conexão dos condutores às hastes de cobre.



**Figura 5 – Detalhamento da caixa de aterramento e conexão dos condutores**

Finalizando a parte de alvenaria, é feita uma proteção para o ramal subterrâneo de toda a tubulação, conforme ilustra a Figura 6.



**Figura 6 – Sistema de proteção mecânica dos condutores passando pela terra**

### 4.3 Equipamentos de transformação

Como se trata de uma indústria, a maioria dos equipamentos funcionam em 380V. Assim, a relação de transformação utilizada é 22kV – 380/220V. Por questões de segurança a isolamento do transformador é feita a ar.

A potência demandada pela instalação é de aproximadamente 1.265 kW (conforme Tabela 1) que dividindo pelo fator de 0,92 (fator comumente utilizado para transformar W em VA pela NDU-002) chega-se em 1.375 kVA. Portanto, a potência escolhida para ser disponibilizada pelos transformadores é de 1.500 kVA, garantindo ainda uma folga para o sistema em futuras ampliações. Estes 1.500 kVA é dividido em dois transformadores iguais de 750 kVA ligados em paralelo. Dessa forma, quando a carga estiver baixa, apenas um transformador estará em funcionamento, e quando houver alguma falha em algum dos transformadores a empresa não será paralisada totalmente por falta de energia. Assim foram utilizadas duas unidades de “Transformador à seco 750kVA, 22kV  $\Delta$  – 380/220V Y”. A título de curiosidade o valor de um transformador de 750 kVA com isolamento a óleo gira em torno de R\$ 30.000,00 e com isolamento a seco por volta de R\$ 40.000,00.

## **4.4 Condutores e Eletrodutos**

### **3.4.1 Ramal de ligação e de entrada**

O ramal de entrada de energia é do tipo subterrâneo, sendo assim o ramal de ligação compreende o conjunto de cabos que vão desde o poste até à entrada da subestação de proteção. Neste caso, como a tensão é de 22 kV e a corrente gira em torno de 35 ampères, os cabos utilizados foram “Cabo de cobre 35mm<sup>2</sup>, isolado para 25 kV, com isolamento XLPE e próprio para instalação subterrânea”. Segundo a norma este cabo suporta até uma potência de 5.640kVA. Estes cabos do ramal de entrada foram protegidos por dois eletrodutos de PVC rígido com Ø4, e estes eletrodutos protegidos por concreto. A ligação no poste é por conta da Energisa.

### **4.4.2 Barramento de média tensão**

Como prevê na norma, barramento de 22kV da subestação abrigada é feito em cobre com vergalhão de cobre Ø3/8”. Os vergalhões foram pintados da seguinte forma:

- Fase A: Vermelho;
- Fase B: Branco;
- Fase C: Marrom;
- Neutro: Azul-claro.

O afastamento entre os condutores fase-fase são de 400 mm e entre fase-neutro é de no mínimo 300 mm, conforme determina a norma.

#### **4.4.3 Barramento interno em média tensão**

Para levar energia do ponto de saída do cubículo de medição/proteção até o cubículo de transformação é utilizado o mesmo tipo de barramento do ramal de entrada, ou seja, “Cabo de cobre 35mm<sup>2</sup>, isolado para 25kV, com isolação XLPE e próprio para instalação subterrânea” em instalação subterrânea.

#### **4.4.4 Barramento baixa tensão**

Como a saída dos transformadores é do tipo subterrânea, o cabos de baixa tensão possuem isolamento 0,6/1kV XLPE. Utilizando também as orientações da NDU-002 é utilizado um ramal trifásico com 4x240mm<sup>2</sup>/fase,-0,6/1kV XLPE, 90°C preto e neutro com 4x150mm<sup>2</sup>/NEUTRO-0,6/1kV, XLPE, 90°C, azul.

Este barramento de baixa tensão sai do transformador e alimenta o QTA (Quadro de Transmissão Automática) e posteriormente o QTA alimenta os QGBT's (Quadro Geral de Baixa Tensão) e com isso todos os setores da indústria são energizados.

### **4.5 Medição**

Para fazer a medição em média tensão, a concessionária forneceu três transformadores de potencial (TP) de relação  $22.000/\sqrt{3} - 115V(110:1)$  com isolação para 25kV e três transformadores de corrente com relação 100-5 com isolação para 25kV. A Energisa instalou também um medidor trifásico eletrônico de energia ativa, reativa, demanda e uma chave de aferição.

Nas Figuras 7 e 8 estão representadas as vistas lateral e frontal da instalação na subestação relacionadas com a medição.

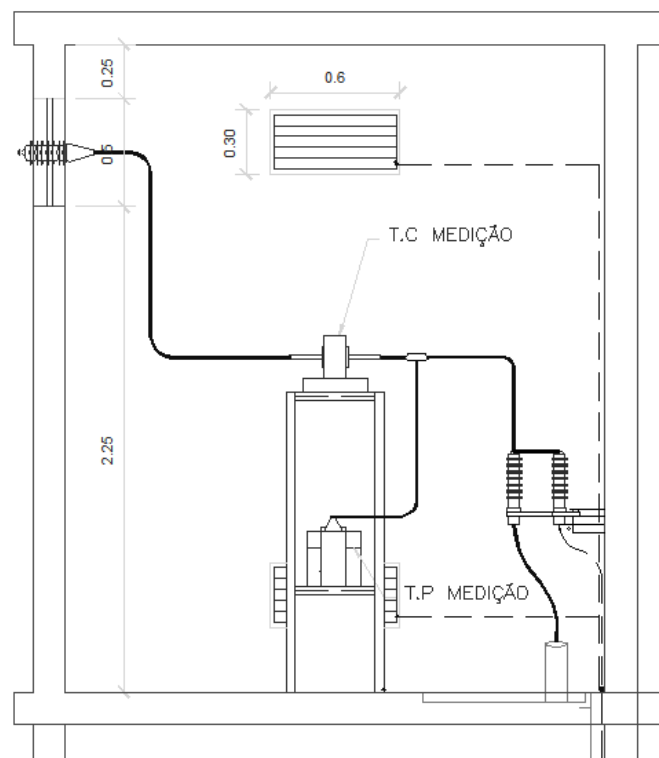


Figura 7 – Vista lateral da área de medição na subestação de proteção/medição

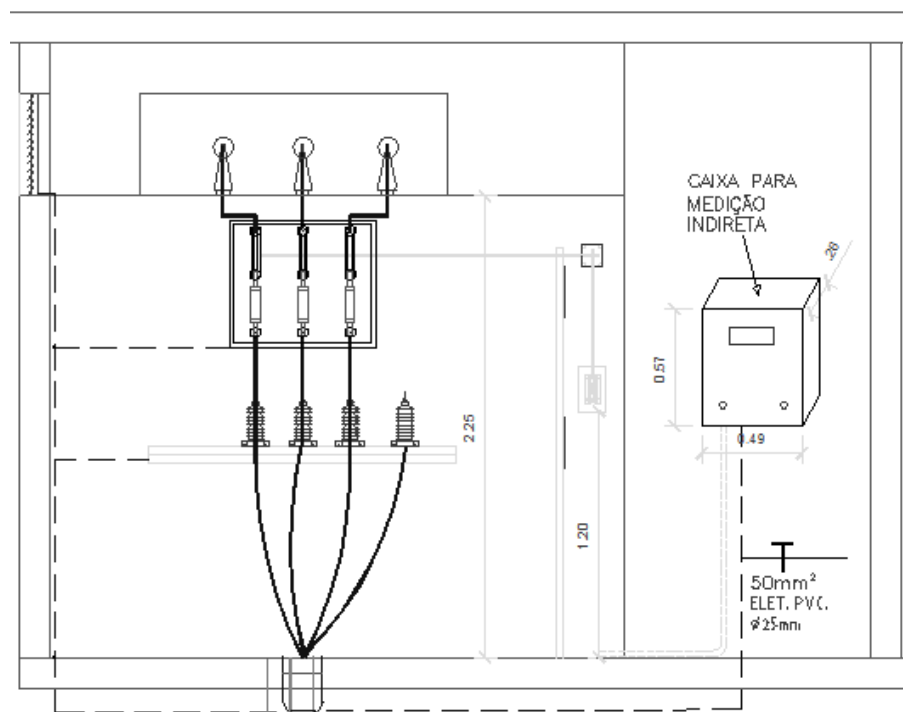


Figura 8 - Vista frontal da área de medição na subestação de proteção/medição

## 4.6 Proteção e manobra

### 3.6.1 Proteção Sobrecorrente

Devido ao fato da carga ser superior a 300 kVA, a proteção geral é secundária, feita por um disjuntor à vácuo, classe 25kV, 630 A. Este valor é escolhido de acordo com a corrente nominal de funcionamento e com valores da corrente de curto circuito. Maiores detalhes serão mostrados no coordenograma, 350 MVA, acionamento automático com bobina aberta em 220 V. Este disjuntor possui as funções 50 (relé de sobrecorrente instantâneo) e 51 (relé de sobrecorrente temporizado CA). Na Figura 9 está representada a localização do disjuntor no cubículo de proteção.

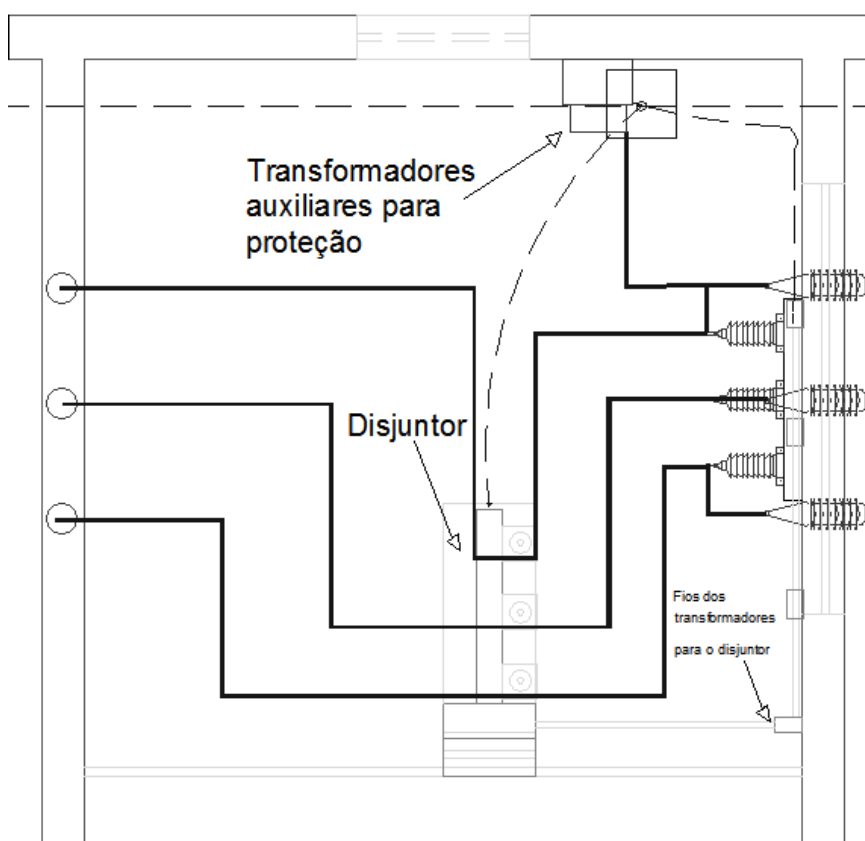


Figura 9 – Localização do disjuntor na subestação de medição/proteção



Como a subestação é abrigada, é instalada uma chave seccionadora tripolar simultânea 25kV, 400A, abertura sob carga com base fusível do tipo HH, 25kV, 40-63A.

Há também uma caixa metálica composta por “No-Break” relé digital Pextron 7104 para acionamento do disjuntor geral classe 25 kV trifásico.

#### **4.6.2 Proteção de Sobretensão**

Para proteção contra sobretensão é feito o uso de para-raios poliméricos 22kV/10kA. Estes foram instalados nas terminações de entrada e saída da subestação de proteção/medição e também na entrada da subestação de transformação.

Os condutores de ligação dos para-raios com o aterramento foram de cobre nú com seção de 50mm<sup>2</sup> com jumper individual para cada para-raios.

#### **4.6.3 Proteção de Subtensão ou Falta**

A proteção contra falta de tensão e subtensão é feita no circuito secundário e, especialmente, junto dos motores elétricos ou outras cargas. Esse fato se dá, pois pela NDU-002 não se permite que o disjuntor geral seja equipado com "bobina de mínima tensão" ou dispositivos semelhantes.

#### **4.6.4 Sistema de Aterramento**

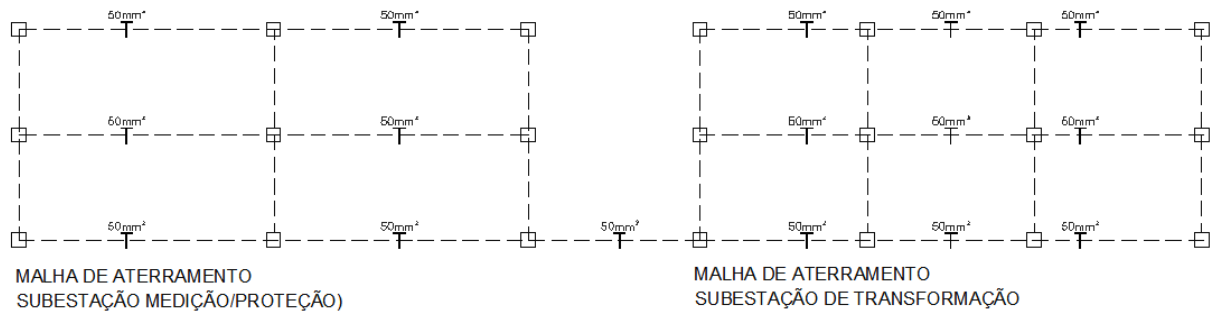
Todas as ligações de condutores são feitas com conectores tipo terminal cabo-barras (GTDU), e fazendo o uso de massa calafetadora em todas as conexões do aterramento. As hastes utilizadas são cobreadas, e seu comprimento de 2,4m, com distância entre elas de 3 metros. A interligação de todo o circuito de aterramento e sua ligação ao neutro é feita com cabo de cobre nu com seção de 50mm<sup>2</sup>, onde todos os requisitos citados anteriormente são exigências da NDU-002 para fazer um aterramento.

Todas as ferragens, tais como, tanques dos transformadores, disjuntores e telas, foram ligados ao sistema de terra com cabo de cobre nu 50mm<sup>2</sup>. O cabo de aterramento foi cuidadosamente inspecionado para garantir que fosse contínuo, nu e sem emendas. O neutro do sistema secundário foi diretamente interligado à malha de aterramento da unidade consumidora e ao neutro dos transformadores.

O valor da resistência de aterramento apresentada pela malha de terra é inferior a 10  $\Omega$  em nenhuma das medições realizadas. Após um breve levantamento das características da

instalação, chegou-se no número de 9 hastes para a malha de aterramento da SE de medição/proteção e de 12 hastes para a SE de transformação e as duas interligadas entre si. Estes valores foram dimensionados a partir dos mínimos exigidos pela norma que no caso são 9 hastes. Com 21 hastes há uma maior garantia de um bom aterramento do sistema e uma garantia de poucas falhas por falta de aterramento.

Na Figura 10 é representado o modelo da malha de aterramento.



**Figura 10 – Malha de aterramento completa da subestação**

#### 4.6.5 Extintor de Incêndio e Placas de Advertência

Para garantir a proteção da subestação contra possíveis focos de incêndio, há um extintor de incêndio de pó químico com capacidade de 6 Kg. Ao seu lado foi colocada uma placa de advertência para identificação do mesmo. Outras placas sobre perigo de morte e sobre o perigo de abertura de chave seccionadora também foi deixada em locais visíveis.

### 4.8 Dispositivos e Equipamentos Auxiliares

#### 4.8.1 Muflas

Foi dimensionado muflas a contráteis frio 25kV para uso externo para cabo isolado de cobre e 35mm<sup>2</sup>. As muflas terminais estão todas ligadas à malha de terra.

#### 4.8.2 Isolação

Abaixo de cada chave seccionadora há um tapete isolante com isolação para 25kV.

### 4.8.3 Iluminação

Para a iluminação da subestação foi utilizado luminárias tipo tartaruga instaladas a 2 m de altura do piso. Para garantir uma iluminação segura, foi instalado ao lado das luminárias tartaruga luminárias de emergência para atuarem nos momentos de falta de energia.

### 4.8.4 Suporte para Muflas e Para-raios

Para fazer a fixação das muflas e para-raios foi necessário projetar um suporte em metal. Na Figura 11 mostra em detalhe o suporte criado para esta função.

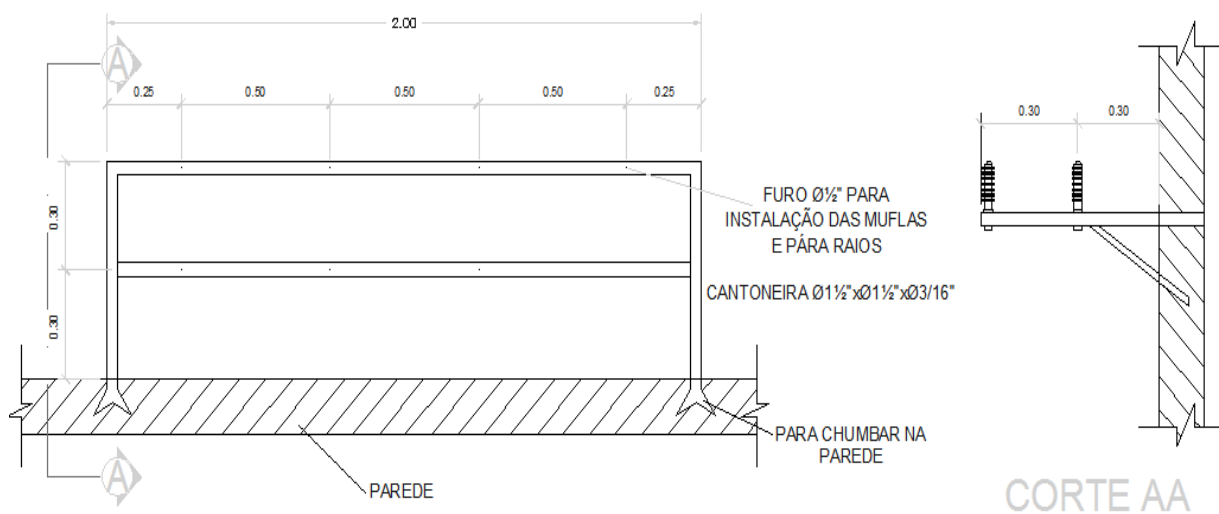


Figura 11 – Detalhamento do suporte para muflas e para-raios

## 4.9 Interligação com o poste

O poste utilizado é do tipo circular com 11 m de altura e com resistência mecânica de 300 daN. No próprio poste há um fusível limitador de corrente HH 25kV, 40A-63kA em cada fase. A Figura 12 mostra os detalhes da ligação no poste dos cabos em questão.

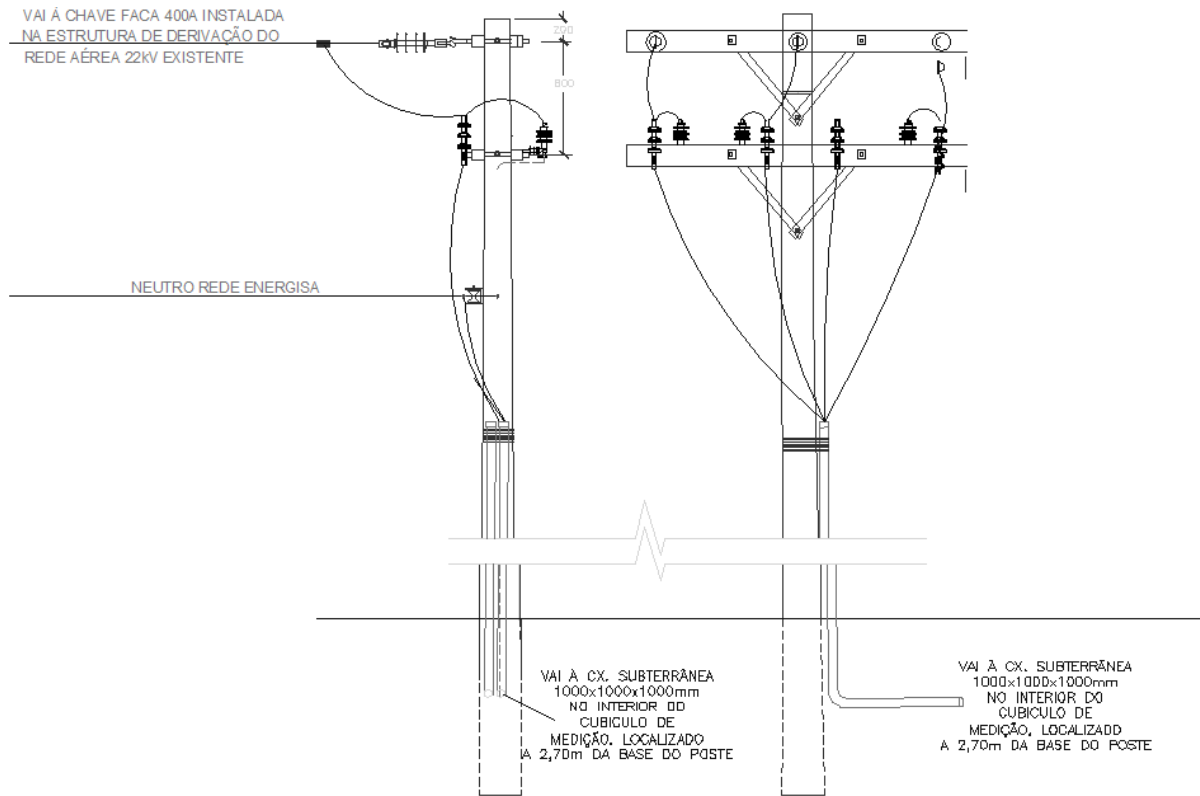


Figura 12 – Detalhamento das características de ligação no poste

#### 4.10 Diagrama Unifilar

Na Figura 13 está representado o diagrama unifilar da subestação de proteção/medição.

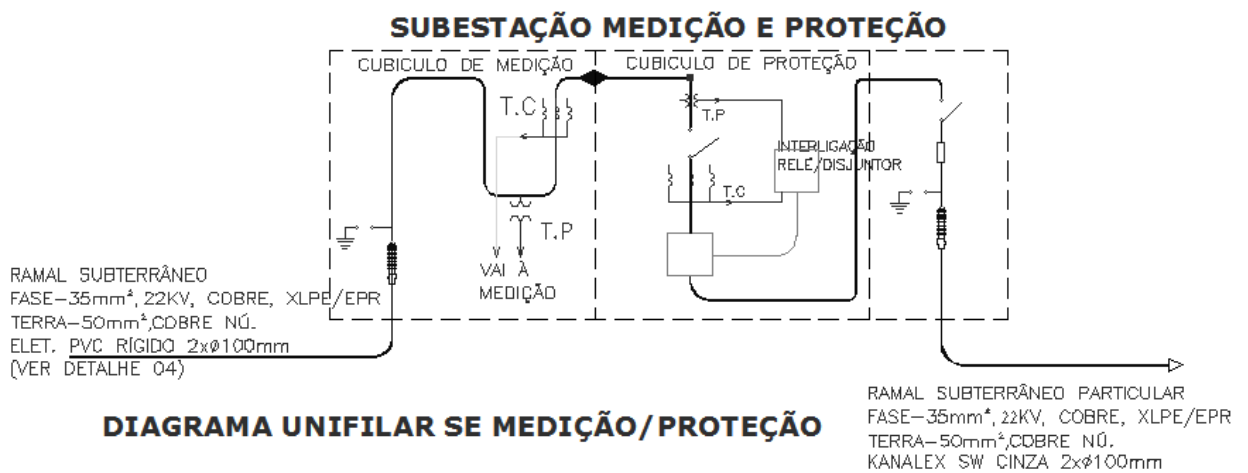


Figura 13 – Diagrama unifilar da subestação de medição/proteção

Na Figura 14 está representado o diagrama unifilar da subestação de transformação.

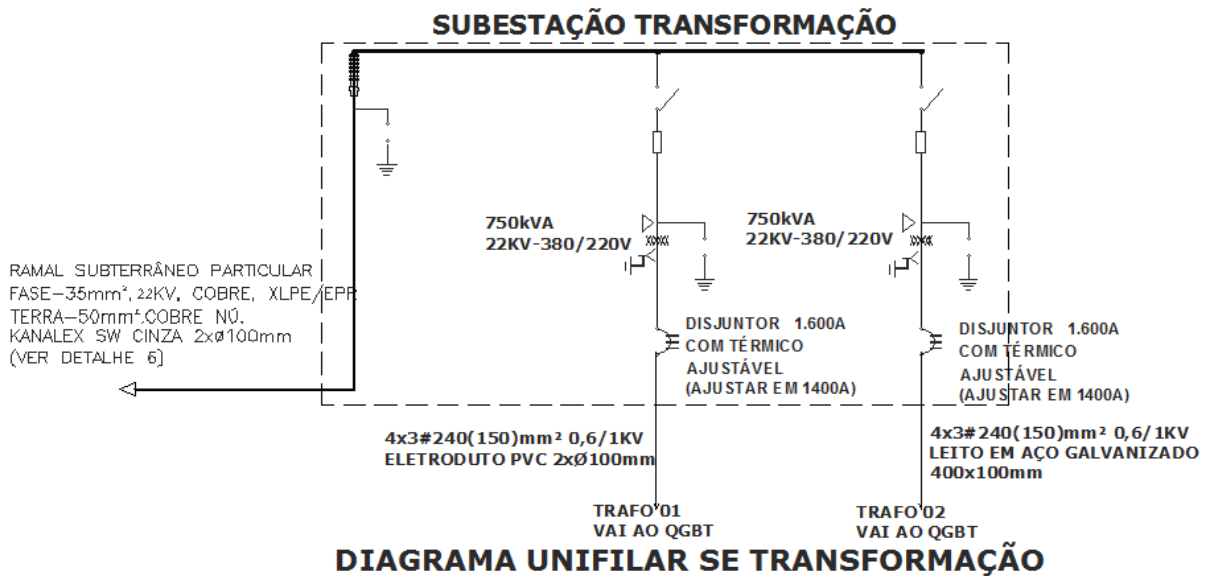


Figura 14 – Diagrama unifilar da subestação de transformação

#### 4.11 Situação de Implantação

A Figura 15 mostra a planta de situação das instalações elétricas pertinentes à subestação em questão.

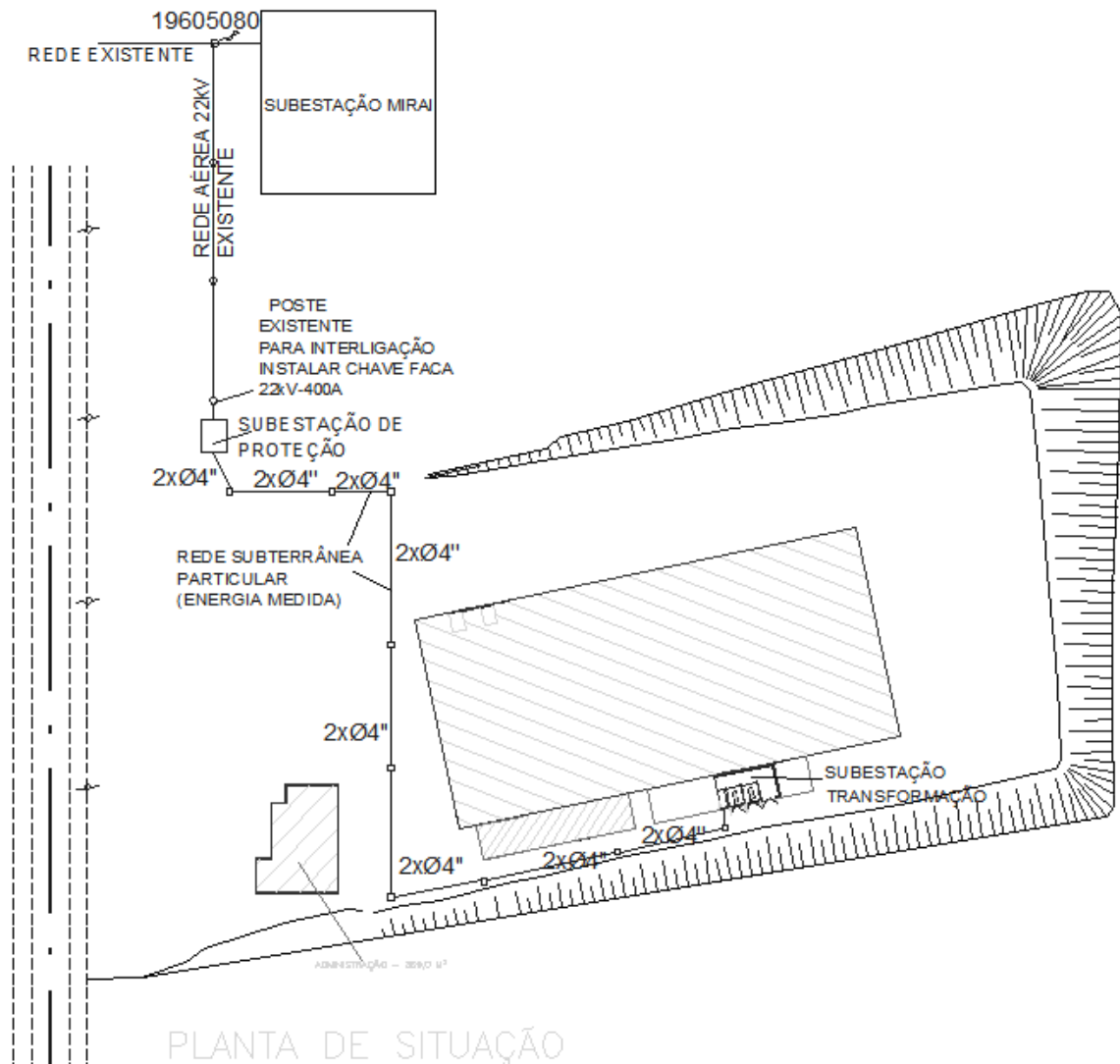


Figura 15 – Planta de situação

## 4.12 Coordenograma - Ajuste para Proteção Secundária

### 4.12.1 Premissas

Este tópico denominado Coordenograma, nada mais é do que o diagrama de coordenação da subestação da Indústria em questão. A subestação em estudo é suprida em 22 kV, com medição instalada a 03 elementos, pelo sistema Energisa.

Os dois transformadores de 750 kVA instalados, são destinados a atender a potência contratada de 690 kW pelas instalações.

O alimentador da Energisa é interligado à barra de 22 kV, através de um disjuntor. Um sistema de proteção com relé de sobrecorrente do tipo URPE-7104 da Pextron é instalado no alimentador de 22 kV.

Na estrutura de derivação do sistema Energisa será feita a substituição das chaves fusíveis por chaves faca 400A.

## 4.12.2 Cálculo de Ajuste da Proteção Secundária

### 4.12.2.1 Dados da corrente de curto-circuito no ponto de derivação

A corrente de curto circuito fornecida pela Energisa ( $I_{cc} 1\Phi$ ) é de 2856 A.

Nota: O fator de potência a ser considerado será de 0,92.

### 4.12.2.2 Cálculo das correntes nominais ( $I_n$ ) e de partida ( $I_p$ ) do relé secundário

A corrente nominal ( $I_n$ ) e a corrente de partida do relé ( $I_p$ ) devem ser calculadas a partir da demanda contratada e considerando o fator de potência de 0,92.

$$I_n = \frac{P(kW)}{\sqrt{3}V \cos \phi} = \Rightarrow I_n = 19,68 \text{ A}$$

$$I_p = 1,25 I_n \quad \Rightarrow \quad I_p = 24,6 \text{ A}$$

### 4.12.2.3 Cálculo da corrente de magnetização dos transformadores ( $I_m$ ):

Para fazer o cálculo da corrente de magnetização dos dois transformadores, é utilizado as seguintes relações matemáticas:

$$I_m = 8I_{n1} + I_{n2}$$

Onde  $I_{n1-2}$  são as correntes dos transformadores de 750 kVA.

$$I_{n1-2} = \frac{P(kVA)trafo}{\sqrt{3}xV} = \frac{750}{\sqrt{3}x22} \Rightarrow \boxed{I_{n1-2} = 19,68A}$$

Logo:

$$I_m = 8x(19,68) + 19,68 \quad \Rightarrow \quad I_m = 177,12 \text{ A} \quad \text{para } t=0,1\text{seg.}$$

Obs.: O tempo de 0,1seg é determinado pela NDU-002 como o tempo em que a corrente de magnetização atinge o valo  $I_m$  em sua partida.

#### 4.12.3.4 Cálculo do ponto ANSI dos transformadores

O ponto ANSI é o máximo valor de corrente que um transformador pode suportar durante um período definido de tempo sem se danificar. Abaixo está indicado os valores de tais correntes.

$$I_{ansi} = 20I_n \Rightarrow I_{ansi}_{750kVA} = 20 \times 19,68 \Rightarrow \boxed{I_{ansi}_{750kVA} = 393,6A}$$

$$I_{nansi} = 0,58I_{ansi} \Rightarrow I_{nansi}_{750kVA} = 0,58 \times 393,6 \Rightarrow \boxed{I_{nansi}_{750kVA} = 228,29A}$$

#### 4.12.3.5 Cálculo da Corrente Instantânea de Ajuste do Relé

Para o cálculo da corrente instantânea de ajuste do relé é utilizado a seguinte equação.

$$I_{inst} = 1,067 \times 177,12 \qquad I_{inst} = 188,98$$

#### 4.12.3.6 Ajuste do Relé

As funções 50N e 51N foram ajustadas em 30% das respectivas 50 e 51. Estes ajustes estão de acordo com a exigência da NDU-002 para tais tipos de funcionalidades do relé.

#### 4.12.3.7 – Parametrização do Relé Secundário ( Modelo URPE-7104)

Para fazer a parametrização do relé de fato, os dados de entrada devem ser configurados com os valores da Tabela 2.



Tabela 2 – Parâmetros calculados para o relé

Relação do TC	150/5 = 30	
	FASE	NEUTRO
$I_p$	24,6 A	7,38 A
Curva	EI	EI
Dial Time(DT)	0,1 s	0,1 s
$I_{def}$	600 A	300 A
$T_{def}$	240 s	240 s
$I_{inst}$	188,98 A	56,69 A

Através de tais dados, e do conhecimento prévio do relé, chega-se à curva de atuação do relé, representada na Figura 16. Vale ressaltar que para encontrar esta curva de atuação foram levadas em conta as correntes de magnetização, ANSI, Nominal, Partida e de atuação das funções 50 e 51 do relé. Assim foi enquadrada a atuação no relé de acordo com a curva de atenuação característica do equipamento.

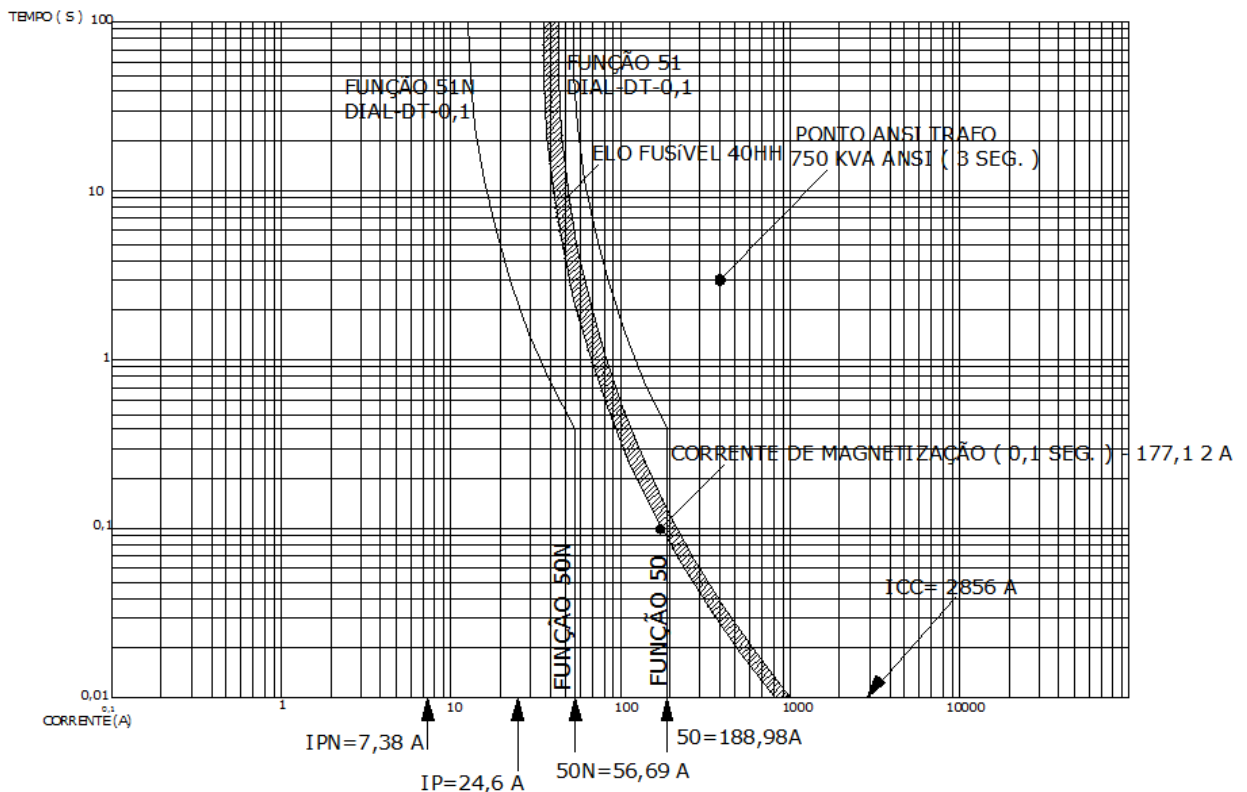


Tabela 16 – Curva de atuação do relé de proteção

#### 4.12.3.8 Dados de configuração exigidos pela Energisa

O coordenograma da empresa com transformadores em questão foi aprovado com os seguintes ajustes exigidos pela Energisa, dados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros ajustados pela Energisa para o relé

Nome da Função	Ajustes
RTC	30
I ajuste de fase (A)	35, 30A
Curva de fase	EI
Dial de tempo para fase	0,1
I ajuste instantâneo de fase (A)	188,98A
I ajuste de terra	10,59A
Curva de terra	EI
Dial de tempo para fase	0,1
I ajuste instantâneo de terra (A)	56,69A

#### 4.12.3.9 Conclusão do coordenograma

Ao analisar a coordenação de proteção, constata-se que o sistema de proteção em questão atende aos atributos de seletividade, sensibilidade, rapidez e discriminação exigidas pela Energisa.

#### 4.13 Geradores

Como a potência dos dois transformadores somadas chega ao valor de 1.500kVA, os geradores devem chegar próximo de tal valor. Neste caso foi escolhido utilizar dois geradores de 700 kVA, 380 V, 966 A, 60 Hz, 1800 rpm e fator de potência de 0,8 (fator de potência este que é gerado pela indutância dos enrolamentos do alternador, e normalmente é encontrado nos geradores mais famosos do mercado). Esta escolha se deu, pois com dois geradores em paralelo há a possibilidade de em alguns momentos apenas um gerador entrar em

funcionamento, e assim nas manutenções e quebras o sistema não ficará totalmente parado. Além disso, o proprietário da indústria poder fracionar o investimento em tais equipamentos.

Na saída dos geradores foi utilizado o mesmo perfil de cabos da saída dos transformadores em baixa tensão, ou seja, 4x240mm<sup>2</sup>/fase,-0,6/1kV XLPE, 90°C preto e neutro com 4x150mm<sup>2</sup>/NEUTRO-0,6/1kV, XLPE, 90°C, azul. E estes cabos são interligados no QTA.

Para fazer o chaveamento entre a energia da rede elétrica e o gerador é necessário conhecer as necessidades específicas do cliente. Neste caso, o chaveamento direto não é interessante, pois há alguns equipamentos no processo de fabricação que não podem ter faltas momentâneas de energia. Com isso a estratégia de chaveamento foi a de “Transição em Rampa”.

Como a transição em rampa coloca no mesmo barramento a energia da rede e do gerador por alguns instantes de tempo, é necessário que se configure o relé de proteção da subestação de proteção para que não haja fluxo de potência no sentido do gerador para a rede. Há, portanto, a necessidade de fazer a inserção de um sistema com um relé de direcional de potência, equipamento este que não permite que haja uma injeção de energia do gerador na rede no momento do chaveamento.

Finalmente para atuar na diminuição do ruído gerado foi instalado um redutor de ruídos nos geradores. Na Figura 17 está representado o gerador utilizado e na Figura 18 está representado o redutor de ruído que foi acoplado ao gerador.



**Figura 17 – Grupo gerador a diesel de 700kVA**



**Figura 18 – Redutor de ruído para geradores a diesel**

#### 4.14 Diagrama funcional da subestação

Abaixo é representado o diagrama funcional das subestações de medição/proteção e da transformação, nas Figuras 19 e 20 respectivamente. Este é o diagrama dos principais equipamentos que são utilizados na subestação.

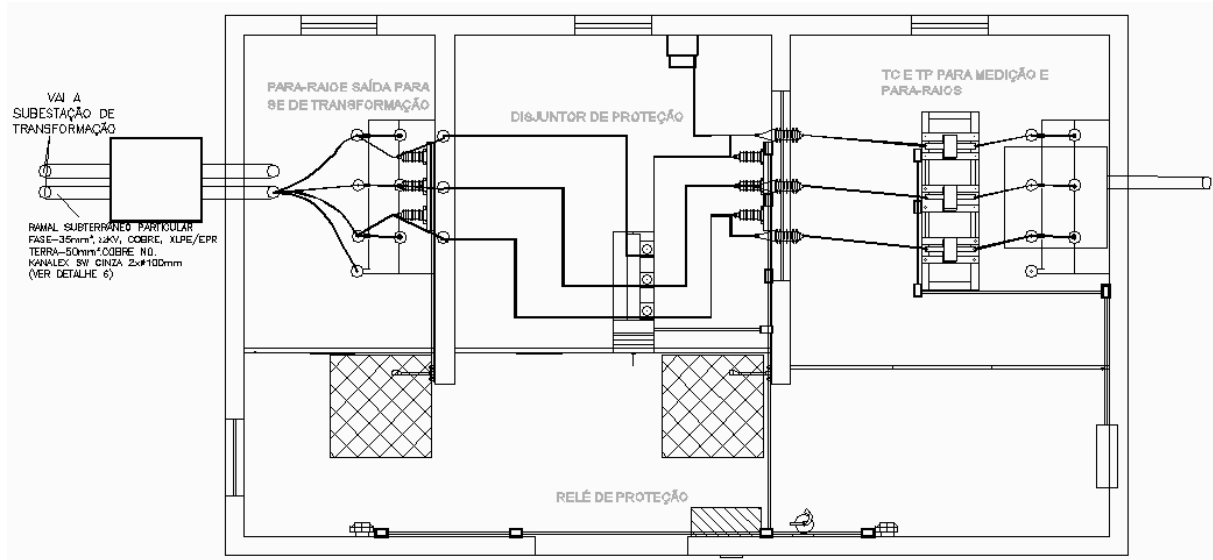


Figura 19 – Diagrama funcional da SE de medição/proteção

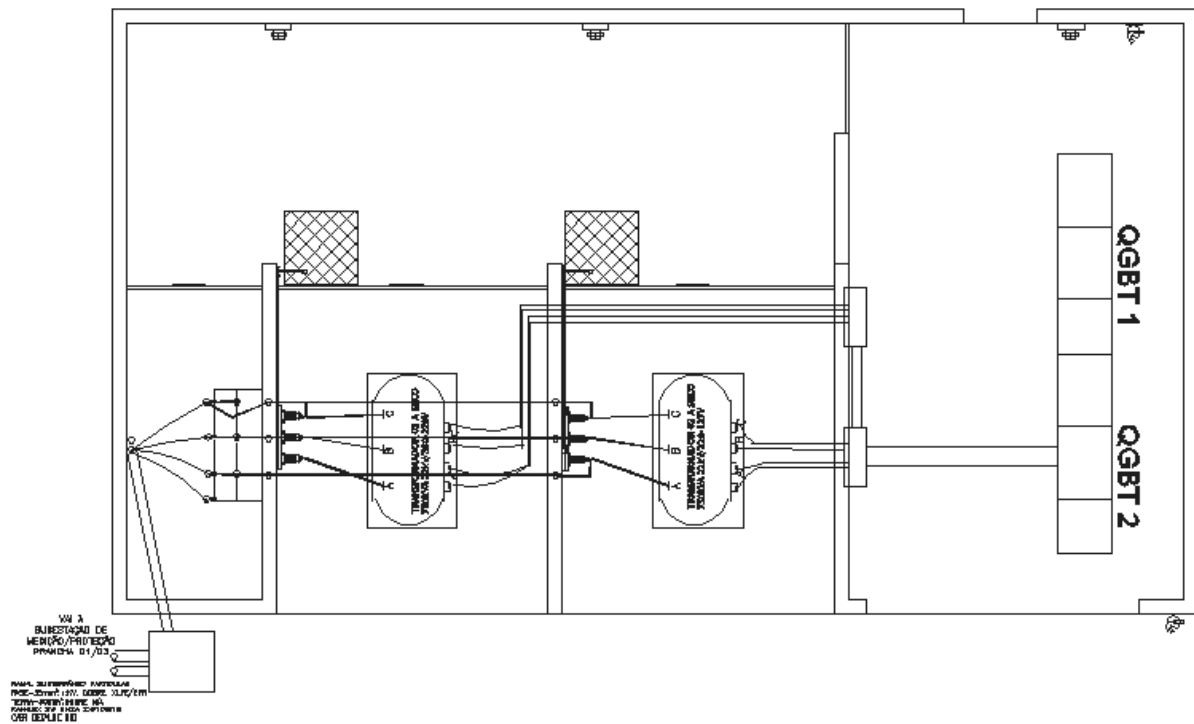


Figura 20 – Diagrama funcional da SE de transformação

## ***5 Conclusão***

Após a conclusão dos estudos relacionados a este trabalho, pôde-se perceber que o dimensionamento dos componentes e materiais foi atendido perfeitamente tomando como base os conhecimentos prévios sobre a construção de subestações e a NDU-002. Foi possível perceber também que todos os componentes deste sistema possuem um padrão, ou seja, ao fazer a interligação de tais componentes há um casamento perfeito dos itens em questão.

Com os dados encontrados no dimensionamento prévio da subestação, foi possível de fato iniciar o desenho do projeto elétrico utilizando o software Autocad®. Assim o desenho do projeto foi concluído com base em conhecimentos prévios sobre o software, projetos semelhantes desenhados anteriormente e dados e desenhos fornecidos pela NDU-002.

Utilizando os dados do dimensionamento, a corrente de curto circuito do circuito da rede primária, algumas características dos equipamentos e as orientações presentes na NDU-002, foi possível fazer o coordenograma para poder configurar o relé de proteção secundária da subestação. Estes dados presentes no coordenograma foram colocados em um arquivo separado e levado à Energisa para aprovação da configuração do relé secundário de acordo com os padrões exigidos pela companhia.

Para alimentar a indústria nos horários de ponta de energia e nos momentos de falta, foi dimensionado dois geradores a diesel de 700kVA cada um. Estes geradores estão dimensionados para funcionarem em paralelo, e assim melhorar o rendimento de cada gerador, pois o QTA controla o acionamento dos geradores de modo a deixa-los trabalhando próximo às suas condições nominais de funcionamento. Como a indústria pode ser totalmente operada pelos geradores, conclui-se que o dimensionamento destes equipamentos está dentro dos requisitos de projeto.

Comparando todos os objetivos específicos deste trabalho com os resultados obtidos, conclui-se que todos foram atingidos da melhor forma possível. Uma prova de que este trabalho está de acordo com os padrões foi o fato de a Energisa, através de sua comissão de aprovação de projetos, liberarem a energização da subestação e assim colocar toda a indústria em funcionamento.

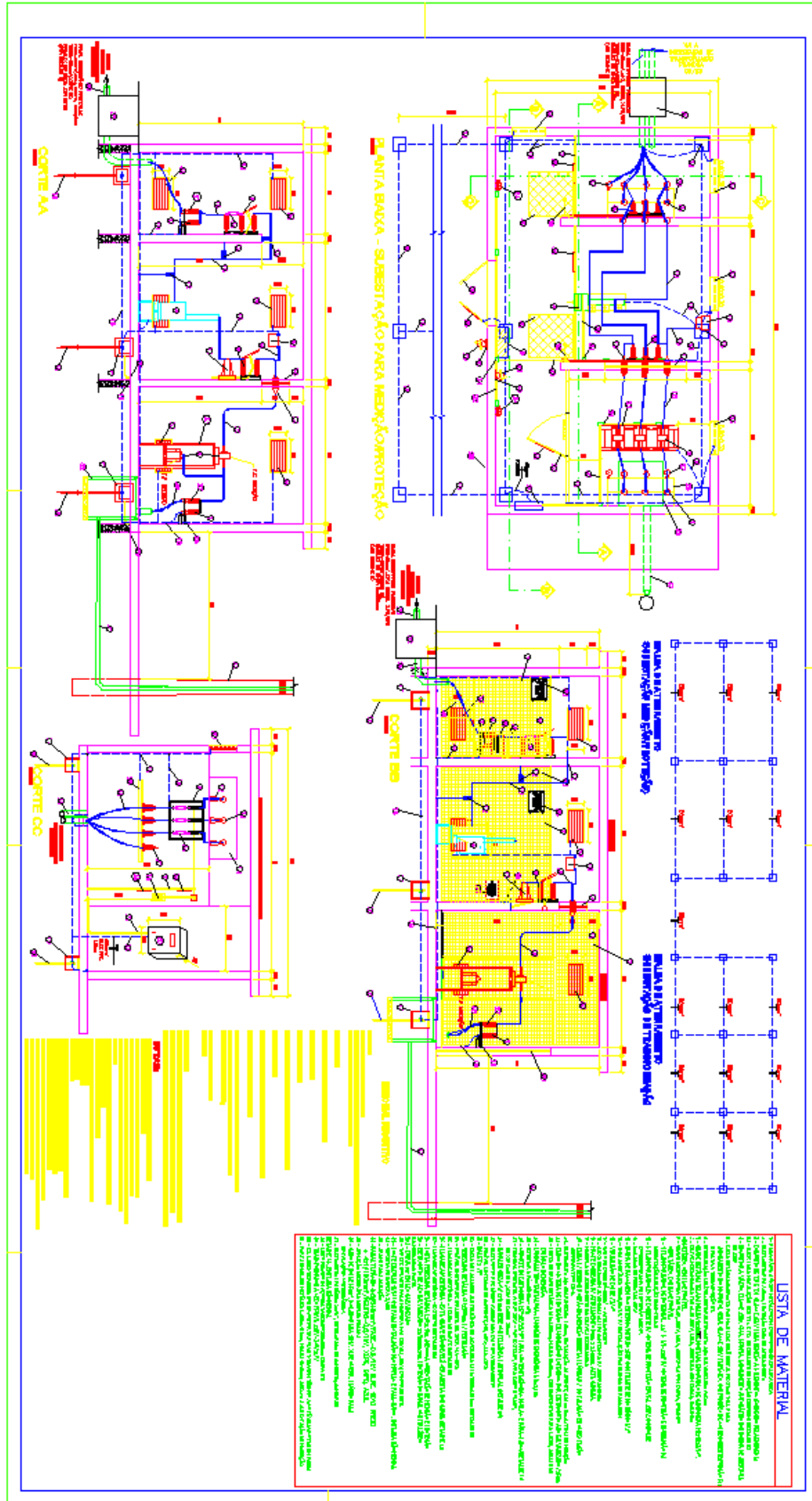
## ***Referências Bibliográficas***

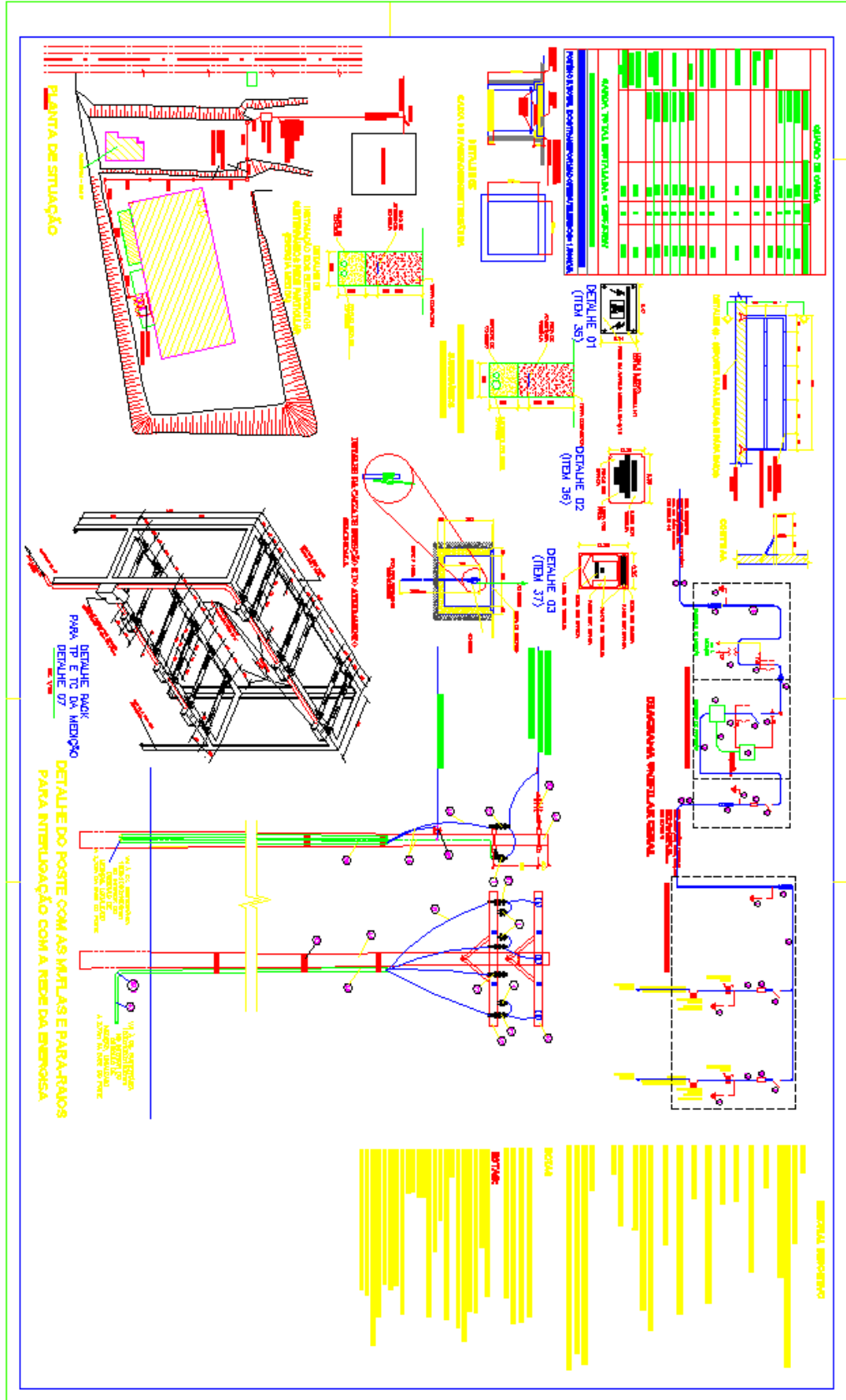
- [1] MAMEDE, J. - "Sistemas Elétricos Industriais" - 5ª edição, LTC - Livros Técnicos e Científicos Ltda, Rio de Janeiro, 1997;
- [2] SOUZA, L.F.W. – “Apostila do Curso de Subestações da Universidade Federal Fluminense – UFF”;
- [3] STEVENSON, W.D. – “Elementos de Análise de Sistemas de Potência” – Editora McGraw Hill do Brasil Ltda, São Paulo, 1974;
- [4] ENERGISA – Norma de Distribuição Unificada – NDU-002, “FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM TENSÃO PRIMÁRIA”, 2014
- [5] CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA. “SUBESTAÇÕES: TIPOS, EQUIPAMENTOS E PROTEÇÃO”. Disponível em <http://www.uff.br/lev/downloads/apostilas/SE.pdf>. Novembro de 1999.
- [6] CHAPMAN S.J., 2000, “MÁQUINAS ELÉTRICAS”, 3 ed., McGraw-Hill, Inc., Colombia.
- [7] KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário.” ATERRAMENTO ELÉTRICO”. 3ª edição. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto Editores. 1995.
- [8] KINDERMANN, G. “PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA”. 2ª Edição. Florianópolis: Edição do Autor. 2005.
- [9] Página da internet acessada dia 15 de maio de 2016: “[www.tecnogeradores.com.br/blog/qual-funcao-de-um-quadro-de-transferencia-automatico/](http://www.tecnogeradores.com.br/blog/qual-funcao-de-um-quadro-de-transferencia-automatico/)” .
- [10] Página da internet acessada dia 15 de maio de 2016: “<http://www.perfectum.eng.br/energia/ATS.html>”.
- [11] NBR 14039, “Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV”. 2003.
- [12] MCDONALD, JOHN D., “Electric Power Substations Engineering”.
- [13] SOUSA, JORGE NEM SIO, “Transformadores de Corrente”.
- [14] SOUSA, JORGE NEM SIO, “Transformadores de Potencial”.

[15] NBR 13248.

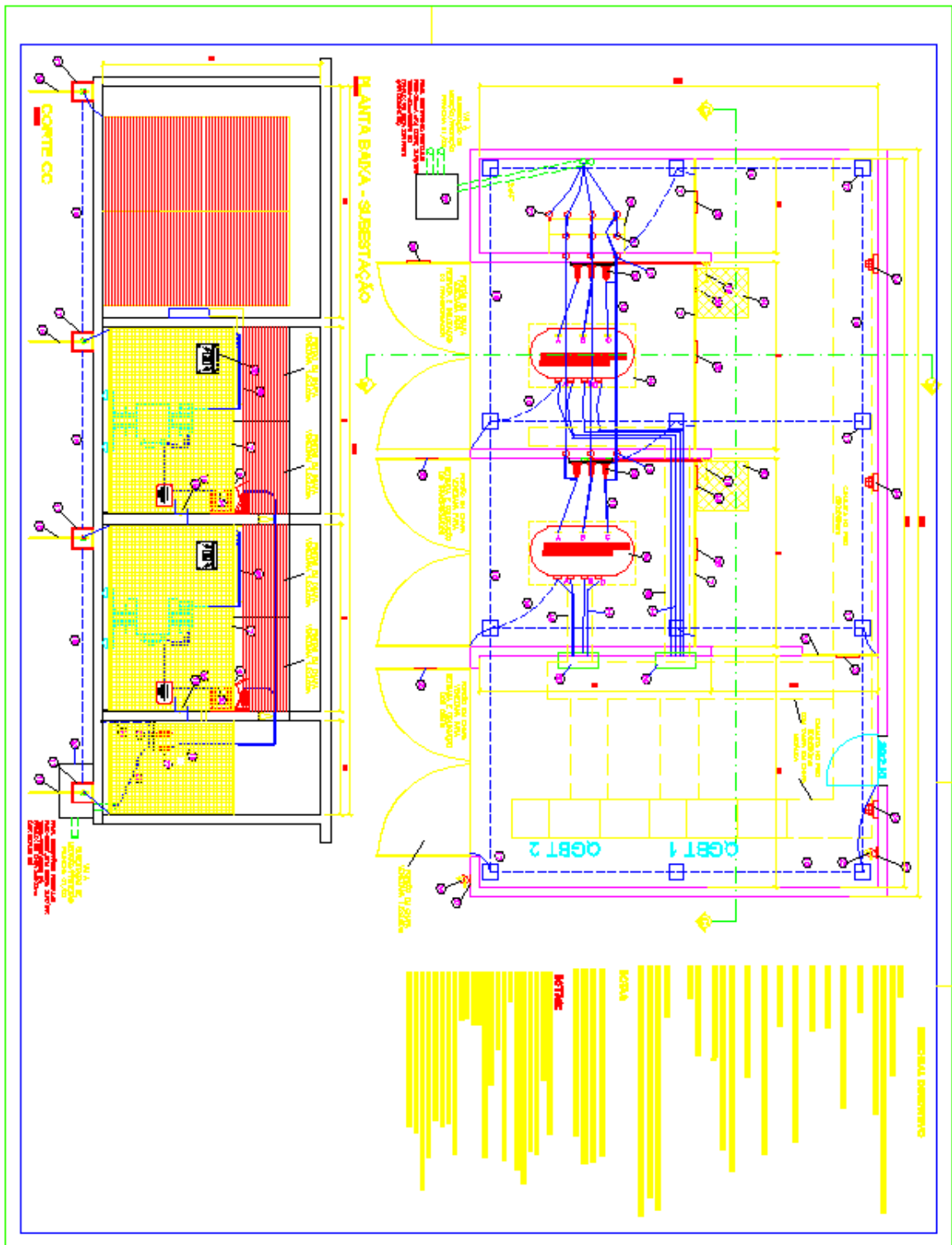


# Apêndice – Pranchas do projeto





PRANCHA 2/3



PRANCHA 3/3