



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

## **RELATÓRIO DE ESTÁGIO CURRICULAR**

**EMPRESA: CONTROL CONSTRUÇÕES LTDA.**

**ALUNO: ARTHUR DANTAS PEREIRA**  
**ORIENTADOR: LUÍS REYES ROSALES MONTERO**

Campina Grande  
Setembro 2012

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica

## **RELATÓRIO DE ESTÁGIO CURRICULAR**

*Relatório de Estágio apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento parcial às exigências para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.*

Campina Grande  
Setembro 2012

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica

## **RELATÓRIO DE ESTÁGIO**

Data da aprovação: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Luís Reyes Rosales Montero

---

Prof. Convidado

UFCG

Avaliador

Campina Grande

Setembro 2012

## **Agradecimentos**

*Agradeço a Deus sempre, pela fé que motiva minha vida. Aos meus pais, irmãos e toda família que, com muito carinho e apoio, dedicaram sua confiança para essa conquista da etapa da minha vida. A toda a equipe da Control Construções Ltda. pela parceria no aprendizado e qualificação para assumir minha vida profissional. Dedico essa conquista a todos os professores do curso, em especial ao professor Dr. Luís Reyes Rosales Montero, orientador, pela dedicação e motivação transmitida na minha vida acadêmica. E finalmente aos amigos e colegas pelo incentivo e pelo apoio constante contribuindo de forma direta ou indireta na minha vida.*

## Resumo

O presente trabalho tem como objetivo a descrição das atividades desenvolvidas durante o estágio supervisionado realizado na Control Construções Ltda. no período de 18/04/2012 a 31/06/2012, supervisionado pelo Engenheiro Eletricista Evando Colman e da Universidade Federal de Campina Grande pelo Professor Doutor Luís Reyes Rosales Montero. Da empresa contratante (Energisa/Paraíba), o Departamento de Construção e Manutenção da Distribuição (DCMD) é responsável pela emissão da programação dos serviços executados semanalmente. Entre as principais práticas realizadas, foram abordadas a construção e manutenção das estruturas de distribuição de energia: postes, cruzetas, linhas de transmissão, reguladores de tensão e transformadores. Também foram descritos os aspectos e procedimentos relacionados com a manutenção preventiva e preditiva das linhas de transmissão fornecendo a continuidade da tensão de alimentação.

**Palavras-chave:** Continuidade da tensão de alimentação, estruturas de distribuição de energia elétrica, manutenção preventiva e preditiva.

# Sumário

Agradecimentos .....	iv
Resumo.....	v
Sumário.....	vi
Lista de figuras.....	vii
1. Introdução .....	1
2. A Empresa .....	3
2.1 Missão.....	3
2.2 Visão .....	3
2.3 Valores.....	3
2.4 Principais clientes .....	3
2.5 Organograma da empresa .....	4
3. Atividades desenvolvidas .....	5
3.1 Considerações iniciais .....	5
3.2 Visitas aos setores da empresa .....	6
3.3 Visitas técnicas .....	7
3.3.1 Substituição de condutor, em vão de rede de MT.....	7
3.3.2 Substituição de poste em rede desenergizada. ....	10
3.3.3 Emprego de Reguladores de Tensão. ....	13
3.3.4 Atendimento à falta de energia .....	21
4. Conclusão .....	23
5. Referências .....	24
6. Anexos .....	25
Anexo 01 - Normas .....	25
Anexo 02 – EPI's e EPC's.....	26
Anexo 03 – Considerações importantes .....	28
Anexo 04 - <i>Interplan-AT Plus</i> .....	30
Anexo 05 - Manutenção do Regulador de Tensão.....	31
Anexo 07 – Tipos de ligação .....	38

## Lista de figuras

Figura 1 - Organograma da empresa .....	4
Figura 2 - Equipe de linha viva. Abril de 2012. ....	7
Figura 3 - Visualização da alimentação de energia e do gerador em operação. Abril de 2012. ....	8
Figura 4 - Retirada dos cabos. Abril de 2012. ....	8
Figura 5 - Eletricistas auxiliares. Abril de 2012.....	9
Figura 6 - Instalação de cabo de MT. Abril de 2012.....	9
Figura 7 - Vista lateral do gerador e seus pontos de aterramento. Maio de 2012. .....	11
Figura 8 - Abertura das chaves para desenergização do trecho e a equipe de linha viva para abertura de circuito anterior. Maio de 2012.....	11
Figura 9 - Aterramento da parte montante do poste. Maio de 2012. ....	12
Figura 10 - Ruptura e tombamento do poste. Maio de 2012. ....	13
Figura 11 - Diagrama representativo de um RT (Toshiba, 2011). ....	14
Figura 12 - Ligação com elevador de tensão (Toshiba, 2011). ....	14
Figura 13 - Conexão de três reguladores monofásicos em uma linha trifásica em delta fechado fornecendo ao sistema 15% de faixa de regulação (Toshiba, 2011). ....	15
Figura 14 - Triângulo de tensões.....	15
Figura 15 - Localidade da manutenção .....	17
Figura 16 - Esquematização da linha e de seus componentes ( <i>InterPlan AT Plus®</i> ). ....	17
Figura 17 - Mapa esquemático da situação da tensão.Gráfico tensão (pu) X distância (km) ( <i>InterPlan AT Plus®</i> ). ....	18
Figura 18 - Mapa esquemático da situação da tensão.Gráfico tensão (pu) X distância (km) ( <i>InterPlan AT Plus®</i> ). ....	18
Figura 19 - Tipos de circuitos e cabos ( <i>InterPlan AT Plus®</i> ).....	19
Figura 20 - Banco de reguladores de tensão para manutenção. Maio de 2012. .....	20
Figura 21 - Manutenção dos reguladores. Maio de 2012. ....	21
Figura 22 - Foto do regulador de tensão substituído e seus dados de placa. Maio de 2012.....	21
Figura 23 - Colaboradores em serviço. Abril de 2012. ....	22
Figura 24 - Conexão em estrela (Toshiba, 2011). ....	38
Figura 25 - Diagrama fasorial da conexão em estrela (Toshiba, 2011). ....	38
Figura 26 – Ligação do banco de reguladores e a fonte de energia (Toshiba, 2011). ....	39
Figura 27 – Conexão delta fechado (Toshiba, 2011). ....	39
Figura 28 - Demonstração da regulação do banco ligado em delta fechado (Toshiba, 2011). ....	40
Figura 29 – Conexão em delta aberto (Toshiba, 2011). ....	40
Figura 30 – Demonstração da regulação do banco ligado em delta aberto (Toshiba, 2011). ....	41

# 1. Introdução

Este relatório tem por objetivo descrever as atividades desenvolvidas na disciplina de Estágio Supervisionado do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica. O estágio foi realizado na empresa Control Construções Ltda, no Departamento de Serviços de Engenharia Elétrica (DSEE) na Unidade de Negócios (UN) da Paraíba, situada na cidade de João Pessoa, no período de 18 de Abril a 30 de Junho de 2010, com o total de 408 horas.

Em seu programa de capacitação, a Control desenvolve o projeto *trainee*, com o objetivo de capacitar o estagiário a desempenhar suas funções em qualquer UN espalhadas pelo Norte e Nordeste do Brasil. Este Projeto objetiva especializar e descobrir novos talentos para aperfeiçoá-los em todos os setores administrativos, passando a conhecer em detalhes todas as rotinas que envolvem os diversos departamentos da empresa.

As atividades desenvolvidas pela Control eram requisitadas pelo grupo Energisa/Paraíba, uma *holding* composta por nove empresas que atuam nos Sistemas de Geração e Distribuição de energia elétrica no Brasil.

Os serviços contratados pela Energisa e realizados pela Control abrange desde os níveis de tensão de distribuição primária (13,8 kV) até os níveis de distribuição secundária (380/220 V). São eles:

- Alimentador;
- Construção;
- Melhoria de nível de tensão;
- Manutenção;
- Manutenção Rede de Distribuição (RD) / Baixa Tensão (BT);
- Manutenção Linha de Distribuição (LD)/ Rede de Distribuição (RD);
- Reforma de rede;
- Substituição de postes BT;
- Substituição de postes Média Tensão (MT);
- Universalização rural;
- Universalização urbana sem MT;
- Universalização urbana com MT.



Este relatório está dividido em 6 capítulos, incluindo esta introdução que é o primeiro capítulo. No segundo capítulo é apresentado um breve histórico sobre a empresa na qual foi realizado o estágio, destacando as áreas de atuação, principais clientes, organograma e etc. No terceiro capítulo são apresentadas as atividades desenvolvidas no estágio. Os três últimos capítulos correspondem à conclusão, às referências e aos anexos.

## **2. A Empresa**

A CONTROL CONSTRUÇÕES LTDA é uma empresa paraibana, com a matriz sede na cidade de João Pessoa – PB. Atuante no setor da engenharia elétrica e civil desde 1998. Com o quadro de aproximadamente 4000 funcionários, trabalha de forma sinérgica, configurando toda a eficiência no fluxo de exercício. Seu modelo de negócios é baseado no conceito de qualidade e pontualidade dos serviços de uma equipe de profissionais qualificados, assegurando dessa forma seu sucesso econômico.

A cada dia a empresa busca continuamente melhorias para satisfação de seus clientes com a redução de custos e tempo de execução dos serviços, priorizando rigorosamente os padrões de gerenciamento de segurança e a saúde do trabalho, consolidando seu espaço em destaque no mercado nacional.

### **2.1 Missão**

Atuar no setor da engenharia elétrica e civil com padrões de excelência no serviço aos clientes, valorizando os colaboradores e exercendo a responsabilidade social corporativa.

### **2.2 Visão**

Oferecer um serviço inovador na área de engenharia, visando ser uma das empresas líderes do setor no Brasil, com foco na criação de valor e na sustentabilidade.

### **2.3 Valores**

Ética, Transparência, Efetividade e Competência.

### **2.4 Principais clientes**

A CONTROL é responsável por contratos nos estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Bahia, Piauí, Ceará, Amazonas, Roraima, Rondônia e Acre, trabalhando continuamente com o objetivo de atender em um horizonte próximo a todos os estados do país.

Dentre seus principais clientes estão:

- Eletrobras Amazonas Energia;
- Eletrobras Distribuição Acre;
- Eletrobras Distribuição Alagoas;
- Eletrobras Distribuição Piauí;
- Eletrobras Distribuição Rondônia e Roraima;
- Energisa Paraíba.

## 2.5 Organograma da empresa

A estrutura da empresa e todo o fluxo de negócios segue uma hierarquia de cargos para atribuição das funções, refletindo os níveis de subordinações, como pode ser visto na figura 1.

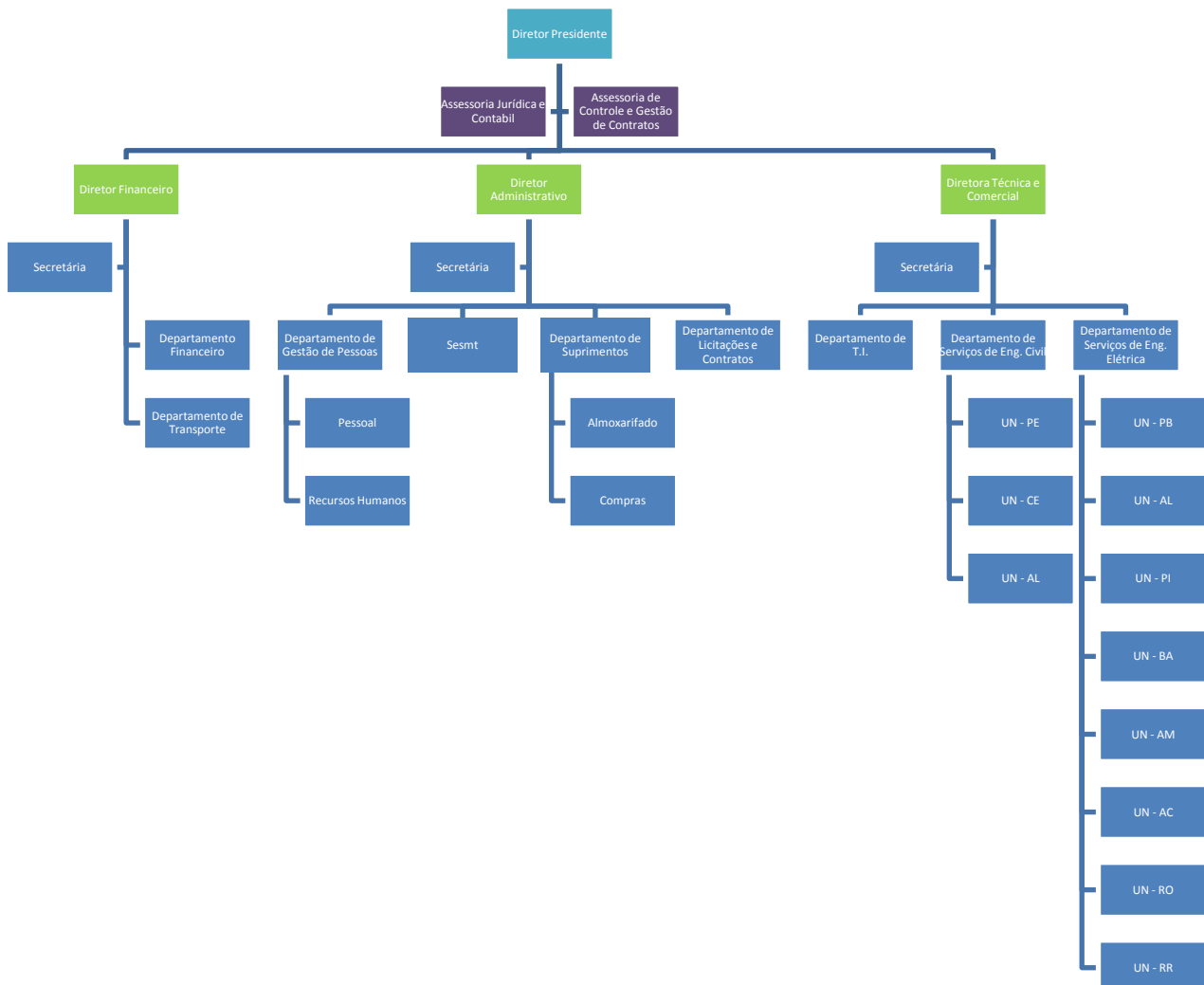


Figura 1 - Organograma da empresa

## **3. Atividades desenvolvidas**

### **3.1 Considerações iniciais**

O fornecimento contínuo de energia elétrica é hoje um dos principais objetivos das distribuidoras de energia, tendo como visão transformar energia em conforto, em desenvolvimento e em novas possibilidades com sustentabilidade, oferecendo soluções inovadoras e com isso consolidar o crescimento nacional.

O desempenho das distribuidoras quanto à continuidade do serviço prestado de energia elétrica é avaliado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com base em indicadores coletivos e individuais. O assunto está regulamentado no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) (ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica).

O DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) são indicadores coletivos, e são regulados pela ANEEL. Além dos indicadores coletivos as distribuidoras devem acompanhar as interrupções ocorridas em cada unidade consumidora. Para isso, são apurados os indicadores de continuidade individual, DIC (Duração de Interrupção por Unidade Consumidora), FIC (Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora) e DMIC (Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora) sendo os consumidores compensados automaticamente, com o pagamento, pela violação dos limites estabelecidos (ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica).

As atividades desenvolvidas durante o estágio na CONTROL exigiam conhecimentos técnicos da área elétrica e da área de segurança respeitando uma política de segurança e saúde do trabalho, os equipamentos utilizados em campo pode ser visto no anexo 02. Desta forma foram apresentadas palestras para familiarização destes conhecimentos, desde suas abrangências, regulamentações, materiais até suas responsabilidades.

Neste contexto está inserido este relatório de estágio, que tem por objetivo, abordar os critérios regidos na empresa Control Construções Ltda.

para execução dos serviços contratados. Identificando os principais problemas e soluções, dando ênfase a metodologia e pontualidade dos serviços, garantindo ao máximo a continuidade do fornecimento de energia com qualidade.

### **3.2 Visitas aos setores da empresa**

As atividades iniciaram dia 18 de abril de 2012 e como procedimento padrão da empresa é apresentado o projeto *trainee* e seus objetivos, designando aos estagiários o acompanhamento da rotina de trabalho dos setores administrativos de toda a empresa.

Iniciando pelo almoxarifado, em seguida passando pelo setor financeiro, posteriormente foi abordando os termos técnicos da área de segurança do trabalho, nos próximos quatro dias foi acompanhado o setor departamento de pessoal, setor de transportes, e finalmente concluindo esta etapa inicial foi visto as atividades do setor operacional.

Foram reservados os vinte primeiros dias de estágio para esse acompanhamento, familiarizando-se com os procedimentos da empresa. A cada quatro dias eram feitas as mudanças de setores para a conclusão desta etapa inicial.

Após esta primeira etapa e até o término do estágio foi acompanhado a rotina da manutenção pesada com as obras em campo realizando construção e manutenção das redes de distribuição de até 13,8 kV.

### 3.3 Visitas técnicas

Todas as visitas técnicas realizadas no período do estágio atendiam aos requisitos das Normas Reguladoras (NR), essas normas e suas denominações são descritas no anexo 01.

#### 3.3.1 Substituição de condutor, em vão de rede de MT.

Com o objetivo de substituir o vão de rede de MT, a equipe da CONTROL de manutenção e operação, direcionou-se ao condomínio dos Ipês no Bairro dos Ipês, na cidade de João Pessoa- PB, no dia 04/06/2012.

Inicialmente toda a equipe inspecionou a área e os equipamentos para manutenção, buscando eliminar as possibilidades de acidentes. Como não havia tais possibilidades, foi preenchida a Análise Preliminar de Risco (APR), assegurando a execução do serviço com o consentimento de todos.

Em alguns trechos a abertura de circuitos energizados era realizada pela equipe de linha viva, em operação observada na figura 2.



Figura 2 - Equipe de linha viva. Junho de 2012.

Para a área de grande consumo, foi requisitada a ligação do gerador, conforme a figura 3, fornecendo a continuidade do serviço de alimentação da carga.



Figura 3 - Gerador em operação. Junho de 2012.

Ao desenergizar os trechos em operação são iniciadas as atividades liberando os ramais de serviços e desligando os pontos de Iluminação Pública (IP), identificando sempre com fitas coloridas, segundo o padrão, as fases e neutro, conforme a figura 4.



Figura 4 - Retirada dos cabos. Junho de 2012.

Em seguida é fixado o esticador no condutor ( $120 \text{ mm}^2$  com a capacidade de condução de corrente de 210 ampères) a ser substituído, estando na extremidade da corda um eletricista auxiliar no solo para dar apoio ao serviço, isso pode ser visto na figura 5.



Figura 5 - Eletricistas auxiliares. Junho de 2012.

Após efetuar os procedimentos iniciais é isolado um ponto do cabo a ser cortado antes de seu seccionamento, evitando que os tentos do condutor se espalhem, e assim o condutor é cortado.

Depois de efetuar o corte o condutor é baixado suavemente com auxílio de cordas liberando o esticador.

Após retirar a parte defeituosa do cabo velho e realizar a emenda com os cabos novos o cabo é elevado com o auxílio de uma carretilha e em seguida é tensionado e aplicado ao circuito novamente, instalando os cabos de MT de acordo com a figura 6 e de BT, onde serão religados os ramais de serviços e IP, conforme as exigências da concessionária.



Figura 6 - Instalação de cabo de MT. Junho de 2012.



### **3.3.2 Substituição de poste em rede desenergizada.**

A operação efetuada no centro de treinamento da polícia militar no bairro de Mangabeira da cidade de João Pessoa/PB no dia 05/06/2012, tinha como objetivo a substituição de um poste com a “situação precária ou duvidosa”, no qual o concreto se encontrava em processo de deterioração.

O poste possuía uma estrutura do tipo N4 (estrutura ancoragem), muito usado em locais de ângulo de até 60° e em locais que exige maior tração. O vão máximo utilizado para esse tipo de estrutura é de até 500 metros. E com esforço mínimo suportado de 300 kgf.

Composição de materiais da estrutura:

- Rede de MT de 13,8 kV;
- Rede de BT 380/220 V;
- IP;
- Chaves para abertura do circuito;
- Poste de concreto (12m);
- Cruzeta de concreto (1,90m);
- Pino de Topo;
- Parafuso, Olhal;
- Sapatilha;
- Isolador de Suspensão;
- Alça Pré-formada;
- Isolador de Pino;
- Conector Tipo Cunha;
- Pulo (interligando de um lado ao outro).

#### **Procedimentos para substituição de poste em condições precárias ou duvidosas, implantando um poste ao lado do mesmo:**

Antes de iniciar as atividades, é realizada uma reunião entre os operários, com o objetivo de analisar e detectar possíveis problemas que possam levar a algum tipo de acidente.

Como o poste implantado possuía uma altura de 12m, de acordo com a expressão 1, foi escavada uma área para engastamento do poste novo o mais

próximo possível do poste avariado a uma profundidade (L) de 1,80m, garantindo a fixação do poste implantado (POP - Procedimento Operacional Padrão, 2012).

$$L(m) = \frac{\text{altura do poste}}{10} + 0,60 = 1,80 \text{ m} \quad (1)$$

Retirando o novo poste do caminhão com a lança do guindauto, posicionou o poste para montagem das estruturas, recolocando o estropo (cabo de aço para erguer o poste) no poste e implantando com o auxílio do guindauto compactando a base a cada 25 cm, com dois eletricitistas na base manuseando o mesmo para uma melhor implantação.

Para garantir a continuidade do serviço de abastecimento da energia foi solicitado o gerador de energia, pois o serviço executado no trecho anterior do gerador deve ser realizado com a rede desenergizada. Na figura 7 pode ser visto o gerador e seus pontos de aterramentos.



Figura 7 - Vista lateral do gerador e seus pontos de aterramento. Junho de 2012.

Para instalação e retirada dos sistemas de MT, IP, BT e as chaves, foi necessário o desligamento do trecho em manutenção conforme a figura 8.



Figura 8 - Abertura das chaves para desenergização do trecho e a equipe de linha viva para abertura de circuito anterior. Junho de 2012.

Para eliminar o risco de acidentes a desenergização é efetuada por etapas:

- Abertura das chaves no poste deteriorado e do circuito do poste anterior à estrutura;
- Instalação do gerador na parte jusante do poste posterior e na sua parte montante foi instalada o aterramento como pode ser visto na figura 9, caso houvesse sobretensão ou sobrecorrente realizando todo o processo de descarga da energia para a terra.



Figura 9 - Aterramento da parte montante do poste. Junho de 2012.

No poste precário foi fixado o guindauto para dar sustentação e segurança para os colaboradores e em seguida iniciaram o processo de desmontagem do poste desfazendo a amarração dos condutores da rede dos isoladores.

Foi verificada a impossibilidade de desmontar a estrutura do poste em concordância com os fiscais da obra, evacuando toda a região próxima. Foi iniciada a retirada do poste com o guindauto, que posteriormente veio à ruptura preventivamente, garantindo a segurança de todos, figura 10. Em seguida, com segurança foi feito o transporte do poste para a carroceria do caminhão.



Figura 10 - Ruptura e tombamento do poste. Junho de 2012.

Com todos os conformes prontos e o poste instalado, foram fixados os condutores nos isoladores tipo pino através de laços pré-formados, religando em seguida os ramais de serviços conforme o padrão da concessionária. Finalizando desta forma o serviço solicitado.

### **3.3.3 Emprego de Reguladores de Tensão**

O regulador de tensão (RT) é um equipamento instalado em redes de distribuição e subestações que tem por finalidade a manutenção da tensão de saída de um circuito elétrico, mantendo-a constante independente da tensão de entrada. Na prática cada regulador de tensão regula sua própria fase nos sistemas monofásicos e trifásicos. Assim, teremos ligações que utilizam 2 ou 3 tanques, sendo que este conjunto é denominado Banco de Reguladores De Tensão (Toshiba, 2011).

A aplicação de RT nos sistemas de distribuição de energia elétrica é indicada quando os centros de consumo estão distantes dos pontos de geração. Aliado a isso, o aparecimento de grande quantidade de novos aparelhos eletroeletrônicos, sensíveis a oscilações de tensão, fez aumentar as reclamações dos consumidores, que passaram a exigir boa qualidade na distribuição de energia elétrica (Toshiba, 2011).

Os procedimentos de manutenção do RT é regido segundo a norma NBR 11809/1992 visto no anexo 05.

A instalação desses reguladores traz enormes consequências benéficas dentre elas podemos destacar:

- Equilíbrio de tensão;
- Redução das perdas na distribuição;
- Satisfação do consumidor;
- Aumento do faturamento das concessionárias de energia elétrica.

(Toshiba, 2011).

### 3.3.3.1 Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento do RT é similar ao de um autotransformador, ou seja, existe, além do acoplamento magnético entre o primário e o secundário, um acoplamento elétrico, como pode ser visto na figura 11:

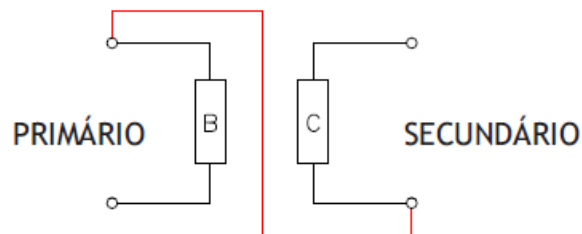


Figura 11 - Diagrama representativo de um RT (Toshiba, 2011).

Existem duas formas de executar a ligação elétrica entre o primário e o secundário, tornando o autotransformador elevador ou abaixador. Em virtude do problema a ser solucionado, que reflete quedas de tensão nos trechos da linha, foi imposto como solução à instalação de reguladores elevadores de tensão, conforme a figura 12.

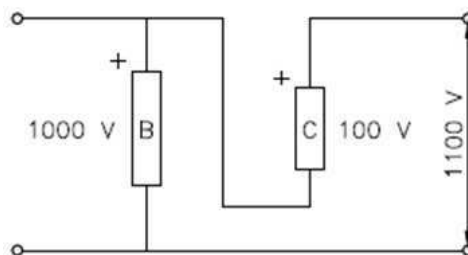


Figura 12 - Ligação com elevador de tensão (Toshiba, 2011).

### 3.3.3.3 Tipos de conexões em banco de reguladores

Os reguladores aplicados neste projeto são reguladores monofásicos em banco trifásico, podendo estes ser interligados na forma:

- Estrela aterrado ou não aterrado;
- Triângulo fechado;
- Triângulo aberto.

Por critérios econômicos e viabilidade no projeto, a conexão adotada foi a disposição triângulo fechado, que além de garantir uma regulação de tensão em até 15%, para variações de tensão em 10%, inibe o furto de cabos de aterramento, de comum ocorrência, presente na disposição estrela aterrado. Sua representação esquemática pode ser vista na figura 13.

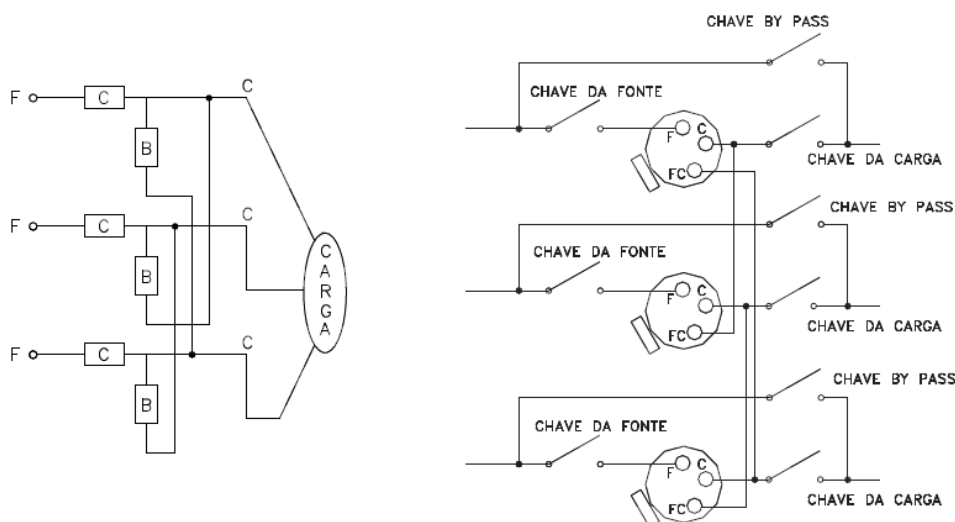


Figura 13 - Conexão de três reguladores monofásicos em uma linha trifásica em delta fechado fornecendo ao sistema 15% de faixa de regulação (Toshiba, 2011).

Demonstração da regulação de tensão:

Para os reguladores de 13,8 kV, e uma variação na tensão em 10%:

$$\text{Variação} = 13800 \times 0,1 = 1380 \text{ V} \quad (14)$$

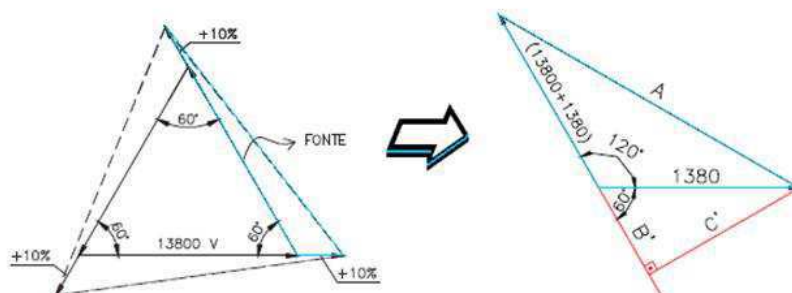


Figura 14 - Triângulo de tensões (Toshiba, 2011).

$$\text{sen } 60^\circ = \frac{C'}{1380}, C' = 1195,$$

(15)

$$\text{cos } 60^\circ = \frac{B'}{1380}, B' = 690,$$

(16)

Logo,

$$\text{sen } 60^\circ = \frac{C'}{1380}, C' = 1195,$$

(17)

$$A = \sqrt{1580^2 + 1195^2}, A = 15915 \text{ V}$$

(18)

Regulação de tensão:

$$R(\%) = \frac{15915}{13800} = 115\%$$

(19)

Assim, a regulação de tensão no regulador é de 15%, garantindo a tensão dentro da faixa permitida.

(Toshiba, 2011).

As características, vantagens e desvantagens em relação à forma como é realizada as conexões está presente no anexo 07.

### 3.3.3.3 Projeto

Neste projeto é apresentado um estudo de caso implementado na empresa Energisa Paraíba, refinando dados e rotinas sobre reguladores de tensão, com o objetivo de fornecer equilíbrio de tensão reduzindo as perdas na distribuição da energia elétrica.

Apartir dos estudos realizados com o *software InterPlan AT Plus*, foi identificado a importância da manutenção do RT nas proximidades da cidade de Baía da Traição – PB, confrontando com as características que a rede apresentava de grandes perdas em consequência do comprimento da linha. No mapa da figura 15 pode ser visto a localização desse trecho da linha que

apresenta uma extensão total de 38 km. As descrições e funcionalidades do *software InterPlan AT Plus* podem ser vistas no anexo 04.



Figura 15 - Localidade da manutenção (*Google Maps*), Junho de 2012.

As linhas de transmissão, reguladores de tensão e os transformadores instalados naquela região podem ser visto na figura 16.

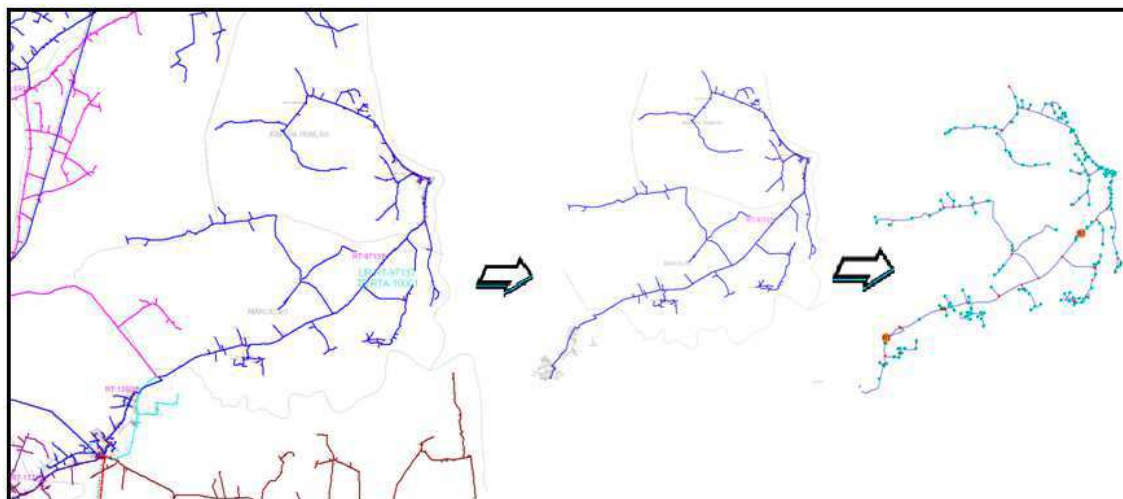


Figura 16 - Esquematisação da linha e de seus componentes (*InterPlan AT Plus*).

A implementação do banco de reguladores teve por objetivo regular a tensão naquele trecho. Pode ser observado as características da rede sem os reguladores de tensão, sendo os ramos na cor vermelha representações das quedas de tensão ao longo da linha com mais de 10%, nos trechos amarelos quedas de tensão entre 7 e 10% e assim sucessivamente conforme a diversificação da legenda no mapa na figura 17. O passo visto no gráfico representa o valor em unidade de cada linha horizontal da grade deste gráfico.



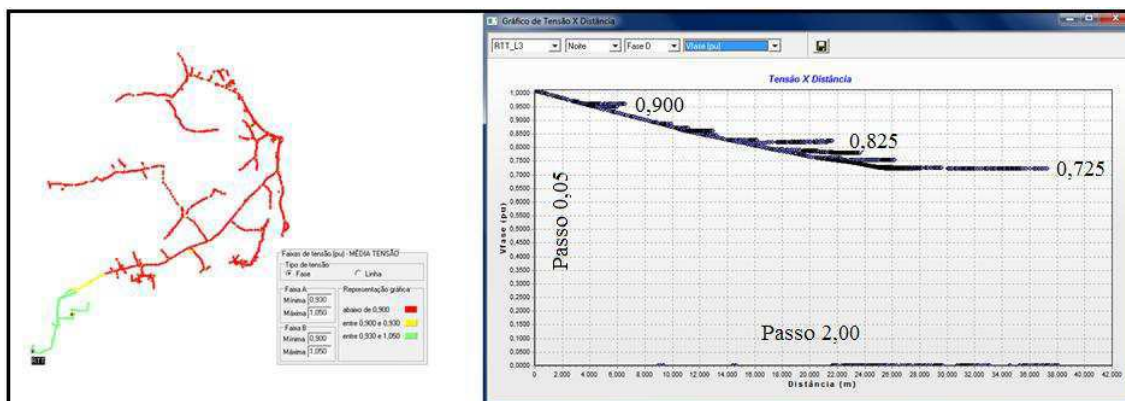


Figura 17 - Mapa esquemático da situação da tensão.Gráfico tensão (pu) X distância (km) (*InterPlan AT Plus*).

Com a inserção dos reguladores, é verificada a diferença imposta nas partes jusantes dos bancos, apresentando um melhor rendimento no fornecimento de energia e garantindo sua qualidade, isso pode ser visto na figura 18. No geral é observado que há necessidade de melhorias nas partes centrais da rede, projeto este que se encontra em andamento no Departamento de Acessoria Planejamento e Orçamento (DASPO) da Energisa Paraíba. O passo visto no gráfico representa o valor em unidade de cada linha horizontal da grade deste gráfico.

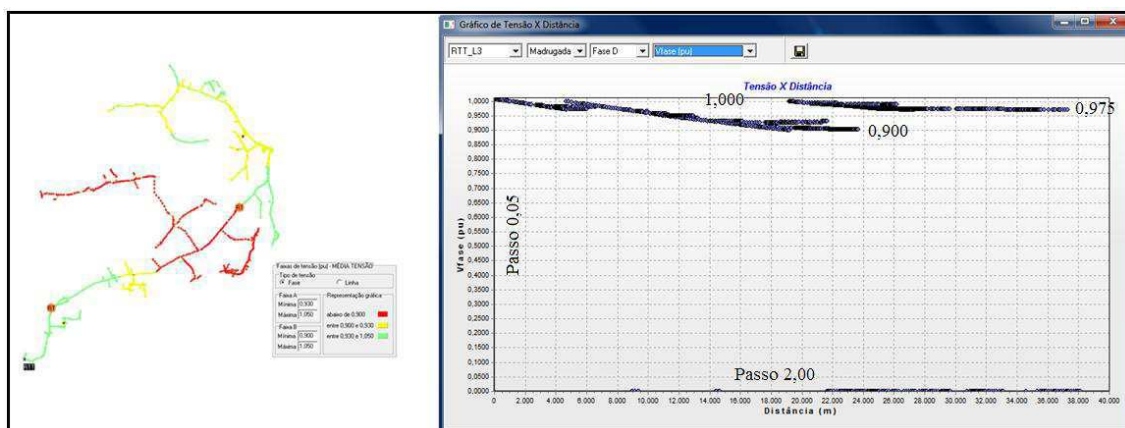


Figura 18 - Mapa esquemático da situação da tensão.Gráfico tensão (pu) X distância (km) (*InterPlan AT Plus*).

Quanto ao tipo de sistema é apresentado os respectivos trechos e a quantidade de fases em cada ramificação, a legenda do segundo mapa representa os tipos de cabos aplicados nos sistemas de distribuição. As partes na cor vermelha do sistema representam o sistema trifásico a três fios sem

neutro, com a tensão de base 13,2 kV. O cabo utilizado nas linhas onde se encontram os reguladores é do tipo S1/0SN, cabos estes com secção de aproximadamente 53 mm<sup>2</sup> com uma capacidade de condução de 138 ampères, para uma temperatura média de 70°C, segundo a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 5410 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), representado pela coluna central na cor violeta. Isso pode ser observado na figura 19.

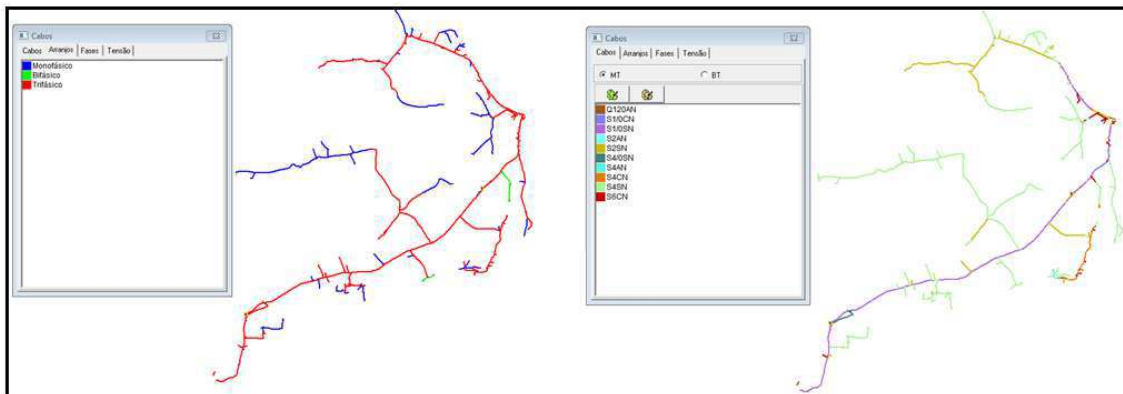


Figura 19 - Tipos de circuitos e cabos (*InterPlan AT Plus*).

### 3.3.3.4 Visita técnica ao local

Na visita técnica ao local no momento da manutenção, é verificada a importância da utilização do método de proteção tipo à distância, no qual o trabalhador interage com a parte energizada a uma distância segura, mediante o emprego de procedimentos, estruturas, Equipamentos de Proteção Individual (EPI), Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC), ferramentas e dispositivos isolantes apropriados, garantindo a integridade da saúde e da vida do colaborador. É também necessário treinamentos e condicionamentos específicos dos trabalhadores em tais atividades.

Para esse serviço são apresentados alguns equipamentos utilizados em uma operação em linha energizada ou linha “viva” segundo a NR-10 e em seguida são mostrados alguns registros efetuados no momento da manutenção:

Equipamentos de proteção coletiva

- Dispositivo de seccionamento: chaves facas.
- Dispositivo contra queda em altura: cestas aéreas.

- “Munck” ou guindaste.
- Dispositivos de manobra: varas de manobra, bastões.
- Detectores de tensão por aproximação.

#### Equipamentos de proteção individual

- Vestimentas de trabalho.
- Capacete de segurança.
- Óculos de proteção.
- Protetor solar.
- Luvas de segurança contra choques elétricos de classe 2, com isolamento até 17 kV.
- Mangas de segurança isolante com níveis de isolação de até 20 kV.
- Calçado de segurança.
- Cinturão de segurança.
- Talabarte.
- Dispositivo trava-quedas.

Nas figuras 20, 21 e 22 podemos observar os RT do estudo, a manutenção dos RT e os dados de placa do regulador em questão respectivamente.



Figura 20 - Banco de reguladores de tensão para manutenção. Maio de 2012.



Figura 21 - Manutenção dos reguladores. Maio de 2012.

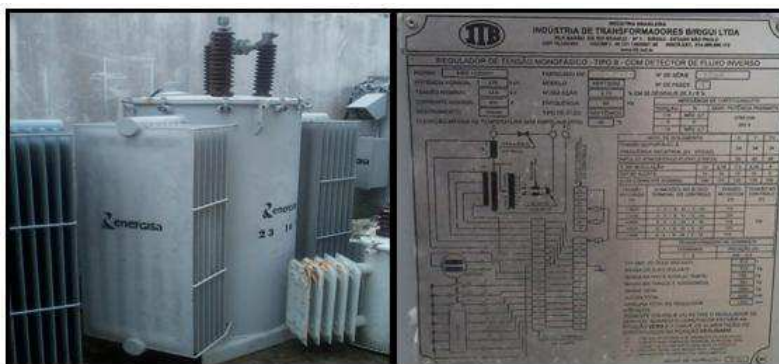


Figura 22 - Foto do regulador de tensão substituído e seus dados de placa.

Manual de instruções ITB. Maio de 2012.

### 3.3.4 Atendimento à falta de energia

Atendimento à falta de energia em rede de distribuição aberta a mais de uma unidade consumidora.

Na programação do dia 23/04/2012, foi constatada a falta de energia em várias unidades consumidoras no bairro de Intermares na cidade de João Pessoa – PB.

Verificou inicialmente que todos os consumidores reclamantes eram alimentados pelo mesmo poste. De acordo com o Procedimento Operacional Padrão (POP), inicialmente foi inspecionado a proteção primária e secundária

do transformador, percorrendo todo o circuito de BT para encontrar possíveis erros.

Foram constatados alguns problemas como *jumper's* partidos e conexões defeituosas, efetuando em seguida o desligamento dos disjuntores das unidades garantindo a interrupção de corrente e em seguida foram eliminados todos os problemas encontrados nas instalações.

Em consequência do aumento de carga na região, as perdas por efeito joule no cabo encontrava-se muito grande, sendo necessária a substituição do cabo de 70 mm<sup>2</sup> por outro de maior espessura com o diâmetro de 120 mm<sup>2</sup>, como pode ser visto na figura 23.

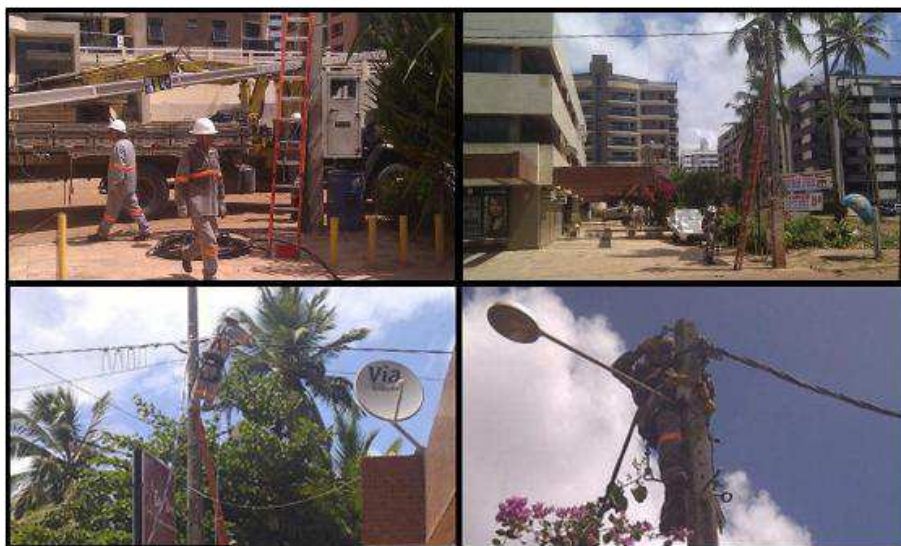


Figura 23 - Colaboradores em serviço. Abril de 2012.

Corrigido todos os defeitos, substituído os cabos e reconstituído todos os ramais de entrada, o transformador foi reenergizado e com isso estabelecida novamente a tensão de alimentação para os consumidores de acordo com os padrões exigidos pela concessionária de energia elétrica.

## 4. Conclusão

Ao realizar este trabalho, pude perceber a importância do conhecimento mais aprofundado sobre os métodos práticos abordados pela empresa, e a preocupação ininterrupta relacionada ao fornecimento contínuo da energia elétrica.

Em termos práticos, foram realizados estudos de casos no dia a dia da empresa como a substituição de condutor em redes de MT e BT, substituição de poste em rede desenergizada, atendimento à falta de energia e a substituição de um regulador de tensão realizado pela empresa Control Construções Ltda. em parceria com a Energisa Paraíba, com o objetivo de regular a tensão em torno de 13% da tensão inicial.

Este projeto na íntegra foi extremamente importante para obtenção do vínculo inicial entre a teoria obtida na graduação e da prática vista no setor empresarial, formalizando assim um marco para aplicações das necessidades do mercado profissional.

## 5. Referências

1. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Distribuição de Energia Elétrica, Qualidade do Serviço. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em maio de 2012.
2. InterPlan-AT Plus. Desenvolvimento produtos tecnológicos. Disponível em: <http://www.cientistas.com.br/produto/interplanatDown.html>. Acesso em junho de 2012.
3. Manual de instruções ITB (Indústria de Transformadores Birigui) - equipamentos elétricos Ltda. 2011. Disponível em: [www.tapp.com.br/itb/Manual.pdf](http://www.tapp.com.br/itb/Manual.pdf). Acesso em maio de 2012.
4. NR 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade. Disponível em: <http://www.mte.gov.br>. Acesso em Maio de 2012.
5. NBR 11809/1992: reguladores de tensão. CEEE-D. Especificação de Distribuição. Título: Regulador de Tensão. 2008. Disponível em: <http://www.ceee.com.br>. Acesso em maio de 2012.
6. POP. Manual de Procedimento Operacional Padrão. CONTROL Construções Ltda. Norma Técnica Revisada. Abril de 2012.
7. Toshiba Infraestrutura América do Sul Ltda. Manual de instruções para reguladores de tensão monofásicos, revisão, junho de 2011. Disponível em: <http://www.toshiba.com.br>. Acesso em maio de 2012.

## 6. Anexos

### **Anexo 01**

Todas as atividades realizadas são de responsabilidades dos gerentes, líderes e colaboradores envolvidos no serviço de campo, exigindo sempre a prática dos procedimentos das atividades abrangendo à todas as equipes da CONTROL em serviço, sempre atendendo aos requisitos das Normas Regulamentadoras (NR):

- Norma Regulamentadora – NR-06 (Equipamento de Proteção Individual);
- Norma Regulamentadora – NR-18 (Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção);
- Norma Regulamentadora – NR-10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade);
- Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 5434 (Redes de Distribuição Aérea Urbana de Energia Elétrica).

(POP - Procedimento Operacional Padrão, 2012).



## **Anexo 02**

Uma dos grandes focos da empresa é a responsabilidade com seus colaboradores, respeitando uma política de segurança e saúde do trabalho através da utilização de equipamentos de proteção individual, coletivo e das ferramentas necessárias para execução dos serviços:

### **Equipamentos de proteção individual:**

- Vestimenta especial para classe de risco 2 (Vestimenta retardante a chama);
- Capacete de Segurança classe B com jugular;
- Óculos de Proteção;
- Luva de Raspa;
- Luva de vaqueta;
- Luvas Isoladas de borracha Classe “2” Média Tensão (MT);
- Luva de cobertura para luva de borracha;
- Cinturão de Segurança tipo paraquedista;
- Talabarte de posicionamento;
- Trava-queda;
- Sapato ou Botina de Segurança para áreas com influência de eletricidade;
- Capa proteção contra chuva.

### **Equipamentos de proteção coletiva:**

- Cones de sinalização de altura 75 cm;
- Fita/corrente de sinalização para delimitação de área;
- Escada extensível (fibra ou madeira) com bandeirola;
- Dispositivos de ancoragem (agulhão, gancho, fita para escada extensível e dispositivo para fixação na cabeça do porte);
- Fita de ancoragem 1.200mm para extensão da linha de vida;
- Fita de ancoragem 1.500mm para extensão da linha de vida;
- Freio antipânico ABS para resgate;
- Corda para linha de vida;
- Mosquetão em aço com dupla trava;

- Vara telescópica com sacola de acondicionamento;
- DAQC – Dispositivo Ante Queda de Cartucho;
- DAC – Dispositivo de Abertura com Carga;
- Sacola para acondicionar o Kit para trabalho em altura;
- Detector de Tensão de 1kV a 138kV Alta Tensão (AT);
- Sacola/balde de lona;
- Corda de serviço com ou sem carretilha;
- Aterramento em curto circuito de Baixa Tensão (BT).

**Ferramentais e demais itens necessários:**

- Estojo de primeiros socorros;
- Rádio de Comunicação;
- Farol de Emergência;
- Lanterna;
- Alicates universal;
- Caminhão guindauto;
- Estropo de aço;
- Alicates Multímetro;
- Chave de fenda;
- Chave de Regulagem 12”;
- Formulário APR – Análise Preliminar de Risco.

## **Anexo 03**

### **Algumas considerações importantes na execução de serviços da empresa**

- Os serviços em instalações energizadas, ou em suas proximidades devem ser suspensos de imediato na iminência de ocorrência que possa colocar os trabalhadores em perigo.
- O responsável pela execução do serviço deve suspender as atividades quando verificar situação ou condição de risco não prevista, cuja eliminação ou neutralização imediata não seja possível.
- Os trabalhadores devem interromper suas tarefas exercendo o direito de recusa, sempre que constatarem evidências de riscos graves e iminentes para sua segurança e saúde ou a de outras pessoas, comunicando imediatamente o fato a seu superior hierárquico, que diligenciará as medidas cabíveis.
- Cada tarefa a ser executada deverá ser realizada por um mínimo de executantes possíveis garantindo o serviço.
- O equipamento guindauto deverá estar equipado com pontos para conexão de aterramento temporário, possuir válvulas de retenção pilotadas em todos os seus cilindros hidráulicos, no mínimo uma lança telescópica e estar em perfeitas condições de uso.
- O veículo deverá ser aterrado temporariamente com haste cravada no solo.
- Observar as distâncias de segurança conforme NR-10, entre a extremidade da lança e as partes energizadas.
- Durante a movimentação da lança do guindauto próximo a MT, o operador deverá estar posicionado sobre a plataforma/manta isolante adequada ao nível de tensão e equipado com luva isolante. Os membros da equipe não poderão tocar no veículo durante a movimentação da lança próximo a MT.

- Antes da execução do serviço, obrigatoriamente, deve ser realizada inspeção acurada da estrutura do poste e dos postes adjacentes, verificando o grau de deterioração do material.
- Realizar a análise de riscos, inspeção visual na estrutura do equipamento e adjacências, com a finalidade de identificar falhas em condutores, cruzetas podres, vespeiros, isoladores danificados, etc., para a execução da tarefa com segurança.

(POP - Procedimento Operacional Padrão, 2012).

## **Anexo 04**

O *Interplan-AT Plus* é uma ferramenta para apoio ao planejamento de redes de distribuição de energia elétrica de alta tensão utilizada por engenheiros eletricitas responsáveis pelo planejamento em concessionárias de energia. Para isso, o planejador poderá usar o *Interplan-AT Plus* para importar a estrutura da rede ou construí-la usando o editor gráfico de redes, e identificar as áreas que necessitam de obras de expansão (*InterPlan-AT Plus*).

Ainda usando o editor gráfico de redes, o planejador propõe as obras necessárias à satisfação dos critérios técnicos e econômicos estabelecidos. Como suporte à elaboração de obras de expansão, o *Interplan-AT Plus* conta com a visão georreferenciada da rede de alta tensão utilizando o *Google Maps*. Para usar esse recurso, basta que o planejador insira a localização geográfica (latitude, longitude e elevação) dos elementos elétricos presentes na rede. “O *Interplan-AT Plus* permite ainda a importação e exportação da rede para o formato “. pwf” usado pelo Anarede. Assim as concessionárias podem enviar seu plano de expansão já no formato aceito pelo Empresa de Pesquisa Energética. O *Interplan-AT Plus* foi baseado no *Interplan-AT*, software desenvolvido pela empresa *Daimon*. Foram acrescentadas novas funcionalidades, como importação e exportação de dados da rede elétrica, novos recursos de visualização e edição da rede elétrica, adicionando suporte ao georreferenciamento por meio do *Google Maps*, além da possibilidade de manipulação de até 10 planejamentos ao mesmo tempo. Um dos pontos importantes deste novo software, é a geração de relatórios de comparação de obras. Por meio de consultas otimizadas ao banco de dados, os relatórios geram as informações detalhadas de custos das obras propostas, organizadas para cada ciclo de estudos realizado. Desta forma, o planejador pode optar pelas obras mais satisfatórias, de acordo com os critérios técnicos e econômicos (*InterPlan-AT Plus*).

## **Anexo 05 (NBR 11809/1992)**

### **Controle eletrônico**

#### **Cláusula 1**

- Ponto de Inspeção
  - ✓ Controle.
- Verificar
  - ✓ Acionamento manual.
  - ✓ Bloqueio máximo e mínimo.
- Período
  - ✓ 1 ano.
- Procedimento ou item de Verificação
  - ✓ Posicionando o ajuste de operação em elevar, verifique que o controle eleva o Tap, parando no bloqueio ajustado.
  - ✓ Posicionando o ajuste de operação em abaixar, verifique que o controle abaixa o Tap, parando no bloqueio ajustado.
- Avaliação / Correção
  - ✓ Conforme a instrução de operação.

#### **Cláusula 2**

- Ponto de Inspeção
  - ✓ Controle.
- Verificar
  - ✓ Tensão de referencia.
- Período
  - ✓ 1 ano.
- Procedimento ou item de Verificação
  - ✓ Com o regulador energizado, ajuste:  $U_r=0V$ ,  $U_x= 0V$ . Verificar se a tensão de saída de "Voltímetro" está igual ( $\pm 1V$ ) da referência depois de estabilizado.
- Avaliação / Correção
  - ✓ Conforme a instrução de operação.

#### **Cláusula 3**

- Ponto de Inspeção
  - ✓ Controle.
- Verificar
  - ✓ Temporização linear.
  - ✓ Acionamento automático Elevar e Abaixar.
- Período
  - ✓ 1 ano.
- Procedimento ou item de Verificação
  - ✓ Variando o ajuste da tensão de referência para uma tensão maior que a tensão da rede.
  - ✓ Verificar se o motor aciona no sentido "Elevar" passado o tempo ajustado.
  - ✓ Variando o ajuste grosso para uma tensão menor que a tensão da rede.
  - ✓ Verificar se o motor aciona no sentido "Abaixar" passado o tempo ajustado.
- Avaliação / Correção
  - ✓ Conforme a instrução de operação.

## Regulador de Tensão

### Cláusula 4

- Ponto de Inspeção
  - ✓ Acessórios.
- Verificar
  - ✓ Buchas.
  - ✓ Para raios.
  - ✓ Indicador de nível de óleo.
  - ✓ Válvula de drenagem do óleo.
  - ✓ Caixa de Controle e Caixa de Terminais.
- Período
  - ✓ 1 ano.
- Procedimento ou item de Verificação
  - ✓ Acúmulo de impurezas nas porcelanas.
  - ✓ Vazamento de óleo.

- ✓ Aperto dos terminais.
- ✓ Aglomeração de impurezas.
- ✓ Resistência de isolamento.
- ✓ Trinca no visor de vidro.
- ✓ Vazamento de óleo.
- ✓ Penetração de água no interior da caixa.
- ✓ Verifique a conexão do multicabo à caixa de controle e terminais.
- Avaliação / Correção
  - ✓ Quando a contaminação for excessiva, limpe com um pano que contenha amônia ou tetracloreto de carbono e aplique um neutralizador. Depois disto, lave com água doce e seque-a com pano seco.
  - ✓ Quando os terminais estiverem frouxos, reaperte-os.
  - ✓ Troca do visor de vidro.
  - ✓ Reaperto do corpo do indicador ou troca da gaxeta.
  - ✓ Reaperte-a, se persistir o vazamento o equipamento deve ser retirado de serviço.
  - ✓ Em caso de penetração de água, troque as gaxetas de vedação da porta.
  - ✓ Conexão do multicabo frouxo, reaperte-a.

### **Cláusula 5**

- Ponto de Inspeção
  - ✓ Acessórios.
- Verificar
  - ✓ Indicador de Posição do Comutador.
- Período
  - ✓ 1 ano.
- Procedimento ou item de Verificação
  - ✓ Penetração de água no interior do indicador externo.
- Avaliação / Correção
  - ✓ Fazer a Manutenção do Indicador.
  - ✓ Retirar umidade na caixa de terminais.

### **Cláusula 6**



- Ponto de Inspeção
  - ✓ Exterior do tanque.
- Verificar
  - ✓ Indicador de Posição do Comutador.
- Período
  - ✓ 1 ou 3 anos.
- Procedimento ou item de Verificação
  - ✓ Verifique a condição geral da pintura do tanque.
- Avaliação / Correção
  - ✓ A renovação da pintura da superfície externa deverá ser feita de acordo com a seguinte frequência.
  - ✓ Os equipamentos instalados em zonas industriais, marítimas e em atmosferas poluídas quimicamente de 12 em 12 meses.
  - ✓ Os equipamentos instalados em atmosfera sem poluição e fora da orla marítima, aproximadamente de 3 em 3 anos.

### **Cláusula 7**

- Ponto de Inspeção
  - ✓ Óleo isolante.
- Verificar
  - ✓ Rigidez dielétrica.
- Período
  - ✓ 6 meses.
- Procedimento ou item de Verificação
  - ✓ Todos os procedimentos devem estar de acordo com a norma ABNT NBR 6869.
- Avaliação / Correção
  - ✓ Satisfatório: maior que 26 kV/2,5 mm.
  - ✓ A recondicionar: menor que 26 kV/2,5 mm.

### **Cláusula 8**

- Ponto de Inspeção
  - ✓ Miscelânea.
- Verificar

- ✓ Miscelânea.
- Procedimento ou item de verificação
  - ✓ Verifique a condição de fixação das partes conectadas ao tanque.

### Inspeção interna do regulador

Recomenda-se a cada 250.000 operações realizar a inspeção interna do regulador. Esta periodicidade é a mesma recomendada para o comutador.

A inspeção interna consiste basicamente de:

- Inspeção do comutador de derivação de carga, conforme instrução específica para o mesmo.
- Inspeção da parte ativa.

### Retirada da parte ativa do tanque

A retirada da parte ativa do tanque deverá ser feita em local abrigado, preferencialmente com controle de poeira, retirando-a totalmente do tanque.

Procedimentos:

- Retire os parafusos de fixação da tampa;
- Retire todos os parafusos de fixação e aterramento da caixa de controle ao tanque do regulador. A caixa de controle sai junto com a tampa se necessária;
- A parte ativa deverá ser removida do tanque pelos olhais de suspensão localizados na tampa; Quando se fizer a inspeção verifique se todos os parafusos, porcas e conexões estão bem apertadas;
- Para cada hora de exposição, a parte ativa deverá ser submetida a 2 (duas) horas de vácuo. Máximo 5 mmHg;
- Após terminado o período de vácuo, deverá ser iniciado o enchimento de óleo. Completado o nível de óleo, o vácuo poderá ser quebrado;
- Deixe o regulador em repouso por 12 horas antes de energizá-lo.

### Equipamentos necessários à inspeção

Instrumentos

- Instrumento para testar a rigidez dielétrica do óleo.
- Aparelho para teste de relação de espiras.
- *Volt-ohmímetro* para calibração e teste do aparelho de comando.
- “*Megger*” para testes de isolamento.

## **Anexo 06**

### **Principais fabricantes:**

- ITB (Indústria de Transformadores Birigui);
- TOSHIBA;
- WEG;
- SIEMENS.

## Anexo 07

Ajuste da compensação de queda na linha para os tipos de ligações dos reguladores vantagens e desvantagem dos tipos de ligações.

### Conexão em Estrela

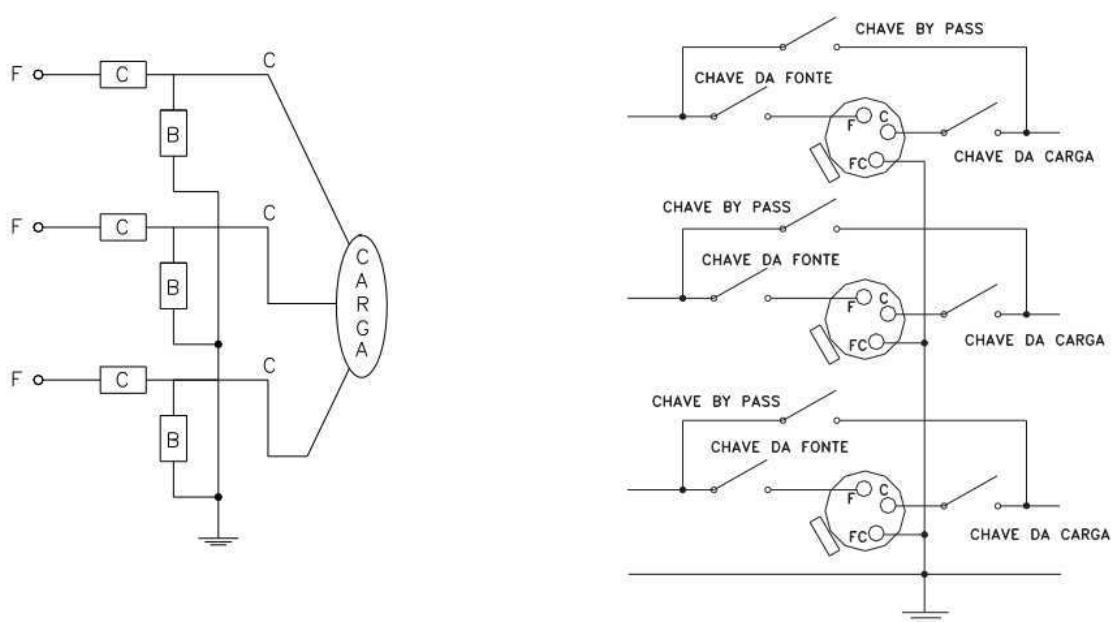


Figura 24 - Conexão em estrela (Toshiba, 2011).

Supondo os reguladores elevando em +10%.

O diagrama fasorial ficaria:

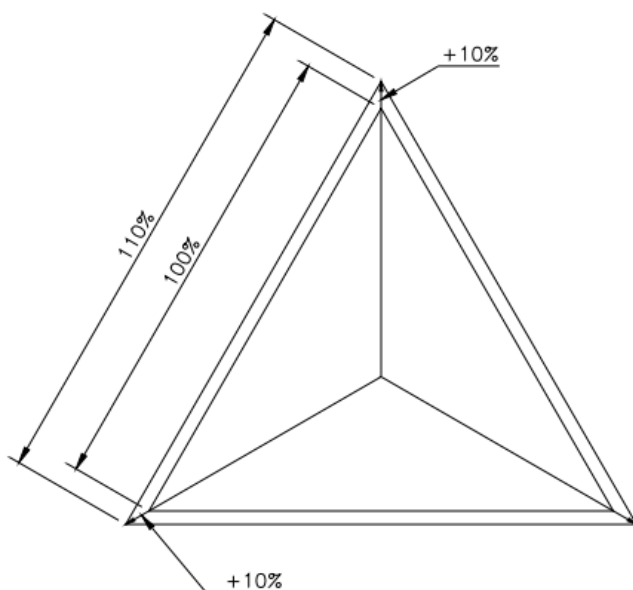


Figura 25 - Diagrama fasorial da conexão em estrela (Toshiba, 2011).

A recomendação é que se o banco de reguladores for ligado em estrela, necessariamente a fonte seja também em estrela, para que a corrente de neutro devido à possíveis desequilíbrios de carga do banco tenha caminho fechado para a terra e, portanto para a fonte (Toshiba, 2011).

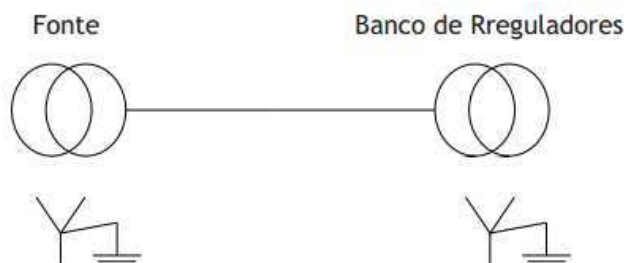


Figura 26 – Ligação do banco de reguladores e a fonte de energia (Toshiba, 2011).

### Observação

Recomenda-se que a resistência de aterramento seja menor que 20 ohms.

Caso a fonte seja em triângulo, e o banco de reguladores em estrela, o neutro virtual da ligação estrela se deslocará caso a carga seja desequilibrada, e o banco de reguladores entrará numa avalanche de comutações. Geralmente no banco, alguns reguladores vão para a posição máxima elevar e outro(s) para o máximo abaixar (Toshiba, 2011).

### Conexão em Delta Fechado

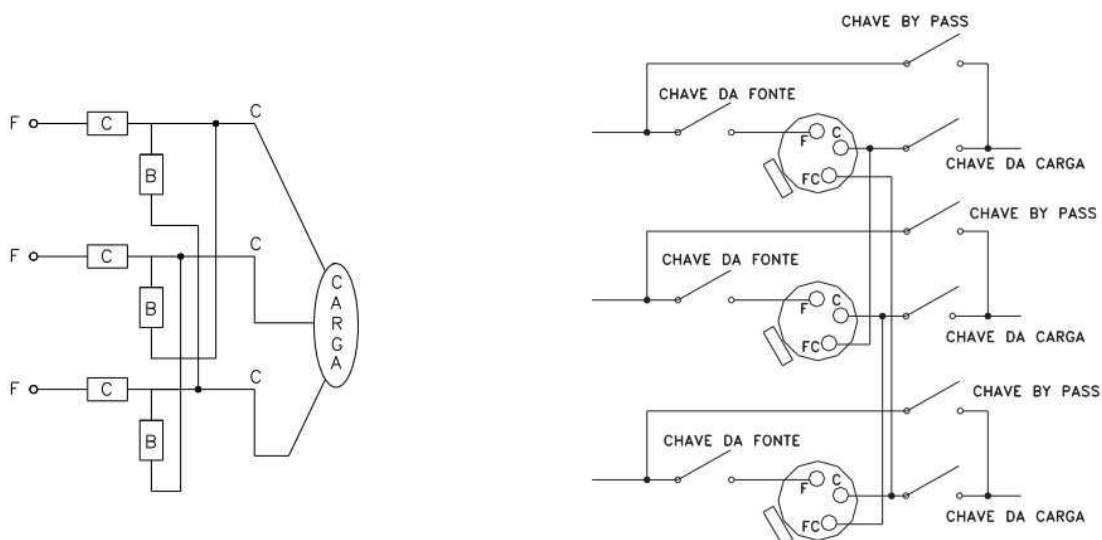


Figura 27 – Conexão delta fechado (Toshiba, 2011).

Supondo reguladores de 13800 V, elevando em +10%.

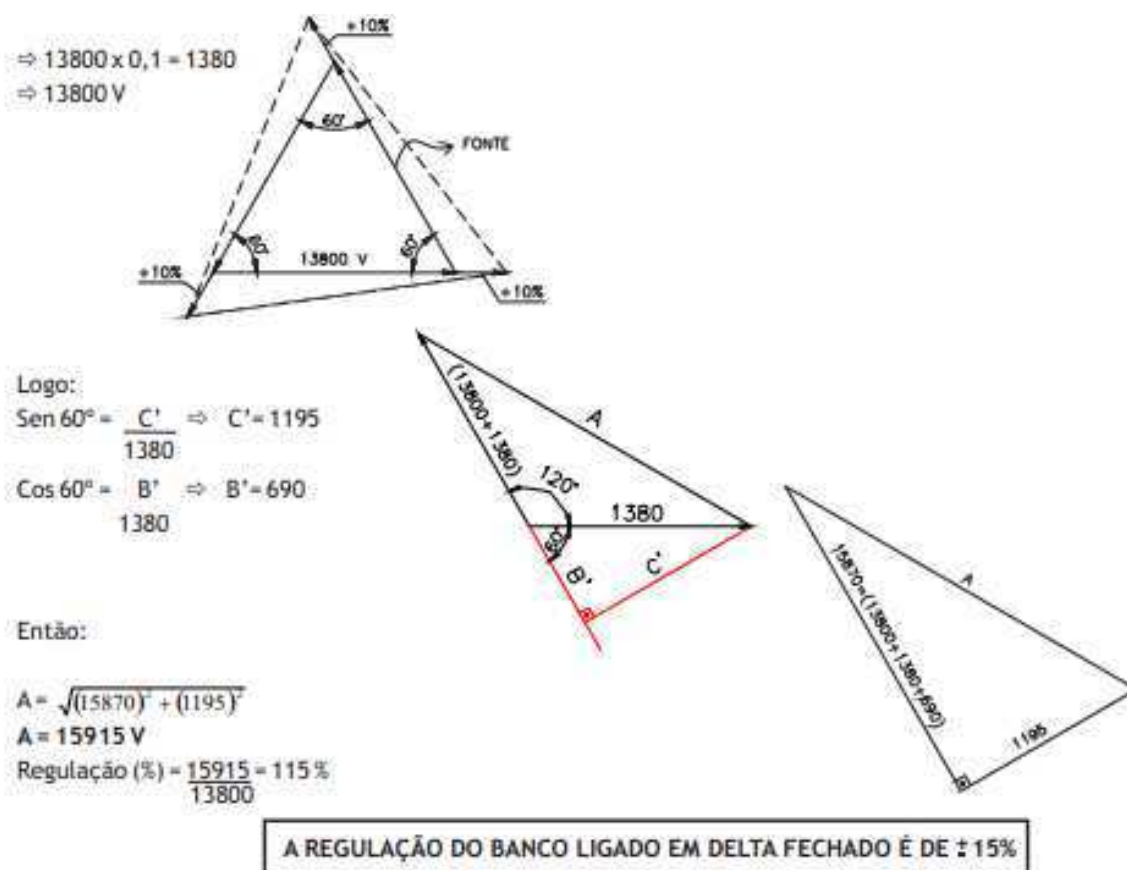


Figura 28 - Demonstração da regulação do banco de reguladores ligado em delta fechado (Toshiba, 2011).

## Conexão em Delta Aberto

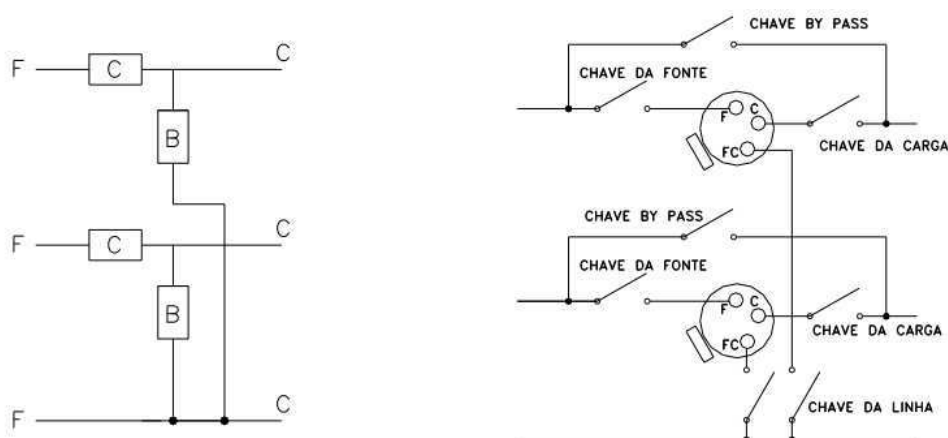
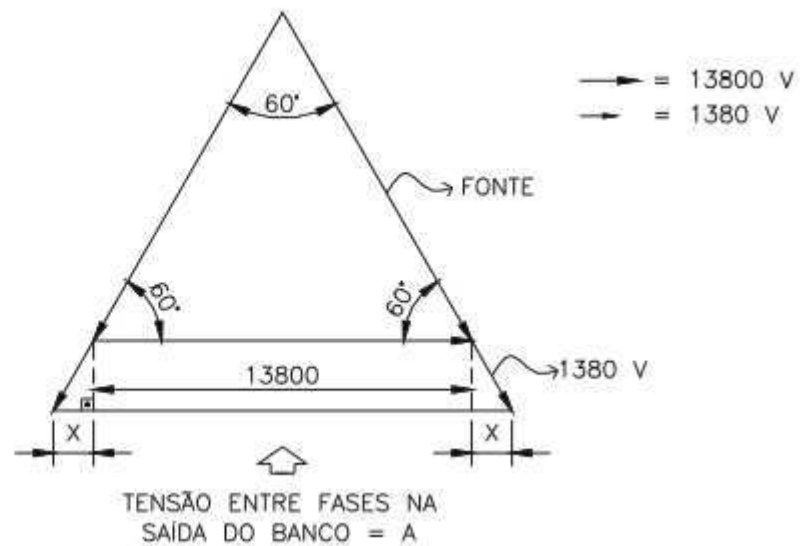


Figura 29 – Conexão em delta aberto (Toshiba, 2011).

Supondo reguladores de 138 kVA 13800 V elevando em +10%.



Logo:

$$\cos 60^\circ = \frac{X'}{1380} \Rightarrow X' = 690$$

$$A = 13800 + 2X = 15180$$

$$\text{Regulação (\%)} = \frac{15180 - 13800}{13800} = 10\%$$



**A REGULAÇÃO DO BANCO LIGADO EM DELTA ABERTO É DE  $\pm 10\%$**

Figura 30 – Demonstração da regulação do banco de reguladores ligado em delta aberto (Toshiba, 2011).

Esta ligação é vantajosa quando se tratar de ligação em cascata, com isso coloca-se 2 reguladores em cada ponto da cascata, economizando 1 regulador. Recomenda-se utilizar 3 e no máximo 4 bancos de reguladores em cascata, devido à problemas de possíveis sobretensões no sistema quando do fechamento de religadores (Toshiba, 2011).