



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

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

Diego Pereira Cavalcanti

Orientador:

Genoilton João de Carvalho Almeida, M. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Maio de 2013

Relatório de Estágio Integrado

Relatório de Estágio Integrado Submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ciências no domínio da Engenharia Elétrica.

Diego Pereira Cavalcanti
Aluno

Genoilton João de Carvalho Almeida, M. Sc.
Orientador

Campina Grande, Paraíba
Maio de 2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças em diversos momentos de minha vida em que achei não ser possível chegar onde hoje estou.

A minha Mãe que sempre foi o meu porto seguro e minha conselheira fiel. Aos meus irmãos Carla, Camila e Gustavo por estarem sempre ao meu lado e por crescermos juntos como pessoas e família.

Agradeço a minha esposa Raissa, por sempre estar ao meu lado mesmo em momentos difíceis. Ao meu filho Eduardo, razão maior do meu esforço e dedicação.

Por fim, agradeço aos amigos pelos momentos vivenciados, ao apoio recebido durante o período de estágio, bem como à empresa FAAB Engenharia Ltda pela oportunidade oferecida.

APRESENTAÇÃO

O presente relatório visa descrever as atividades realizadas durante o estágio integrado realizado na FAAB Engenharia LTDA, empresa no ramo de construções de linhas e subestações, bem como apresentar uma visão geral da obra na qual o estágio foi centrado.

O estágio foi realizado na construção da linha de transmissão de 138 kV que ligará a subestação da cidade de Ibicoara à subestação em construção da mineradora Vanádio, do grupo canadense Largo Resources, localizada na cidade de Maracás – BA, sendo esta o cliente final. A FAAB, empreiteira do serviço, prestou serviços para a COELBA.

Foram realizadas atividades de supervisão e execução de projetos, nos serviços de topografia, escavação, concretagem, montagem e lançamento de cabos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema Interligado Nacional.....	1
Figura 2. Simbologia de uma linha de transmissão.....	4
Figura 3. Diagrama unifilar simplificado dos sistemas de geração e transmissão.....	4
Figura 4. Representação do sistema elétrico com destaque n a linha de transmissão.....	5
Figura 5. Entrada da linha de transmissão em uma subestação.....	5
Figura 6. Linha de transmissão de circuito simples.....	7
Figura 7. Linha de transmissão de circuito duplo.....	7
Figura 8. Linha de transmissão em corrente contínua.....	8
Figura 9. Tipos de estrutura.....	10
Figura 10. Ilustração de estruturas tipo suspensão.....	14
Figura 11. Abertura e limpeza de faixa com presença obrigatória da fiscalização ambiental.....	21
Figura 12. Empilhamento do material lenhoso durante abertura e limpeza de faixa.....	22
Figura 13. Fotografia da utilização do rompedor na escavação.....	23
Figura 14. (a) Fotografia da malha de detonação. (b) Fotografia do abafamento da explosão.....	23
Figura 15. Ferragem utilizada numa estrutura de amarração, com a sub-base já pronta.....	24
Figura 16. Implantação de poste com auxílio do guindauto.....	25
Figura 17 – Poste sendo nivelado através do prumo.....	25
Figura 18 – Passagem provisória dos cabos nas roldanas (“bandolas”).....	27
Figura 19 – Empancaduras com andaimes.....	27

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	iii
Apresentação.....	iv
Lista de Figuras.....	v
Sumário.....	vi
1 Terminologias.....	1
1.1 Sistema Elétrico.....	1
1.2 Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).....	1
1.3 Sistema Interligado Nacional (SIN).....	1
1.4 Concessionária.....	2
1.5 Ampacidade.....	2
1.6 Efeito Corona.....	2
1.7 Compensação de Linhas.....	2
1.8 Faixa de Linha de Transmissão.....	2
1.9 Risco de Falha do Espaçamento.....	2
1.10 Ferragens.....	3
1.11 Arco-Elétrico.....	3
1.12 Frequência do Sistema.....	3
2 Linhas de Transmissão.....	4
2.1 Introdução.....	4
2.2 Classificação.....	6
2.3 Constituição.....	9
2.4 Funcionamento.....	11
2.5 Especificação.....	12
3 O Estágio.....	19
3.1 A Empresa.....	19
3.2 Ambiente do Estágio.....	19
3.3 Atividades de Construção.....	20
4. Considerações Finais.....	29
Referências Bibliográficas.....	30

1. Terminologias

1.1 Sistema Elétrico

O sistema elétrico engloba todas as partes por onde a energia elétrica passa, compreendendo, no geral, a geração, a transmissão e o consumo da energia elétrica.

1.2 Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)

Responsável pela coordenação e controle da operação da geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional, sendo o regulador das concessionárias.

1.3 Sistema Interligado Nacional (SIN)

Sistema formado por concessionárias de todas as regiões do Brasil, que interliga grande parte das usinas e das linhas de transmissão do país. O sistema é operado pela ONS. Apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontra-se fora do SIN. A figura 1 representa as linhas e usinas desse sistema.

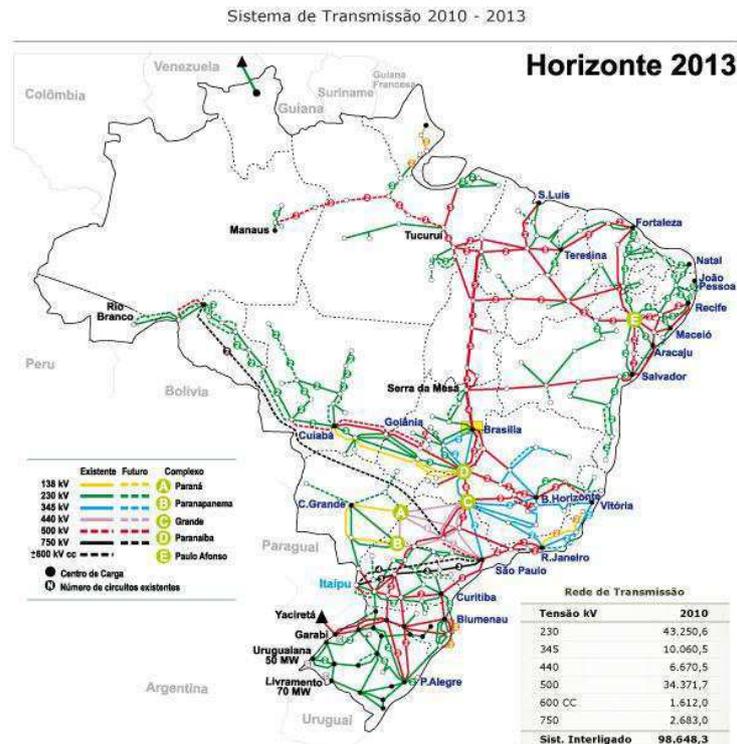


Figura 1 – Sistema Interligado Nacional

1.4 Concessionária

Empresa proprietária ou responsável pela linha de transmissão, que deve manter o seu funcionamento e realizar manutenção para isso. Algumas concessionárias são responsáveis pela construção da linha de transmissão.

1.5 Ampacidade

Corrente máxima que a linha é capaz de transmitir sem que haja um aquecimento elevado dos condutores que provocam sua dilatação, aumentando a flecha da linha e diminuindo a distancia do cabo ao chão, tornando perigoso o local da instalação.

1.6 Efeito Corona

Efeito decorrente do rompimento do dielétrico do ar ao redor dos condutores, que cria pequenas descargas ao redor do condutor, com forma similar de uma coroa. Ele provoca perdas eléctricas no sistema e interferência em rádio e TV em localidades próximas. Já na ocorrência de sobretensões na linha, o efeito corona é um meio importante de amortecer tais falhas, agindo como um "escape" desta energia excedente. As linhas de EAT sao projetadas de forma a terem seu campo elétrico proximo desse valor limite. Utiliza-se multiplos condutores por fase para evitar esse efeito.

1.7 Compensação de Linhas

Para linhas com grandes comprimentos, acima de 400 km, é necessário o uso de equipamentos de compensação, tais como reatores em paralelo e capacitores em série, para aumentar a capacidade da linha.

1.8 Faixa de Linha de Transmissão

Caracterizam-se como locais com restrições ou com limitações no tocante à implementação de uso e ocupação que configurem violação dos padrões de segurança estabelecidos nas normas técnicas e procedimentos das concessionárias de energia.

1.9 Risco de Falha do Espaçamento

Probabilidade de falha da linha de transmissão por ocorrência de rompimento do isolamento do espaçamento do condutor ao solo ou aos obstáculos atravessados pela linha ou que dela se aproximem.

1.10 Ferragens

As ferragens, também chamadas ferragens eletrotécnicas, são dispositivos para fins de fixação, sustentação, emenda, proteção elétrica ou mecânica, reparação, separação, amortecimento de vibrações de cabos.

1.11 Arco-Elétrico

Fluxo de corrente entre dois eletrodos condutivos, em meio normalmente isolante, como o ar, por exemplo. O resultado dele é temperatura bastante elevada, capaz de fundir alguns materiais. Causa grandes danos na instalação.

1.12 Frequência do Sistema

O sistema elétrico é, em geral, trifásico com corrente alternada (senoidal). A frequência do sistema é a quantidade de revoluções feitas pela senoide em um segundo. A frequência do sistema é normalmente 50/60 Hz. O sistema elétrico brasileiro tem frequência nominal de 60 Hz.

2. Linhas de Transmissão

2.1 Introdução

Por definição, linha de transmissão é um circuito elétrico que interliga diferentes tipos de subestações (elevadora, abaixadora, de transmissão), cujo objetivo é o transporte da energia elétrica. Para se caracterizar esse transporte como linha de transmissão, a tensão da linha deve ser superior a 138kV. Abaixo desse valor, temos linhas de subtransmissão e distribuição.

Diferentemente da maioria dos equipamentos elétricos, ela não possui uma simbologia detalhada, tendo sua representação mostrada na figura 2.



Figura 2 – Simbologia de uma linha de transmissão.

Um exemplo da utilização dessa simbologia está na representação do diagrama unifilar da figura 3, que representa, ainda, um gerador e um transformador.

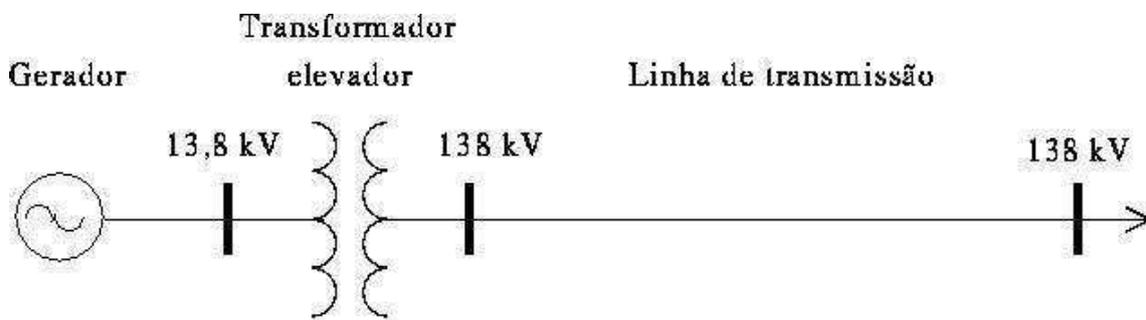


Figura 3 – Diagrama unifilar simplificado dos sistemas de geração e transmissão.

As linhas de transmissão são utilizadas, basicamente, entre as subestações elevadora e abaixadora, conforme está ilustrado na figura 4. Já na figura 5, temos imagem da entrada delas em subestações.

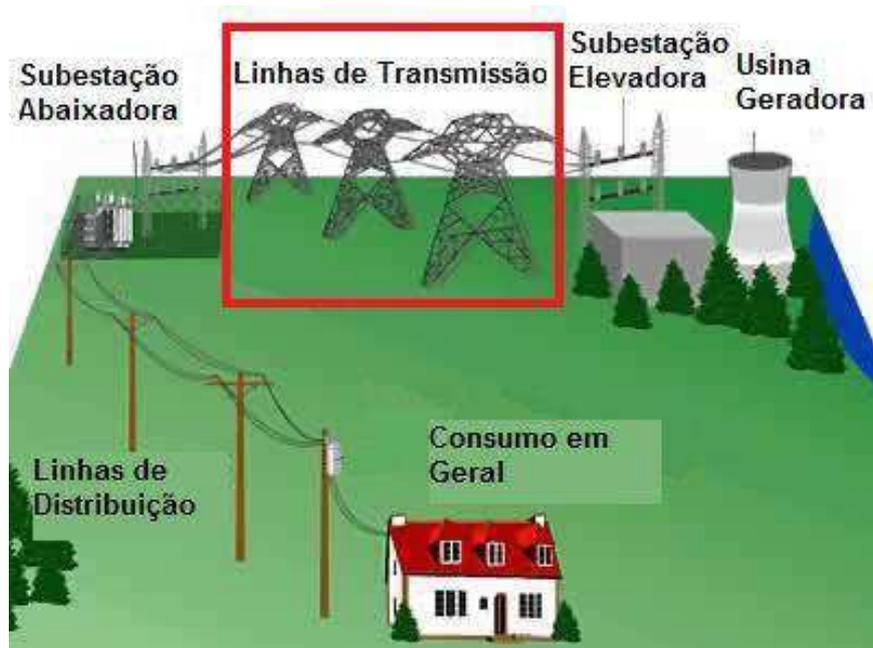


Figura 4 – Representação do sistema elétrico com destaque na linha de transmissão.



Figura 5 – Entrada da linha de transmissão em uma subestação.

2.2 Classificação

Existem diferentes tipos de linha de transmissão. Por isso, elas seguem alguns critérios de classificação conforme elencados a seguir.

2.2.1 Nível de Tensão

As linhas de transmissão são classificadas, em primeiro lugar, de acordo com seu nível de tensão. As variáveis que influenciam no nível de tensão a ser transportada por uma linha são: a potência a transportar, o comprimento dessa linha e o custo para sua instalação. O nível de tensão deve ser alto para reduzir as perdas, pois a seção do condutor diminui, já que quanto maior a tensão, menor será a seção transversal do condutor, como mostrado mais adiante. Abaixo, ilustremos um exemplo da diferença da seção do condutor para diferentes níveis de tensão.

Para transmitir a potência de 50 MW com fator de potência de 0,85, por meio de uma linha de transmissão trifásica com condutores de alumínio, desde a usina hidroelétrica, cuja tensão nominal do gerador é 13,8 kV, até o centro consumidor situado a 100 km, admitindo-se uma perda por efeito Joule de 2,5% na linha, o diâmetro do cabo é determinado segundo as seguintes formulas: considerar a resistividade do alumínio ($0,02688 \Omega \frac{mm^2}{m}$).

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \varphi} \quad R = \frac{P_L}{I^2} \quad S = \rho \frac{l}{R}$$

Para a transmissão em 13.8kV, a seção do condutor deve ser 130mm², enquanto para 138kV, essa seção deve ser de 13mm². Percebemos, então, a economia que é feita ao utilizar uma tensão elevada nas linhas de transmissão.

Assim, de acordo com os níveis de tensão, as linhas podem ser de:

- **Subtransmissão:** nesse trabalho serão consideradas linhas de subtransmissão as linhas que operam em 69kV e 138kV, que, normalmente passam nos centros urbanos.
- **Alta tensão (AT):** são as linhas de transmissão com tensão entre 138kV e 230kV.
- **Extra Alta Tensão (EAT):** são as linhas de transmissão com tensão entre 230kV e 765kV.

- **Ultra Alta Tensão (UAT):** são linhas ainda em desenvolvimento e com pouca utilização atualmente. A sua tensão é acima de 765kV e já existem estudos para transmissão em 1MV.

2.2.2 Formas de Construção

Outra forma de classificar a linha de transmissão é segundo a sua forma de construção. A linha pode ser construída de duas maneiras:

- **Circuito simples:** Nesse tipo de construção, a torre de transmissão leva apenas um grupo de fases. A figura 6 é um exemplo desse tipo de construção.

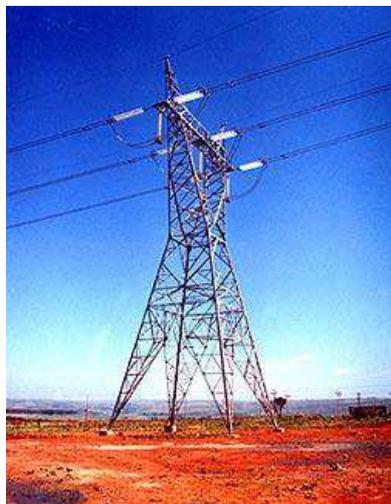


Figura 6 – Linha de transmissão de circuito simples

- **Circuito duplo:** nesse outro tipo de construção, a torre de transmissão leva dois grupos de fases. A figura 7 é um exemplo dessa construção.



Figura 7 – Linha de transmissão de circuito duplo.

2.2.3 Tipo de Corrente Transportada

A transmissão da energia elétrica pode ocorrer com dois tipos de corrente: alternada ou contínua. No atual sistema elétrico, a geração de tensão se dá por meio de corrente alternada. Por essa razão, a grande maioria dos equipamentos trabalha com esse tipo de tensão. Logo, temos:

- **Corrente alternada:** por não haver necessidade de alterações em sua forma para ser transmitida, é a forma mais usual para transporte de energia por linhas de transmissão.
- **Corrente contínua:** tipo de transmissão mais atual, mostrando-se mais viável para linhas, de tensões elevadas, com comprimento bastante grande. As vantagens em sua utilização está no fato de haver desacoplamento entre sistemas e a economia de cabos, usando de estruturas mais leves. Ela já é utilizada na usina de Itaipú. A figura 8 é um exemplo de linha de transmissão em corrente contínua.



Figura 8 – Linha de transmissão em corrente contínua.

2.2.4 Tipo de Linha de Transmissão

Pelo critério do local por onde as linhas passam, podemos classifica-las em:

- **Linhas Aéreas:** é o tipo mais comum de linha de transmissão. São suportadas por torres, e seus cabos ficam expostos.

- ***Linhas Subterrâneas:*** são pouco comuns, mais utilizadas em centros urbanos. Custo bastante elevado por conta da blindagem dos condutores.
- ***Linhas Submarinas:*** bem pouco utilizadas. Específicas para travessia de rios e canais, que por linhas aéreas demanda um projeto especial, pois a catenária formada pelos cabos será imensa, necessitando o uso de cabos com liga especial e torres gigantescas. O uso de linhas submarinas evita o uso destas estruturas, reduzindo a poluição visual e evitando problemas em locais com travessias de navios. Mas essa linha tem a limitação de possuir uma grande capacitância, reduzindo o seu alcance prático para aplicações em corrente alternada, fato no qual é preferível o uso de linhas em corrente contínua.

2.3 Constituição

2.3.1 Cabos Condutores

Os cabos condutores são formados de várias comandas de fios encordoados. São utilizados como materiais o alumínio (AAC), alumínio-liga (AACC) - alumínio com alma de aço (ACSR). Mais adiante veremos detalhadamente cada tipo.

2.3.2 Aterramento

O aterramento é geralmente feito por cabos de cobre e/ou aço cobreado, tem a função de descarregar as tensões excedentes para a terra.

2.3.3 Isoladores

Os isoladores são instalados em conjunto denominado de cadeias de isoladores, e servem juntamente com as ferragens, para fixar os condutores nas estruturas, mantendo-se o isolamento necessário entre eles. Em geral os isoladores são discos de vidro ou porcelana e poliméricos, as ferragens são dimensionadas para suportarem as cargas mecânicas transmitidas pelos cabos condutores e as solicitações elétricas pelas sobretensões que ocorrem numa linha de transmissão.

2.3.4 Para-Raios

Os para-raios mais utilizados para linhas de transmissão são do tipo Óxido de Zinco (ZnO) sem centelhadores, sua função é evitar que as sobretensões causadas pelas descargas elétrica provenientes de raios cause um arco entre a linha e a estrutura da torre.

2.3.5 Esferas de Sinalização

As esferas são geralmente laranja e constituídas feitas em resina polimérica reforçada com fibra de vidro. São colocadas com um espaçamento pré-determinado nas LTs com o intuito de sinalizar a presença dos cabos, evitando acidentes por aeronaves ou outros deslocamentos sobre a área de ação do cabo. Pesa aproximadamente 4,6 kg e é fixada por flanges que associadas ao elemento pré-formado garantem uma proteção efetiva à linha.

Não requerem manutenção, não se deslocam, não giram, não ocorre atrito com o cabo nem causam eletrólise ou ressonância harmônica na vibração.

2.3.6 Estruturas ou Suporte

As estruturas de uma linha de transmissão servem de suporte para os cabos condutores e pára-raios, são dimensionados para manterem os cabos condutores com distâncias elétricas das partes aterradas compatíveis com nível de tensão, além de suportarem mecanicamente os esforços transmitidos pelos cabos. São utilizadas estruturas em concreto, metálicas com perfis de aço galvanizado ou em postes de aço.

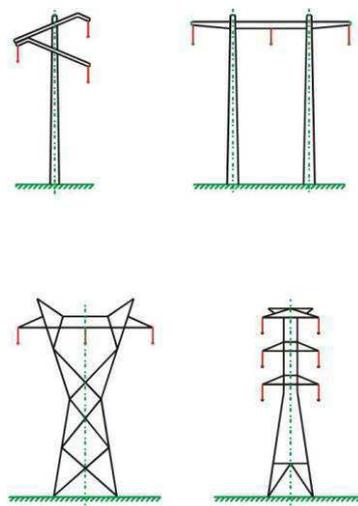


Figura 9 – Tipos de estrutura

2.4 Funcionamento

O funcionamento de uma linha de transmissão é baseado no fato de que quanto maior a tensão menor serão as perdas ao longo do trajeto, perdas com aquecimento, causado pela sua resistência interna, e perdas eletromagnéticas causadas pela sua indutância própria.

Após sair da geração a linha de transmissão segue para a subestação de transmissão aonde seu potencial é elevado. Quanto maior a distância entre os pontos extremos das linhas de transmissão, maior deverá ser a tensão, sendo menores as perdas.

Estudos atuais visam o melhoramento dos cabos condutores, para que esse aumento de tensão não seja necessário, pois com um cabo mais eficiente (aquele em que existem menos perdas), a tensão exigida pode ser menor. Essas são as pesquisas dos supercondutores.

Algumas classificações em suas etapas de construção, que serão detalhas no capítulo seguinte, são abaixo mostradas.

Com respeito à etapa de abertura e limpeza de faixa, existem algumas definições que ajudam a identificar a melhor maneira de se abrir a faixa, são elas:

Supressão da Vegetação:

Definida como o corte de espécies para abertura da faixa de segurança e limpeza da área, com arrumação e remoção do material extraído, para o limite da borda da faixa (Chesf, 2004).

Faixa de Servidão:

A área onde será implantada a linha de transmissão, para qual a Chesf disponibilizará licenças ambientais para supressão vegetal e direitos de passagens, junto aos proprietários das terras (Chesf, 2004).

Faixa de Segurança:

É a área dentro da faixa de servidão, onde será executada a supressão da vegetação, esta área é definida de acordo com a característica da linha, em linhas de 230 kV, a faixa é variável de 30 a 45 m (Chesf, 2004).

Já para a etapa de escavação, antes de decidir o melhor projeto, são feitos estudos visando identificar e classificar o tipo de solo, de acordo com suas especificações, apresentadas abaixo:

Categoria “A”: Escavações em solos tais como: Areia, argila rija ou seca, massapê, piçarra e solos com pedras roladas, com o uso normal de pás e picaretas.

Categoria “B”: Escavações em rocha branda, solos concrecionados, solos lateríticos, regiões de blocos de rochas e outros solos que exijam o uso de alavancas ou material pneumático, sem o uso de explosivos.

Categoria “C”: Escavações em rochas pouco alterada e são, blocos de rocha de grande dimensão, e outros tipos de solos que necessitam o uso de explosivos.

Categoria “D”: Abrange escavações em solos alagadiços e que atinjam nível de água subterrâneo, onde necessitam de bombeamento e escoramento.

Após o término de estudos, e definição de projetos, os mesmos são fornecidos a empreiteira, e dar-se-á início as escavações.

2.5 Especificação

2.5.1 Corrente

A transmissão de energia elétrica pode ser feita em corrente contínua ou corrente alternada. Hoje, só em alguns casos é utilizada a transmissão em corrente contínua.

As vantagens da utilização de alternadores (máquinas de corrente alternada) relativamente aos dínamos (máquinas de corrente contínua) na produção da energia elétrica está na facilidade de conversão dos níveis de tensão para adequá-los às diferentes etapas da cadeia de energia, e a necessidade de muitos equipamentos terminais serem alimentados em corrente alternada, levaram a que se use quase exclusivamente a corrente alternada.

No entanto convém referir, que o uso de corrente contínua não foi completamente abandonado, há casos em que é utilizada na transmissão de energia elétrica, como é o caso do transporte de grandes quantidades de energia a longa distância em meios ambientes adversos (efeito pelicular) ou quando é necessário efetuar a interligação de dois sistemas a frequência diferente.

2.5.2 Tipos de Estruturas

Estruturas ou suportes das linhas de transmissão são elementos de sustentação dos cabos condutores e para-raios e tem tantos pontos de fixação de condutores e para-raios quanto forem os mesmos. Suas dimensões e formas são variáveis e dependem da classe de tensão, da função mecânica, do tipo de material empregado, da disposição dos condutores e para-raios, etc.

Por conta disto, existe uma variedade muito grande de estruturas ou suportes. Padrões estruturais são famílias de estruturas que atendem ao projetista, permitindo especificar corretamente a LT, indicando a estrutura adequada para cada caso, à luz dos estudos feitos, os quais visam criar suportes seguros, porém econômicos.

- ***Quanto à classe de tensão***

Para cada classe de tensão, é necessário projetar padrões estruturais que atendam a cada nível de isolamento, com vistas a segurança e a economia, na medida em que é necessário estabelecer as distâncias fase-fase e fase-terra, levando inclusive em conta o balanço das cadeias.

- ***Quanto ao material empregado***

Podem ser de madeira, aço (treliça e pilares + vigas) e concreto armado (convencional e contraventada).

- ***Quanto ao espaçamento***

Podem ser estruturas convencionais (são antieconômicas e em geral ocupam grandes espaços) e estruturas compactas (aumento de energia transportada, otimizando e reduzindo o custo do empreendimento aumentando assim a eficiência da LT).

- ***Quanto à função mecânica***

No que tange à função que desempenham as estruturas pode, muito simplesmente, ser classificadas em:

- a) ***Suspensão ou Alinhamento***

As estruturas de suspensão são as mais comuns, inclusive por serem as mais simples e as mais econômicas. Devem suportar igualmente as forças horizontais e

transversais decorrentes da pressão do vento sobre os cabos, isoladores e seus próprios elementos (LABEGALINI, 1992). Sua finalidade precípua é simplesmente apoiar os cabos condutores e pára-raios, mantendo-os afastados do solo/terra e entre si, de acordo com normas de segurança bem definidas. Elas têm como característica comum o fato de que os condutores nelas têm continuidade, não sendo seccionados mecanicamente e sim apenas grampeados, através dos chamados grampos de suspensão, que pode, ser do tipo comum, ou pré-formados, com armadura de vergalhão, que são, em última análise, excelente proteção contra as vibrações eólicas. Na figura 10 abaixo, seguem dois exemplos desse tipo de estrutura, mostrando sua configuração tanto para circuito simples quanto para circuito duplo.

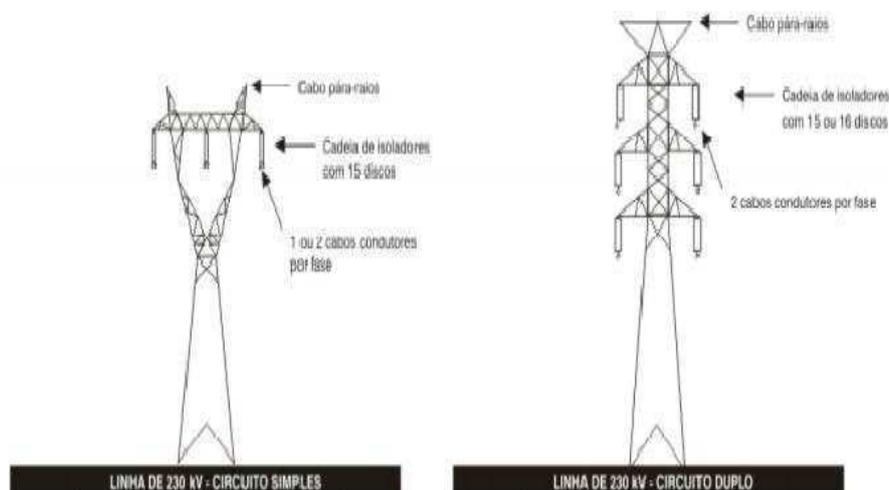


Figura 10 - Ilustração de estruturas tipo suspensão (RANGEL, 2009)

b) Amarração ou Ancoragem

Ao contrário das estruturas de suspensão, elas seccionam mecanicamente as LT's, servindo de ponto de reforço e abertura eventual em eventos específicos. São suportes de segurança das LT's e normalmente são projetadas para resistirem às cargas assimétricas, acidentais ou não, provocados por ocorrências fortuitas de porte. Elas podem ser de alinhamento ou de ângulo grande (muito eventualmente ângulos pequenos e praticados com ancoragens). As de alinhamento suportam deflexões pequenas sem maiores problemas, mas, em princípio, são projetadas para serem instaladas em tangentes. As de ângulo são normalmente estruturas muito resistentes e podem suportar ângulos de 15 a 35° (médias) e até ângulos de 90°. É evidente que há um compromisso entre os ângulos e os vãos de peso e de vento, daí resulta que durante os estudos e projetos dos padrões estruturais, este aspecto é exaustivamente examinado e dão ao final características definitivas a cada estrutura.

c) *Ancoragem “Total” ou “terminal”*

São suportes utilizados no início e no fim das linhas, cabendo-lhes a responsabilidade de manter os cabos esticados. São mais solicitados, sendo, portanto os mais reforçados. São usados com cadeias de isoladores em tensão (de ancoragem), mesmo em linhas de tensões mais baixas que empregam isoladores de pino ou pedestal. (LABEGALINI, 1992)

d) *Ângulo*

São estruturas responsáveis por suportar as forças resultantes de tração dos cabos, devido ao ângulo, bem como os esforços verticais e transversais.

Existe uma diferenciação visual, assim como nas estruturas de suspensão, das três classificações citadas acima com relação à cadeia de isoladores, observa-se que a cadeia é “amarrada” na estrutura horizontalmente, e existe um “jump” que faz a interconexão entre os dois vãos.

e) *Derivação*

Estruturas projetadas especificamente para a situação, quando se deseja alimentar uma outra linha, sem a necessidades de pátio de seccionamento ou manobra.

f) *Transposição ou Rotação de fases*

Utilizadas quando existe a necessidade de rotacionar as fases, para diminuir as perdas na linha, são feitas por estruturas diferenciadas. Tais rotações acontecem mais em linhas de 500 kV acima, onde normalmente cada fase possui mais de um cabo.

- **Quanto à configuração física dos condutores**

As estruturas, segundo a configuração física dos condutores, podem se classificar como segue: triangular, horizontal e vertical.

- **Quanto a sua forma de resistência**

As estruturas podem, segundo a forma de resistir aos esforços que lhe são impostos, ser de dois tipos principais: autoportantes (rígidas, flexível e semi-rígida) e estaiadas.

2.5.3 Cabo Condutor

Os condutores das linhas de transmissão são considerados os elementos ativos por estarem normalmente energizados, sendo a sua escolha baseada em função das características técnicas e econômicas, ou seja, assegurar que a linha transfira a potência necessária a um custo razoável, visando o bom desempenho do sistema de transmissão. Para atendimento a esta premissa, os condutores devem ser selecionados com suficiente capacidade técnica para atender as condições de regime normal e de emergência. O custo dos condutores representa cerca de 60% do custo dos materiais de uma linha de transmissão, restando 40% para os demais componentes, daí a importância para o dimensionamento correto dos mesmos.

Na escolha do material que deve ser utilizado para os condutores, é fundamental considerar as seguintes características:

- **Alta condutibilidade:** o material deve ter baixa resistência elétrica, de modo que as perdas por efeito joule possam ser mantidas, dentro de limites economicamente rentáveis, considerando o custo de transporte de energia.
- **Elevada resistência mecânica:** a resistência mecânica é responsável pela integridade física dos condutores, garantindo a continuidade do serviço e segurança das instalações. Quanto maior for a resistência mecânica, mais econômico será o projeto da linha, com o aumento do rendimento de utilização das estruturas.
- **Baixo peso específico:** quanto menor o peso específico dos condutores, menores serão os esforços mecânicos transmitidos as estruturas, conseqüentemente serão utilizadas estruturas mais leves e mais econômicas.
- **Alta resistência a oxidação:** o material deve ser resistente às condições agressivas do ambiente uma vez que com a oxidação ocorre a perda da secção útil do condutor, provocando a redução da sua resistência mecânica e eventual ruptura do condutor.

Os materiais que atendem a estas características são: cobre, alumínio, bem como ligas de alumínio, que são empregados em larga escala comercial atualmente.

Inicialmente foram utilizados os cabos de cobre que apresentavam como vantagens, alta condutibilidade, elevada resistência mecânica, além de alta resistência à corrosão e elevado peso específico exigindo estruturas mais robustas. Em 1895 foram

construídas as primeiras linhas de transmissão com cabos de alumínio, que naquela época apresentavam as desvantagens de ter um preço mais elevado e de menor resistência mecânica quando comparado com o cobre.

A partir de 1908, com a invenção dos cabos de alumínio com alma de aço, CAA ou ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) foram utilizados com sucesso em 1913 na linha BIG CREER na Califórnia. Estes apresentam todas as vantagens quando comparado com o cobre, sendo portanto largamente utilizado até os dias de hoje.

Se por um lado os condutores de alumínio conduzem menos que os de cobre, por outro lado apresentam menores perdas por efeito corona, uma vez que para transportar a mesma corrente, são necessários condutores de alumínio com diâmetro 1,6 maiores que o de cobre e o investimento representa cerca de 25% do investimento necessário para a bitola de cobre equivalente.

Os tipos de cabos condutores mais empregados em linhas de transmissão são:

- **ACSR – (Aluminum Conductor Steel Reinforced)**

O cabo ACSR é constituído de uma ou mais camadas concêntricas de fios de alumínio ECH-19 encordoados sobre uma alma de aço de alta resistência, galvanizado, constituído de um único fio ou de vários fios encordoados, dependendo da bitola do cabo.

A função da alma de aço é dar maior resistência mecânica ao cabo. A corrente elétrica circulará praticamente nos fios de alumínio, tanto devido a diferença de condutividade, quanto ao efeito pelicular.

O número de fios de alumínio e de fios de aço dá a formação do cabo. Diferentes formações correspondem a diferentes relações peso/carga de ruptura e, para cada peso específico haverá uma relação alumínio/aço ótima no cabo.

Em geral o cabo é denominado pela sua bitola e formação. A bitola pode ser dada em MCM que corresponde somente a área de alumínio no cabo. Um CM é uma unidade de área que corresponde à área de um círculo cujo diâmetro é igual a um milésimo da polegada, ou $0,00064516 \text{ mm}^2$.

- **AAC – (All Aluminum Conductor)**

O cabo AAC é composto de vários fios de alumínio ECH-19 encordoados. Para um mesmo percentual de tensão em relação à carga de ruptura, esse tipo de cabo

apresenta flechas superiores às do cabo ACSR, pois apresenta relações peso/carga de ruptura superior às do cabo ACSR.

Cabos AAC podem ser uma alternativa para as linhas de transmissão urbanas, onde os vãos são menores e as deflexões no traçado são maiores, utilizando dessa forma estruturas mais econômicas.

A escolha do tipo de condutor a ser utilizado nas linhas de transmissão deverá levar em conta as diferentes relações peso/carga de ruptura, resistências elétricas custos associados, além de outras características, como por exemplo a definição de um padrão adotado em cada empresa.

O dimensionamento dos cabos condutores de um sistema de transmissão é função basicamente da potência necessária a ser transportada, da distância entre subestações fonte e carga, do nível de tensão de operação e finalmente em função de considerações de ordem econômica.

Para dimensionamento dos cabos condutores, são considerados diversos fatores os quais estão inter-relacionados entre si, são eles: níveis de tensão, queda de tensão admissível, perdas e custos consequentes e o custo dos condutores e condições ambientais.

3. O estágio

3.1 A empresa

A FAAB Engenharia Ltda iniciou suas atividades em 20/08/1979, com razão social de Construtora e Incorporadora FAAB Ltda, já que era voltada especificamente para o ramo de construção e incorporação de imóveis.

A partir de 15/06/1985 passou a atuar na execução de obras diversas, como edificações, urbanizações, obras d'artes correntes e especiais e saneamento básico, tendo como principais clientes: URB-Recife, EMLURB-Recife, Secretaria de Educação de Pernambuco, FNS, DER-PE, Banco do Brasil, Bandepe, City Bank e Companhia Energética de Pernambuco - CELPE.

Ampliou seu quadro técnico e começou a se equipar, visando atuar também junto as Concessionárias de Energia Elétrica, não somente em obras de construção civil, mas também na construção de Linhas de Transmissão e Redes de Distribuição de Energia Elétrica e Construção e Montagem Eletromecânica de Subestações, deixando de ser uma empresa apenas de construção para tornar-se uma verdadeira empresa de ENGENHARIA, ampliando seus horizontes e necessitando trocar a Razão Social para FAAB ENGENHARIA.

Dessa forma, a FAAB Engenharia Ltda tem atuado de forma efetiva no mercado energético com um vasto acervo de obras junto à CELPE, COSERN, COELBA, ENERGISA, CEAL, M&G, AREVA, ABB, COMPESA, GRUPO QUEIROZ GALVÃO, AMBEV, SIEMENS, CEMAR, SEINFRA – CE, STK SISTEMAS, ALSTOM e CHESF.

3.2 Ambiente do estágio

O estágio foi realizado em três obras distintas e foram vivenciadas diferentes etapas para suas implantações. Primeiramente, no estado do Ceará, em uma LT de 230kV interligando a subestação em construção localizada na cidade de Icarai à

subestação Sobral III, acompanhamos as atividades de abertura e limpeza de faixa, topografia, escavação, concretagem, implantação dos blocos de concreto e reaterro.

Posteriormente, em uma LT de 69kV no estado do Maranhão, compreendendo as cidades de Itapecuru à Santa Rita, foram vivenciadas todas as atividades de construção da linha. Nesse caso, as implantações existentes foram de postes apenas, não havendo torres.

Por último, acompanhei a obra LT 138kV Ibicoara – Porto Alegre, que está ainda em execução, onde a FAAB ficou com o segundo trecho com extensão de 46 km, já que a linha foi dividida para duas empresas.

A linha em questão possui no total 87 km e atenderá uma mineradora do grupo canadense Largo Resources, que explorará o vanádio que, entre outras aplicações, é usado para a produção de aços inoxidáveis para instrumentos cirúrgicos e ferramentas, em aços resistentes a corrosão e, misturado com alumínio em ligas de titânio, é empregado em motores de reação. Existe apenas uma mineradora que explora o vanádio no mundo e essa será a segunda, estando localizada na cidade de Maracás, sul da Bahia.

3.3 Atividades de construção

3.3.1 Levantamento Topográfico

Antes do levantamento topográfico, são feitos estudos para escolher o melhor traçado para a LT, levando em consideração aspectos técnicos, econômicos e ambientais como, por exemplo, o tipo de solo, as desapropriações, as travessias e proximidade com áreas populosas, toda essa análise é feita no local da construção e contribui diretamente para a elaboração da planta perfil onde serão locadas as estruturas em pontos adequados.

Inicialmente são feitas locações em campo para levantamentos das diagonais e consequente definição das estruturas e são indicados todos os obstáculos existentes para a construção, tais como rios, matas, cercas, travessias. Vale salientar que em paralelo as análises topográficas são feitos estudos meteorológicos, geotécnicos e ambientais que culminam na elaboração do projeto.

Após a elaboração completa, o projeto segue para análise e consequente providências jurídicas, entrando na nova fase de construção a ser especificada no item subsequente.

3.3.2 Locação das Estruturas

A locação das estruturas é feita também pela equipe de topografia, então são marcados o centro da estrutura e os centros de cavas, de acordo com o que é pedido pelo projeto.

3.3.3 Abertura e Limpeza de Faixa

Para a instalação de uma LT é necessário à abertura de espaços na vegetação, que tem por finalidade a liberação da área para as manobras de construção. Entretanto, não é feita de forma aleatória e desordeira, existem especificações próprias, que visam o menor impacto ambiental e menor número de empecilhos físicos e judiciais para a execução do serviço.

Para a linha em questão, a abertura da faixa foi feita por tratores e utilização de motosserras que fizeram o serviço de empilhamento do material lenhoso de toda a linha.



Figura 11 – Abertura e Limpeza de Faixa com Presença Obrigatória da Fiscalização Ambiental.

Além de definir o trecho onde a linha vai ser instalada, a Coelba define a maneira como se faz o acesso as estruturas, ou seja, a supressão vegetal fora da faixa de segurança. Deve possuir largura máxima de 4,0 m e estar acordada com o proprietário, caso seja dentro de zona privada, exige também que as mesmas estejam sinalizadas, identificando como chegar e a estação das estruturas.

A execução da atividade de abertura e limpeza de faixa na obra LT 138kV Ibicoara – Porto Alegre/BA, só pôde ser feita com a presença da fiscalização ambiental,

cuja equipe foi formada por dois biólogos, um médico veterinário e ajudantes para coletarem os animais encontrados, com o objetivo de minimizar as mortes causadas durante atividade, visando diminuir as modificações que esta causa ao meio ambiente.

Vale salientar que, para a linha em questão, estão sendo utilizadas duas motosserras que à frente do trator de esteira, vão organizando todo o material lenhoso, conforme pode ser visto na Figura 12 abaixo:



Figura 12 – Empilhamento do material lenhoso durante abertura e limpeza de faixa. Obra: LT 138kV Ibicoara – Porto Alegre/BA.

Devido aos problemas de embargos encontrados, esta atividade ainda não foi concluída. A FAAB está no aguardo da solução destas questões para que possa retomar com os serviços. A COELBA não conseguiu fechar valores com três proprietários de terra, pois os mesmos se opuseram a fazer acordo.

Assim, a COELBA entrará com o termo de imissão de posse. Caso os proprietários apresentem ainda alguma resistência, como ameaça aos funcionários, será necessária a presença de policiamento para continuidade dos serviços.

3.3.4 Escavações

A linha Ibicoara – Porto Alegre apresentou uma série de dificuldades no tocante à escavação, devido a característica do solo, por ser rochoso, variando sua classificação entre as categorias “A”, “B” e “C”. Existiu a necessidade da utilização de equipamentos pneumáticos como também da utilização de explosivos em grande escala. A figura abaixo mostra a utilização do rompedor.



Figura 13 - Fotografia da utilização do rompedor na escavação.

Para existir utilização de explosivos, várias providências foram tomadas, tudo foi comunicado à prefeitura local, ao exército que é o órgão responsável pela fiscalização deste tipo de material. O transporte interestadual foi comunicado e o mais importante, a pessoa responsável pela utilização, apresentou um curso de capacitação, possuindo o título de Detonador.

Além dos trâmites legais, a utilização do explosivo não foi feita aleatoriamente, pois existiu um projeto de detonação, feito por uma pessoa competente. A explosão foi abafada evitando que materiais fossem lançados e provocassem danos pessoais e materiais. A Figura 14 ilustra a malha de detonação e o aterro utilizados.



Figura 14 - (a) Fotografia da malha de detonação. (b) Fotografia do abafamento da explosão.

3.3.5 Ferragem para Fundação de Poste de Amarração:

Na LT 69kV Itapecuru – Rosário, como o solo se enquadrava na categoria D, em que abrangia escavações em solos alagadiços, foi necessário a utilização de ferragens para os postes de amarração, diferente dos de suspensão, em que a fundação foi feita apenas através de uma mistura solo-cimento.

Primeiramente, foi feita a escavação no local demarcado pela topografia através dos dados obtidos do arquivo Fundações. No mesmo, são especificados os itens Altura e Diâmetro da Fundação. Depois da cava pronta, foi feita a sub-base, cuja altura varia para cada estrutura. O traço do concreto utilizado foi de: 1(cimento) x 3 (areia) x 4 (brita). A sub-base é a parte da cava em que terá apenas concreto e servirá de suporte para fixação do poste. Após quantizados os ferros 8.0 e 12.5 de acordo com o arquivo de Fundações, em que são especificados altura, diâmetro e quantidade de barras, a ferragem foi feita. Assim, ela é colocada e possui a mesma altura da cava, já que fizemos a sub-base já com a ferragem já dentro, como mostrado na Figura 15.



Figura 15 – Ferragem utilizada numa estrutura de amarração, com a sub-base já pronta. Obra: LT 69kV Itapecuru – Rosário.

3.3.6 Implantação de Postes

Dependendo do tamanho e peso do poste, variamos a implantação do mesmo com auxílio do caminhão munck, para postes mais leves postes mais leves e guindastes para postes mais pesados. Na obra do Maranhão, foi utilizado um guindaste de 30 ton.(capacidade máxima) para implantação do poste em destaque, como mostrado na figura abaixo:



Figura 16 – Implantação de poste com auxílio do guindauto. Obra: LT 69 kV Itapecuru – Rosário/MA.

Antes de sua fixação, o poste foi nivelado pelo prumo (feito a olho mesmo) em sua lateral e frente, conforme Figura 16 abaixo. Depois se analisou o eixo com relação ao poste seguinte, no que chamamos de “patolamento”.



Figura 17 – Poste sendo nivelado através do prumo.

3.3.7 Lançamento de Cabos

Última etapa da construção da linha, exigindo um planejamento estratégico, principalmente se houver travessias de outras linhas no seu trajeto. A empreiteira tem que apresentar um plano de lançamento que será submetido a fiscalização da contratante.

Durante o período de estágio, foram acompanhados alguns lançamentos na obra do Maranhão, incluindo travessias por sobre outras linhas, energizadas e desenergizadas.

Houveram diversos problemas na obra LT 69kV Itapecuru – Santa Rita, dentro os quais podemos destacar o atraso na entrega de projetos e tabela de flechas/tabela de esticamento, onde é explicitada o tamanho da flecha, que por definição é a distância, em metros, do ponto de suporte do condutor ao ponto de maior inflexão de sua curva, determinada por uma catenária).

Primeiramente, foram colocadas cordoalhas temporárias presas nos postes de amarração (tanto de um lado como o do outro) e alças para fortalecer a fixação junto ao solo, estaiando-os. Assim, os mesmos foram reforçados, já que são os postes que irão suportar a tração do cabo.

As 3 bobinas foram colocadas nos cavaletes, que foram adaptados para o cabo daqui: FLINT 740.8 MCM, e foram traçadas pelo trator, onde foi colocado também um dinamômetro para que fosse medido o valor em kgf da força aplicada aos cabos, já que será o valor em que o poste de amarração terá de suportar, verificando assim se está dentro dos padrões explicitados em projetos.

Nesse primeiro tramo, houve um cruzamento de uma linha de 13.8kV, sendo necessário realizar uma empancadura, onde colocamos um poste provisório auxiliar e fixamos a bandola para ser possível a passagem dos cabos sem haver o contato com a rede em questão. As bandolas ou roldanas foram colocadas provisoriamente para passagem dos cabos, conforme ilustrado na figura abaixo. Após o grampeamento dos cabos nas estruturas de amarração e colocação dos isoladores, as mesmas foram retiradas para substituição. Foi feito também uma emenda nos condutores, utilizando a prensa hidráulica.



Figura 18 – Passagem provisória dos cabos nas roldanas (“bandolas”).

Vários tipos de travessias podem ser encontrados, travessias de rios, travessias de estradas, travessias de linhas energizadas e desenergizadas, entretanto o processo de lançamento é basicamente o mesmo, existindo alguns procedimentos básicos que devem ser utilizados.

A primeira etapa em um lançamento com travessia é a análise do que vai ser utilizado e onde serão alocadas as empancaduras - amparos para a passagem dos cabos, evitando que os mesmos se aproximem além dos limites de segurança de linhas energizadas, servem também como anteparo físico, impedindo que os cabos lançados danifiquem as linhas atravessadas. Abaixo é mostrado um exemplo de empancaduras com andaime.



Figura 19 – Empancaduras com andaimes.

Caso a travessia tenha um grau de dificuldade elevado, deve ser solicitado o desligamento da linha, ou o bloqueio dos religadores automáticos (linha energizada). Concluída a instalação das empancaduras, dar-se-á o processo de passagem do cabo transpassando o obstáculo.

Para o caso de linhas energizadas, um colaborador sob um anteparo, prende um cordão de náilon em um material pesado o suficiente para ser lançado ao outro lado da linha, o náilon é adotado devido as suas propriedades isolantes, um segundo colaborador também alocado sob outro anteparo, conduz o cabo observando sempre as distâncias mínimas de segurança, evitando acidentes.

Vale ressaltar que todo o processo de lançamento com travessia, onde há desligamento ou bloqueio dos religadores é devidamente programado e previamente analisado pelo engenheiro responsável juntamente com o encarregado do lançamento, todas as manobras são descritas de forma detalhada no Programa Executivo (PEX) que é subjugado à aprovação pela fiscalização da empresa competente.

3.3.8 Comissionamento

Etapa em que a fiscalização observa toda a linha, verificando as inconformidades para que sejam feitos os reajustes como, por exemplo, a falta de peças nas estruturas, parafusos usados em locais incorretos, posição das ferragens de ancoragem e suspensão, conectores de aterramento, entre outros.

Concluído o comissionamento e corrigidos todos os erros, a linha estará pronta para energização.

4. Considerações Finais

O primeiro contato direto com a prática da engenharia é de vital importância para a formação do engenheiro, pois possibilita a convivência com profissionais da mesma e de outras áreas, fazendo com que haja aprendizado em variados segmentos.

A obra em que estagiei foi de grande valia. Os desafios enfrentados dia após dia acarretaram em conhecimentos sobre as etapas da construção, além de controles gerenciais de equipes especializadas, que também contribuíram para o meu aprendizado.

A postura e ação profissional em diversos momentos foram ampliadas durante convívio com engenheiros experientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ONS. **Operador Nacional do Sistema**. Site da ONS. Fev/2013. Disponível em <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em 14/02/2013.

[2] ABNT. **Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica**. NBR 5422. 1985.