

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

MARLEY MOTA LIMA



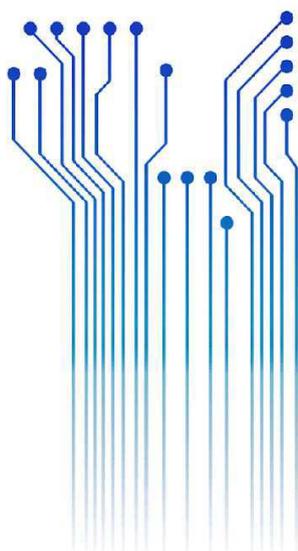
Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DE UMA LINHA DE SUBTRANSMISSÃO



Departamento de
Engenharia Elétrica

Marley Mota Lima



Campina Grande
2024

MARLEY MOTA LIMA

CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DE UMA LINHA DE SUBTRANSMISSÃO

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

Área de Concentração: Eletrotécnica

Professor Célio Anésio da Silva, D. Sc.
Orientador

Campina Grande
2024

Dedico este trabalho a minha família e minha futura esposa, que sempre me apoiaram e acreditaram no meu sucesso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me abençoado até aqui e iluminado meus caminhos, sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais, José Filho e Vânia, que não mediram esforços para me proporcionar uma educação de qualidade, que me guiaram no caminho de Deus e me motivaram a não desistir dos meus objetivos.

Aos meus familiares, por cada palavra de apoio e incentivo, em especial a minha madrinha Sônia que sempre buscou me aconselhar e motivar.

A minha companheira e futura esposa, Camila de Moura, por todo apoio e cuidado. A ela agradeço por dividir os momentos de tristeza e alegria, sempre me incentivando, tornando minha caminhada menos árdua.

Aos meus amigos do Cedro que mesmo longe torceram por meu sucesso, sempre dividindo experiências e me aconselhando da melhor forma. Em especial agradeço ao meu amigo/irmão Ernesto Neto que de longas datas temos apoiado um ao outro em nossos objetivos profissionais e pessoais.

Aos meus amigos da graduação, a todos que contribuíram na minha jornada, meus sinceros agradecimentos. Nestes destaco Jadilson Porto e Dráusio Pacífico, meus amigos e irmãos que a UFCG me trouxe, agradeço por todas as conversas diárias, incentivo constante e recíproco.

“Que Deus te abençoe, meu filho.”

Pai e Mãe.

RESUMO

A expansão do sistema de energia elétrica desempenha um papel crucial no desenvolvimento socioeconômico de um país. A demanda por energia está aumentando significativamente e é de suma importância ampliar e melhorar a confiabilidade da rede de transmissão do país. Para melhorar nosso Sistema Interligado Nacional (SIN) a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) realiza estudos que apontam os pontos para melhoria nas linhas existentes e construção de novas linhas. Esses estudos concebem empreendimentos que são leiloados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e arrematados pelos agentes de transmissão para que possam iniciar a implantação do empreendimento. Para que a construção de uma linha de transmissão seja bem sucedida e dentro dos prazos determinados é necessário ter um bom planejamento para que nas fases de execução e conclusão não ocorram atrasos que possam trazer prejuízos financeiros às partes envolvidas. Este projeto aborda a concepção e as etapas do processo de execução de uma linha de subtransmissão.

Palavras-chave: Linhas de subtransmissão, Implantação, Transmissão de Energia.

ABSTRACT

The electrical power system expansion plays a crucial role in the socio-economic development of a country. Demand for energy is increasing significantly, and it is of utmost importance to expand and enhance the reliability of the country's transmission network. To improve our National Interconnected System (SIN), the Energy Research Company (EPE) conducts studies that identify areas for improvement in existing lines and the construction of new ones. These studies conceive projects that are auctioned by the National Agency of Electrical Energy (ANEEL) and acquired by transmission agents to initiate project implementation. For the construction of a transmission line to be successful and within the specified deadlines, it is necessary to have good planning so that delays do not occur during the execution and completion phases, which could result in financial losses to the parties involved. This project addresses the conception and stages of the execution process of a power subtransmission line.

Keywords: Power Subtransmission lines, Implementation, Power transmission.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa do sistema de transmissão - Horizonte 2027.....	12
Figura 2: Estruturação do setor elétrico.....	14
Figura 3: Canteiro de obras de uma linha de transmissão de 138 kV.....	19
Figura 4: Realização do DDS voltado ao Maio Amarelo.....	20
Figura 5: Abertura de acesso e limpeza da faixa com auxílio da retroescavadeira.....	22
Figura 6: Fundação com aplicação do tubulão em solo argiloso.....	23
Figura 7: Cabos de alumínio com alma de aço - CAA.....	24
Figura 8: Desenho do isolador de suspensão polimérico.....	25
Figura 9: Desenho do isolador tipo “Line Post”.....	25
Figura 10: Implantação do poste com auxílio do guindauto.....	27
Figura 11: Lançamento sob tensão controlada.....	28
Figura 12: Esferas de sinalização.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tensões padronizadas de acordo com a ANEEL [5].....	13
---	----

SUMÁRIO

1 Introdução.....	11
2 Objetivo Geral.....	11
3 Fundamentação teórica.....	12
3.1 O setor elétrico brasileiro.....	13
3.2 Leilão de transmissão de energia.....	15
4 Definição de diretrizes.....	16
4.1 Contratação.....	16
4.2 Licenças ambientais.....	17
4.3 Liberação fundiária.....	17
5 Execução do empreendimento.....	18
5.1 Canteiro de Obras.....	18
5.2 Procedimentos Padrão.....	20
5.3 Supressão vegetal e abertura de acessos.....	21
5.4 Escavações e Fundações.....	22
5.5 Componentes das linhas aéreas.....	23
5.5.1 Cabos condutores.....	23
5.5.2 Isoladores.....	24
5.5.3 Cabos para-raios.....	25
5.5.4 Estruturas.....	25
5.5.5 Ferragens.....	26
5.6 Implantação e montagem das estruturas.....	26
5.7 Lançamento de cabos.....	27
5.8 Sinalização.....	29
6 Revisão final e Comissionamento.....	30
7 Pontos críticos.....	30
8 Resultados obtidos.....	31
9 Considerações finais.....	31
10 Referências.....	33

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento socioeconômico de um país está estritamente ligado ao fornecimento e transmissão de energia, o progresso de uma determinada região está relacionado ao aumento da demanda de energia, seja ela utilizada por indústrias para a produção ou apenas por consumidores residenciais e comerciais que devido ao grande número de aparelhos eletrônicos acabam elevando seu consumo.

O consumo de energia em 2022 aumentou em 1,5% em relação ao ano anterior, chegando ao valor de 67.265 MW médio [1]. Visando atender com confiabilidade e com folga essas cargas é necessário implementar soluções que supram a crescente demanda de energia. Por isso, o sistema elétrico brasileiro está em constante expansão, haja vista que temos uma matriz energética bastante diversificada e é de extrema importância integrar as fontes não renováveis e renováveis de energia, pois trazem grandes desafios devido suas peculiaridades para integrar ao sistema elétrico.

2 OBJETIVO GERAL

Este projeto de conclusão de curso tem por objetivo disseminar o conhecimento relacionado aos aspectos construtivos e técnicos de linha de subtransmissão. Facilitando a compreensão de um estudante de engenharia elétrica acerca dos processos ocorridos das etapas da construção de uma linha de 69 kV.

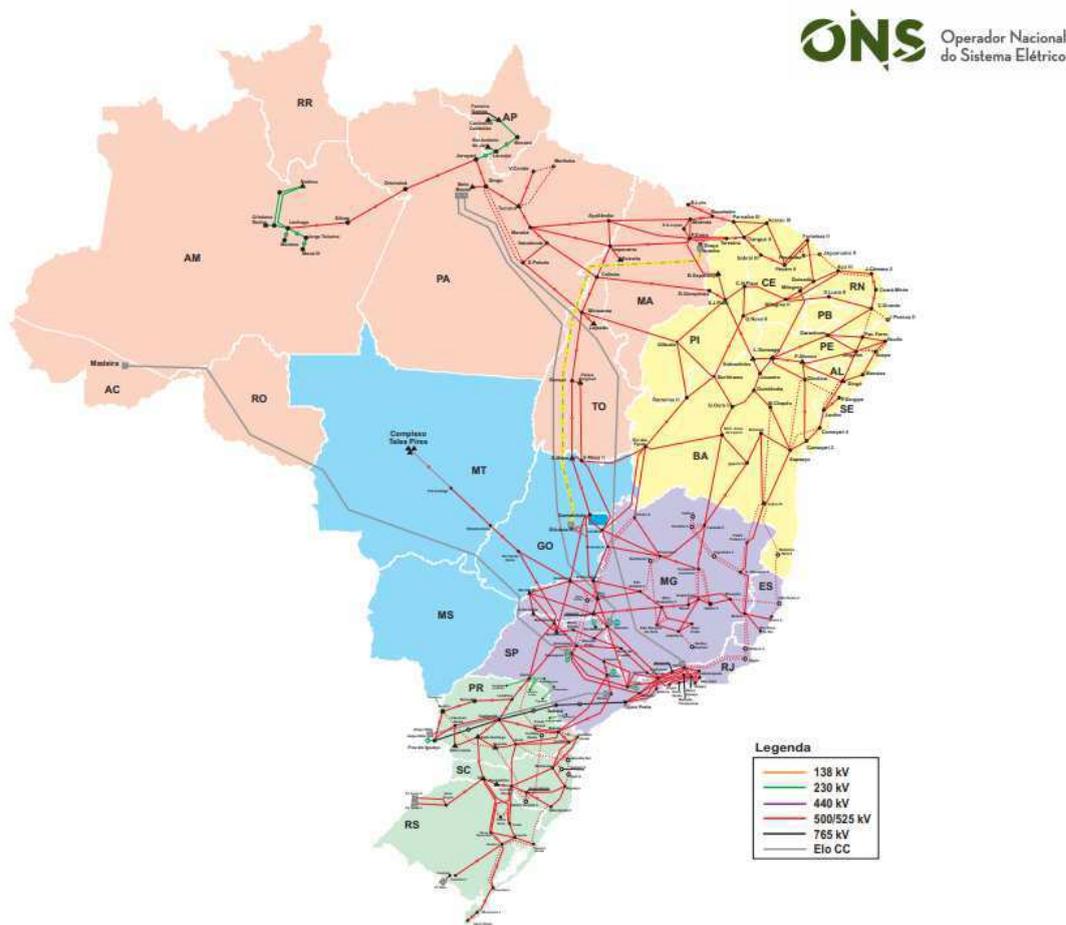
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Promover conhecimento das etapas ocorridas em uma obra de linha de subtransmissão de 69 kV;
- Entender os principais elementos e critérios de um projeto eletromecânico de linhas;
- Entender os principais desafios e requisitos de um empreendimento desse porte;
- Entender os principais pontos que podem gerar atraso na obra ou planejamento.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é uma extensa malha de transmissão com 179.311 km [2], ilustrada na Figura 1. O SIN abrange a maioria do território brasileiro, exceto os pequenos sistemas isolados na região amazônica que resultam em menos de 1% da carga total do país [3]. Entretanto, mesmo atendendo todo o país, a crescente demanda de energia requer expansão da malha de transmissão e reforço das linhas já existentes.

Figura 1: Mapa do sistema de transmissão - Horizonte 2027.



Fonte: ONS.

A Figura 1 acima mostra como deve estar o SIN no ano de 2027 de acordo com estudos realizados e apresentados no Plano Decenal. O sistema elétrico é dividido em duas partes: uma chamada Rede Básica de transmissão que compreende as LT's (linhas de transmissão) de tensão igual ou superior a 230 kV e Demais Instalações de Transmissão (DIT) que são todas as instalações de tensões abaixo de 230 kV [4]. Nesta segunda há uma subdivisão do sistema em rede subtransmissão (Alta Tensão) e rede de distribuição (Média Tensão e Baixa Tensão) conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1: Tensões padronizadas de acordo com a ANEEL [5].

Tensões padronizadas do Sistema Elétrico de Potência - SEP	
Tensão	Campo de aplicação
Menor 2,3 kV	Distribuição Secundária (BT)
Maior ou igual a 2,3 kV e menor que 69 kV	Distribuição Primária (MT)
Maior ou igual a 69 kV e menor que 230 kV	Subtransmissão (AT)
Maior ou igual a 230 kV	Transmissão (EAT)

Fonte: ANEEL.

O projeto e construção de LT's envolve várias etapas, desde o estudo de viabilidade técnica e econômica da implementação, sua concepção por meio de licitação até a execução e conclusão do projeto, contudo, iremos nos ater ao estudo apenas da execução da construção das linhas, na perspectiva do planejamento de ações para executar as atividades necessárias visando otimizar os custos da obra e reduzir perdas elétricas nas linhas.

3.1 O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Inicialmente é preciso entender como está organizado corporativamente o setor elétrico e a função de cada entidade no setor. Com o novo modelo elétrico introduzido a partir de 2004, houve uma reformulação no papel do governo e das agências reguladoras e observando a Figura 2 é possível compreender a hierarquia existente e será descrita a função de cada segmento a seguir.

Figura 2: Estruturação do setor elétrico.



Fonte: CCEE.

- **Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)** - Instituição de assessoramento à Presidência da República, responsável pela formulação de políticas e diretrizes de energia que assegurem o fornecimento de insumos energéticos a todas as áreas do país.
- **Ministério de Minas e Energia (MME)** - Órgão do Governo Federal responsável pela condução de políticas energéticas do país. Suas principais obrigações incluem a formulação e a implementação de políticas para o setor energético, planejamento do setor energético nacional, monitoramento da segurança do suprimento do setor elétrico brasileiro e equilíbrio conjuntural entre oferta e demanda de energia.
- **Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE)** - Entidade sob comando direto do MME, responsável pelo acompanhamento e avaliação contínua do suprimento elétrico em todo território nacional. É composto por membros do MME, ANEEL, ANP, ONS, EPE e CCEE.
- **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)** - Tem por finalidade prestar serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético ao longo prazo. Indica as perspectivas da expansão do setor de energia para os próximos 10 anos (2023 a 2032) dentro de uma visão integrada para os diversos energéticos.
- **Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)** - Autarquia de regime especial vinculada ao MME responsável por regularizar e fiscalizar a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

- **Operador Nacional do Sistema (ONS)** - Responsável por supervisionar, operar e controlar a geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), por administrar a transmissão de energia elétrica do Brasil e realizar estudos de curto prazo sobre a demanda e consumo de energia do país.
- **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)** - Conjunto de empresas e instituições que viabilizam operações de compra e venda de energia em todo país.

Com a definição de toda estrutura organizacional [6], é possível compreender os limites entre cada segmento do setor elétrico brasileiro e suas características..

3.2 LEILÃO DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA

A realização de leilões para expansão da oferta de energia elétrica foi um mecanismo introduzido na reforma do setor elétrico e consolidado com a efetiva participação de várias instituições do Setor Elétrico Brasileiro.

Os leilões da área de energia elétrica são de extrema importância para a sustentabilidade do setor elétrico brasileiro, pois realizam a concessão de novas usinas e fecham contratos de fornecimento para atender à demanda futura das distribuidoras de energia.

Os empreendimentos licitados são concebidos por meio de estudos realizados pela EPE que analisam minuciosamente e identificam as necessidades de reforços adequados para o suprimento de energia elétrica ao país. Esses estudos se consolidam nos chamados Relatórios R e a partir deles a ANEEL estabelece o custo do investimento para a realização das obras.

Os leilões de transmissão ocorrem em sessão pública na modalidade envelope fechado, conduzida pela BM&F BOVESPA, na sede da B3 em São Paulo. Podem participar empresas nacionais ou internacionais, isoladamente ou em consórcio, que apresentem garantias financeiras para realização da obra, além da exigência a requisitos de pré-qualificação jurídicas, técnicas, econômico-financeiras e de regularidade fiscal. Em cada lote ofertado é estabelecido pela ANEEL um valor de Receita Anual Permitida (RAP) e fixado no edital. Cada concorrente apresenta um valor de RAP pelo qual eles aceitam realizar aquele empreendimento. Vence a licitação quem apresentar o menor valor de RAP em relação a

máxima estipulada pelo edital. Em caso de empate ou de propostas com diferença inferior a 5% do valor uma nova sessão se inicia, em viva-voz, até que o lote seja arrematado [7].

Finalizado o processo e após serem declarados como vencedores do leilão, o contrato de concessão é assinado. O agente de transmissão tem a concessão por 30 anos daquele empreendimento e é responsável pela construção, operação e manutenção durante esse período.

4 DEFINIÇÃO DE DIRETRIZES

Para que a construção do empreendimento seja conduzida da melhor maneira é essencial ter bem definidos a matriz de responsabilidade. Todas as atribuições e responsabilidades durante os processos que compõem o projeto devem estar documentadas e formalizadas para evitar dúvidas.

E para ter uma melhor viabilidade econômica a fim de mitigar aditivos e apelos das empresas prestadoras de serviço, é importante mapear custos de pontos essenciais e inerentes à construção, como processos judiciais, ambientais, regulatórios e do ponto de vista da engenharia.

4.1 CONTRATAÇÃO

Para a contratação de uma ou mais empresas para a execução do projeto é preciso a elaboração do Termo de Referência (TR). O TR é um documento no qual a instituição contratante estabelece os termos pelos quais aquele serviço deve ser prestado pelo(s) contratado(s). Ele deverá esclarecer tudo que o requisitante realmente precisa, devendo conter elementos capazes de propiciar avaliação de custos pela administração, prazos de execução, deveres do contratante e contratado e demais elementos necessários para a contratação e execução. Quando o contrato é celebrado, o TR torna-se parte integrante do contrato. Com este documento, as empresas prestadoras de serviços (EPS) podem elaborar seu orçamento da melhor maneira.

4.2 LICENÇAS AMBIENTAIS

Para a escolha definitiva do local para implantação de um empreendimento diversos fatores são postos em análise, tais como: áreas de preservação ambiental, outros impeditivos ambientais, aspectos socioeconômicos, leis regionais, comunidades do entorno, entre outros.

Sob aspecto ambiental todas as atividades ou empreendimentos que possam causar impactos ao meio ambiente devem ser requeridos as devidas licenças do órgão ambiental competente. Para linhas de transmissão e subestação foi instituído o Relatório Ambiental Simplificado (RAS) seguindo a Resolução nº 279/01 da CONAMA, este é um documento que contém uma avaliação e estudos dos aspectos ambientais na localização, instalação e operação de novos empreendimentos, principalmente na fase da implantação da obra [8].

Com este relatório a concessionária pode obter a Licença Prévia (LP) e a Licença de Instalação (LI). Na primeira é avaliado a aprovação da localização e concepção do empreendimento, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os aspectos referidos ao controle ambiental da empresa. Após o cumprimento das condições da LP pode-se então emitir a LI cuja qual é uma confirmação do órgão ambiental para com a empresa prestadora do serviço que as especificações dos projetos ambientais apresentados atendem aos padrões de qualidade ambiental estabelecidos em normas ambientais vigentes. Autorizando assim o início da construção do empreendimento.

E por fim, é obtida a Licença de Operação (LO), que autoriza a operação do empreendimento após a verificação da eficácia das medidas de controle ambiental e condicionante determinadas nas licenças anteriores [9].

4.3 LIBERAÇÃO FUNDIÁRIA

Outro fator que impacta diretamente no prazo da obra é a liberação fundiária. Ocorre de muitas obras iniciarem sem a liberação total da faixa de servidão e desapropriação, gerando entraves em algumas partes das atividades execução da obra. É necessário gestão e fiscalização por meio do setor fundiário da transmissora que tem uma importante função para o empreendimento. Esse setor é responsável pelo levantamento topográfico, levantamento dominial, laudo de avaliação de servidão administrativa, negociação fundiária, regularização fundiária, entre outros.

As negociações fundiárias são de responsabilidade da transmissora sendo de competência da ANEEL a emissão da Declaração de Utilidade Pública (DUP) para as áreas necessárias mediante solicitação da transmissora. A DUP tem por objetivo facilitar a liberação fundiária, permitindo a construção de empreendimentos de geração, subestação (desapropriação) e linhas de transmissão (instituição de servidão administrativa) [10].

No caso de desapropriação, mediante pagamento de indenização o proprietário perde a titularidade e a posse da terra passa para o agente público responsável pela realização da obra.

Já o instrumento jurídico de servidão administrativa implica na manutenção do direito para a propriedade da área de terra atingida. Mediante pagamento de indenização o proprietário permanece em posse da titularidade, porém passará a ter restrições no seu uso como a não permissão de construções ou edificações nem plantio de elevado porte próximos às linhas aéreas.

5 EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO

5.1 CANTEIRO DE OBRAS

A primeira atividade realizada para dar início ao empreendimento é a construção do canteiro de obra, que é a área de trabalho fixa ou temporária onde se desenvolvem operações de apoio e execução de uma obra [11]. Deve-se analisar a logística relacionado às áreas que as linhas de transmissão estarão localizadas, chegada de equipamentos de grande porte e estrutura da cidade a fim de suprir as necessidades de insumo da obra. Com um local estratégico definido a construtora pode dar início a construção do canteiro ou mesmo a locação de um ou mais estabelecimentos de maneira a adequar os mesmos para que supram os requisitos estabelecidos na NR 18.

Os canteiros de obra devem dispor de instalações elétricas, almoxarifado, vestiário, alojamento, refeitório, lavanderia, ambulatório, sinalização de segurança e entre outros. Dependendo da extensão da linha podem haver vários canteiros distribuídos com a possibilidade de diversas frentes de trabalho otimizando tempo e projeto. Isso tudo impacta financeiramente, embora que um número maior de canteiros resulte em maiores custos fixos, é necessário ressaltar que quanto mais rápido for finalizado o projeto, mais rápida é a obtenção do pagamento base pela transmissora. Por isso é importante analisar bem a estratégia adotada para a realização da obra no ato do contrato, pois estes gastos devem estar no orçamento do projeto. A Figura 3, por exemplo, é um canteiro de obras instalado em área rural próximo a área onde a LT percorre, facilitando o apoio e deslocamento das equipes no dia-a-dia.

Figura 3: Canteiro de obras de uma linha de transmissão de 138 kV.



Fonte: STN Empreendimentos.

Antes da mobilização do canteiro, deve ser calculado o quantitativo de toda a equipe (mão de obra, equipamentos e insumos) que fará uso das instalações. Esse efetivo deve atender às necessidades operacionais, administrativas, como também a segurança e higiene do trabalho. Com esses dados podemos calcular custos relativos à EPI, ferramentas, refeições, vestimentas e realização de treinamentos de normas específicas para a realização do trabalho. Os treinamentos da Norma Regulamentadora nº 35 (Trabalho em Altura) e Norma Regulamentadora nº 10 (Instalações e Serviços em Eletricidade) são imprescindíveis aos colaboradores que irão atuar com equipamentos energizados, fazendo jus ao adicional de periculosidade.

Custo do transporte de material previsto para a execução do empreendimento, custos operacionais como material de escritório e limpeza, deslocamento dos colaboradores e manutenção da frota de veículos e equipamentos, além de despesas extras como a confecção de placas da obra devem ser computados.

Para a regularização da obra perante aos órgãos fiscalizadores é necessária a elaboração de toda documentação de colaboradores e equipamentos. Alguns outros documentos merecem maior atenção como a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), o Programa de Gerenciamento de Risco (PGR) e o Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho (PCMAT). Estes documentos promovem e preservam a saúde dos trabalhadores e regulam a obra.

Após a conclusão da construção é iniciado a desmobilização, que nada mais é que a remoção de equipamentos, instalações temporárias, materiais que possam ser devolvidos ou

reaproveitados em outro local, limpeza do local ou terreno e demissão da força de trabalho. Uma eficaz desmobilização garante que o local esteja em um estado seguro e limpo, cumprindo os requisitos contratuais e legais para o encerramento do projeto.

5.2 PROCEDIMENTOS PADRÃO

Ao longo de todo processo construtivo é importante realizar algumas técnicas e atividades a fim de mitigar eventuais riscos e acidentes. Devido às constantes mudanças no ambiente de trabalho, que apresentam novos desafios diariamente, é essencial conduzir o Diálogo Diário de Segurança (DDS). Este procedimento visa orientar a equipe sobre os riscos associados às suas funções, além de destacar as práticas recomendadas para evitá-los. Conforme a Figura 4, o DDS é realizado antes do início da jornada de trabalho, com uma média de duração de 15 minutos, abordando diversos temas relacionados às atividades diárias, com foco na promoção da saúde, segurança, preservação do meio ambiente e garantia da qualidade.

Figura 4: Realização do DDS voltado ao Maio Amarelo.



Fonte: ECOMAN.

Outra atividade realizada é a Análise Preliminar de Risco (APR) que, como o próprio nome sugere, trata-se de uma avaliação prévia de possíveis riscos existentes no local de trabalho e em determinada atividade. E por fim o Relatório Diário de Obra (RDO) o qual informa o andamento da obra diariamente.

Vale lembrar também que conforme a NR 6, a empresa é obrigada a fornecer aos colaboradores, gratuitamente, os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) adequados ao

risco e em perfeito estado de conservação e funcionamento. Esses consistem em capacetes, luvas, calça, camisa, botas, óculos, perneira, cintos, máscaras, roupas com proteção especial, entre outros. Além disso, os Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC) também são fornecidos pela empresa como extintores de incêndio, placa de sinalização, cones, fita de isolamento, kit de primeiros socorros, entre outros.

A depender da transmissora pode haver procedimentos internos para melhorar a qualidade da obra e segurança para com os colaboradores.

5.3 SUPRESSÃO VEGETAL E ABERTURA DE ACESSOS

Com os traçados de planta e perfil e todas as estruturas alocadas de acordo com a diretriz adotada é feito uma supressão vegetal e abertura de acesso onde for necessário para permitir a chegada de equipamentos pesados e colaboradores nas estruturas alocadas. Deve ser desmatado o mínimo estritamente necessário para assegurar condições satisfatórias de construção, operação e manutenção da linha [12].

A supressão vegetal ocorre de forma manual ou mecanizada, seguindo os pontos definidos no projeto e deve estar dentro da faixa de servidão para evitar possíveis multas. A faixa de servidão é a faixa de terra por onde as linhas irão passar, cujo domínio pertence ao proprietário, porém com restrições de seu uso. Esta atividade antecede a abertura de acesso, pois facilita nortear o caminho para o acesso a determinadas estruturas. A abertura de novos caminhos ocorre com o auxílio de equipamentos capazes de realizar o serviço com maior facilidade, por exemplo, retroescavadeira.

Figura 5: Abertura de acesso e limpeza da faixa com auxílio da retroescavadeira.



Fonte: Autor.

Para o caso de uma LT única da tensão 69 kV, a largura mínima da faixa de servidão em geral é de no mínimo 12 m, 6 m para cada lado do eixo da LT. Essa largura é calculada de acordo com as características elétricas e mecânicas da linha.

5.4 ESCAVAÇÕES E FUNDAÇÕES

Sempre que julgado necessário a empresa construtora deve realizar um reconhecimento geológico e geotécnico com sondagem simples de reconhecimento de solo nas áreas onde a linha irá percorrer, analisando os tipos de solos existentes ali a fim de designar melhor os equipamentos necessários para realizar a escavação naquela região. A depender do tipo de solo pode-se escavar com auxílio da retroescavadeira ou de uma escavadeira hidráulica, perfuração com trado ou rompedor hidráulico e por detonação.

A profundidade da escavação é de acordo com o projeto ou tipo de estrutura que será implantada naquele local. É necessário que a cava seja cercada e sinalizada evitando que curiosos e animais possam cair na mesma. Na zona urbana além dos requisitos anteriores são solicitados tampões de madeira ou de ferro que possam cobrir toda a cava, melhorando o isolamento do local.

A diretriz da escolha do tipo de fundação é em função das condições do terreno e do dimensionamento dos postes de forma a trazer a opção mais segura para a situação. Os tipos de fundações podem ser reaterro com solo natural, fundação com solo adequado, com solo e cimento, concreto usinado e etc. Em alguns casos são necessárias fundações especiais. Postes

mais robustos que deverão suportar um esforço maior ou postes que estejam em locais alagados, por exemplo, podem ter fundações especiais caso seja solicitado no projeto de fundação.

Figura 6: Fundação com aplicação do tubulão em solo argiloso.



Fonte: Autor.

A EPS deve seguir a diretriz escolhida em projeto para a fundação dos postes, pois uma má fundação pode acarretar em tombamento da estrutura.

5.5 COMPONENTES DAS LINHAS AÉREAS

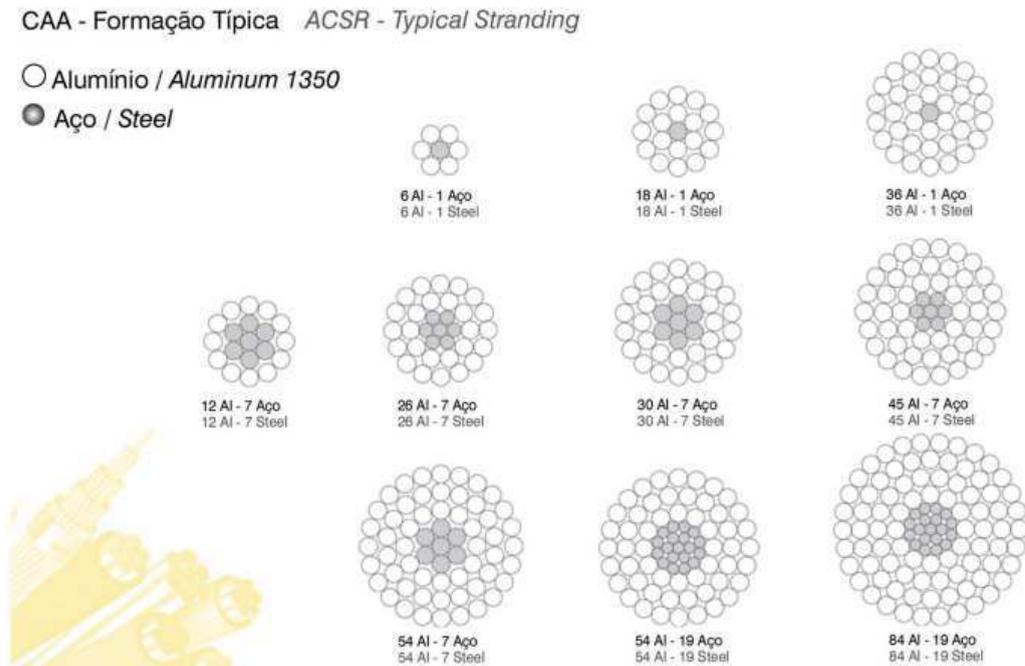
As linhas aéreas de transmissão são compostas principalmente por cabos condutores, isoladores, ferragens, cabos para-raios, aterramentos, estruturas e acessórios diversos.

5.5.1 CABOS CONDUTORES

Os principais tipos de cabos condutores podem ser classificados como condutores de cobre, condutores de alumínio (CA), condutores de alumínio com alma de aço (CAA) e condutores com ligas de alumínio (ACAR). Suas características físicas e elétricas são o que influencia na escolha correta dos condutores. Por exemplo, com relação ao peso dos cabos, os cabos de alumínio são os mais leves, seguidos dos cabos de liga de alumínio-aço, enquanto que os cabos de alumínio com alma de aço possuem maior massa unitária. Tendo em vista a

resistência à tração, os cabos mais resistentes são os de alumínio com alma de aço, em seguida vem os de liga de alumínio-aço e por último os cabos de alumínio. No que se refere a capacidade de corrente, os cabos de alumínio são mais eficazes, os cabos de liga de alumínio-aço são intermediários e os cabos de alumínio com alma de aço possuem os menores valores [13]. O condutor de cobre apesar de sua elevada condutividade elétrica, é menos usado em linhas aéreas de transmissão, principalmente por razões econômicas.

Figura 7: Cabos de alumínio com alma de aço - CAA.

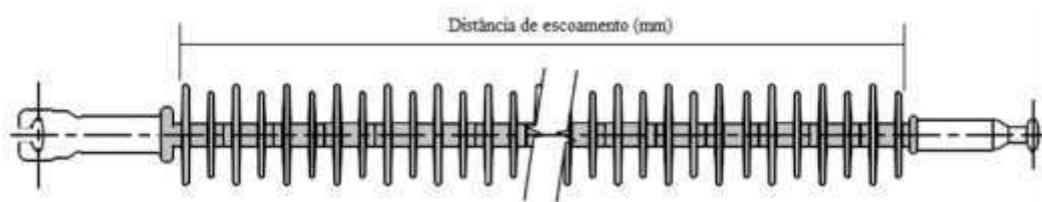


Fonte: Catálogo FORJASUL.

5.5.2 ISOLADORES

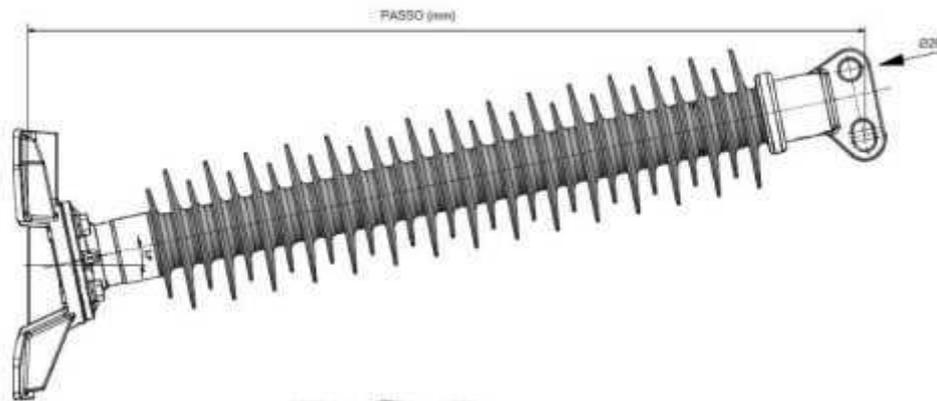
Os isoladores são componentes que têm a função de isolar os cabos condutores das estruturas e também de sustentar os cabos. Podem ser feitos de porcelana, de vidro ou a base de polímeros. Os isoladores utilizados em linhas aéreas de 69 kV são os isoladores de suspensão poliméricos e o tipo braço polimérico “Line Post”, ilustrados nas figuras abaixo.

Figura 8: Desenho do isolador de suspensão polimérico.



Fonte: CEEE - PAD 11.010.

Figura 9: Desenho do isolador tipo “Line Post”.



Fonte: CEEE - PAD 11.010.

5.5.3 CABOS PARA-RAIOS

Com relação aos cabos para-raios geralmente são utilizados do tipo OPGW, que consistem em cabos com fibra óptica revestida internamente, evitando assim a necessidade de um outro cabo somente de fibra óptica, e conseqüentemente mais peso sobre a estrutura. A fibra óptica em linhas de transmissão se faz necessário para comunicação entre subestações por ser imune a interferências eletromagnéticas e devido a necessidade de comunicação de alta velocidade entre os dispositivos para uma operação remota segura.

5.5.4 ESTRUTURAS

Os postes utilizados em 69 kV são elementos estruturais pré-fabricados de concreto armado ou de metal onde cada aplicação dependerá da sua função na linha e a sua capacidade de sofrer determinado esforço.

Em uma LT de 69 kV pode haver diversos tipos de estruturas ao longo da linha com diversos esforços diferentes. De acordo as cargas que suportam, a família de estruturas podem ser classificadas em:

- I. Estruturas de suspensão: São dimensionados para suportar, em condições normais de operação, os esforços verticais devido ao peso dos cabo, isoladores e suas ferragens[14];
- II. Estruturas de ancoragem: Constituem os suportes com capacidade de manter os cabos esticados. São solicitados unilateralmente pelas forças que atuam nos suportes de suspensão e adicionalmente pelas forças axiais longitudinais na condição de maior intensidade de vento;

- III. Estruturas para ângulos: São dimensionadas para resistir aos esforços normais originados devido à presença de ângulos decorrentes da resultante das forças de tração nos cabos nos dois alinhamentos que se cruzam.

Além disso, algumas estruturas do tipo ancoragem e de ângulo podem ser estaiadas permitindo que parte do esforço seja transmitido diretamente para o solo por meio das âncoras, de modo que apenas o restante dos esforços é transmitido axialmente para as fundações da estrutura.

5.5.5 FERRAGENS

Os componentes metálicos das linhas de transmissão, feitos principalmente de aço e alumínio, são projetados para suportar tanto os esforços eletromecânicos quanto para mitigar os efeitos elétricos, como a interferência de rádio (RIV) e a corona. Embora haja uma variedade de ferragens com funções específicas nas linhas de transmissão, suas especificações e desenhos dependem do fabricante, que deve estar em conformidade com as normas regulatórias.

5.6 IMPLANTAÇÃO E MONTAGEM DAS ESTRUTURAS

Com a escavação finalizada podemos iniciar a implantação das estruturas. Durante o planejamento dessa atividade os gestores da obra devem avaliar o local onde será implantado o poste, buscando analisar pontos críticos que podem interferir na atividade, como falta de acesso para o caminhão guindauto e guindaste, se há rede energizada próximo ao local, condições climáticas favoráveis, entre outros .

De acordo com o projeto eletromecânico, a equipe monta toda parte estrutural do poste como aterramento e escadas com o poste ainda no chão. As escadas servem para auxiliar o montador na escalada da estrutura. Com auxílio do caminhão guindauto e guindaste o poste é içado e realizado a implantação do mesmo com a fundação necessária e após a conclusão dessa etapa, é içado a cruzeta compatível com a estrutura implantada, de acordo com as figuras abaixo.

Figura 10: Implantação do poste com auxílio do guindauto.



Fonte: ECOMAN.

A equipe é composta entre 10 a 12 colaboradores sendo eles: encarregado, motorista, operador de máquina, montadores eletricitas e ajudantes. O encarregado comanda toda a frente de serviço sendo responsável pela parte de segurança, produção, qualidade e meio ambiente. Ao final dessa etapa são instalados os aterramentos e os isoladores em cada estrutura.

5.7 LANÇAMENTO DE CABOS

Após a implantação, montagem dos isoladores e aterramento das estruturas concluídas, pode-se dar início ao lançamento de cabos condutores e para-raios.

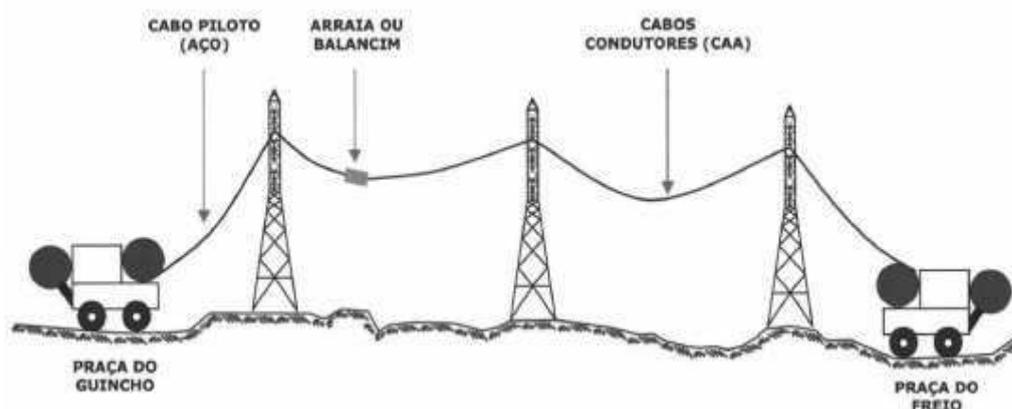
Os gestores da obra devem realizar um Plano de Lançamento. Nele são avaliados todos os obstáculos e condições do traçado da LT, visando uma melhor distribuição das bobinas no campo evitando desperdícios de material e otimizando o trabalho a ser realizado.

Os cabos para-raios devem ser lançados antes dos condutores, por estarem em um plano mais alto, e o equipamento utilizado deverá ser aterrado. O cabo deve ser lançado em regime lento evitando que o mesmo seja danificado, principalmente, por torções e contato ao

solo, evitando ranhuras. Este modo de lançamento é conhecido como tensão mecânica reduzida, ou seja, há uma aplicação de um esforço de tração ao cabo suficiente para desenrolá-lo da bobina, de modo que fique acima do terreno. O lançamento dos condutores deverá ser iniciado pela fase central ou pela fase superior, dependendo da disposição dos mesmos [15].

Em geral, os condutores são lançados da seguinte maneira, primeiramente há o lançamento de um cabo de aço de menor peso que os cabos do projeto, chamado de cabo piloto. Os cabos da LT são conectados neste piloto através de um balancim ou arraia. E após isso são puxados por um guincho localizado na extremidade do tramo denominada praça do guincho, enquanto que, na outra extremidade, conhecida como praça do freio, os cabos saem das bobinas e passam pelo freio, onde é feito o controle da tensão do lançamento conforme a figura 11 abaixo. Esse tipo de lançamento é conhecido como tensão controlada.

Figura 11: Lançamento sob tensão controlada.



Fonte: Furnas.

Depois do lançamento concluído e feito as emendas necessárias, são realizados os nivelamentos tanto os condutores como do para-raio. Este procedimento consiste no tensionamento definitivo dos cabos. A tração aplicada nos cabos é calculada para valores de temperatura vigente no momento da operação e esse valor é apresentado na tabela de tração. Com o auxílio de um dinamômetro pode-se medir a tração aplicada em cada cabo e assim ajustar a flecha dos condutores a valores estipulados no projeto básico. A flecha é a maior distância vertical entre a linha que liga os pontos de apoio dos cabos e o ponto mais baixo da curva.

Finalizado o nivelamento e com os cabos devidamente regulados, as roldanas provisórias utilizadas para o lançamento são substituídas pelos grampos de suspensão e de ancoragem, dando início à grampeação dos cabos. E por fim, a etapa de fechamento de

“jumpers” que nada mais é que um bypass realizado de um lado para outro das estruturas para que a continuidade elétrica do circuito seja mantida.

5.8 SINALIZAÇÃO

Visando assegurar, identificar e alertar as especificidades do projeto, se faz necessário a instalação de sinalizações na LT.

A sinalização por meio de placas tem vários propósitos conforme o tipo, mas as mais frequentes são para alertar a comunidade local ou guiar os trabalhadores da obra. Entre as mais comuns estão as placas de numeração dos postes, de perigo e de trechos em obras. Além disso, os sinalizadores de estai são empregados para identificar os cabos e prevenir acidentes.

Outro tipo de sinalização que deve seguir os critérios da NBR 6535 é a instalação das esferas de sinalização. As esferas de sinalização, figura 12, são instaladas nos cabos para-raio (na ausência do para-raio são instalados nos condutores) de acordo com a especificação do projeto em locais que contém travessias ou próximos a aeródromos ou heliportos. Elas têm o objetivo de alertar os pilotos de aeronaves informando um perigo ou obstáculo iminente.

Figura 12: Esferas de sinalização.



Fonte: PLP.

6 REVISÃO FINAL E COMISSIONAMENTO

À medida que os cabos condutores são lançados e grampeados e as sinalizações instaladas de forma progressiva, inicia-se a execução desta fase. Esta etapa final do processo é realizado pela EPS antes do comissionamento e envolve colaboradores com funções variadas, capazes de verificar e corrigir toda e qualquer falha que porventura seja observada: peças

ausentes, defeitos na estrutura, reaterro, limpeza de faixa, estradas de acesso, aterramento de cercas, verticalidades das cadeias, etc.

A etapa de comissionamento é uma das mais importantes de todo o projeto, pois a concessionária realiza a verificação dos aspectos construtivos do empreendimento e dos possíveis problemas para a futura manutenção e operação dos equipamentos de transmissão de energia elétrica. Ela é um conjunto de atividades desenvolvidas com o objetivo de receber a obra de transmissão da construtora, para a sua operação, com o mínimo possível de pendências.

Os pontos críticos, que exigem atenção especial, estão na inspeção das cadeias de isoladores e acessórios, pois estes equipamentos localizam-se em regiões de difícil acesso depois que a LT é energizada.

Com a correção dos pontos apontados no comissionamento, o documento conhecido como "as built" (como construído) é assinado e a obra é concluída. Após esse procedimento, a linha de transmissão está pronta para ser energizada e iniciar suas operações.

7 PONTOS CRÍTICOS

Em obras desse porte há inúmeros fatores que podem ser agravantes para o prazo final da obra. A liberação fundiária é um dos pontos causadores de atrasos, a obra de uma LT pode iniciar havendo pontos de embargo que ainda estão em trâmite de ações judiciais acarretando atraso na liberação da documentação necessária por partes dos órgãos ambientais.

A quantidade de equipe e maquinário necessário para executar a obra também é um ponto a destacar, cabendo ao engenheiro responsável da construtora analisar os recursos humanos e equipamentos disponíveis para tal. Além da dificuldade de encontrar mão-de-obra qualificada para realizar grande parte dos serviços da construção, principalmente da montagem das estruturas.

Atrasos relacionados a entrega de postes e ferragens podem gerar transtornos. Como existem alguns poucos fornecedores de materiais voltados à parte de linhas de transmissão, alguns insumos podem levar dias ou até meses para serem confeccionados e transportados. Insumos esses que podem ser de fornecimento da concessionária ou não de acordo com o tipo de contrato realizado. Sendo assim mais um ponto que acarreta atraso no cronograma de uma obra.

8 RESULTADOS OBTIDOS

Portanto, é entendido que a concepção de uma linha de subtransmissão se dá por meio de estudos realizados pela EPE a fim de melhorar o fornecimento de energia para uma determinada região. E que os leilões de transmissão de energia são mecanismos cruciais para que essas obras não sejam superfaturadas, havendo uma concorrência livre e justa entre os agentes de transmissão. Os agentes de transmissão são responsáveis por todos os processos anteriores à execução do empreendimento, durante a execução e após a conclusão do mesmo. Incumbido à empreiteira terceirizada apenas a parte da execução do projeto. É importante que os engenheiros responsáveis pela execução do empreendimento tenham um bom planejamento desde as etapas iniciais da obra, visando mapear custos oriundos ou não à obra e poder analisar possíveis cenários nos quais podem acarretar atrasos na entrega do empreendimento.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o crescimento significativo do setor elétrico brasileiro nos últimos anos, a expansão das linhas de transmissão de energia se faz necessária para atender toda a demanda. Este projeto promove ao estudante de engenharia elétrica uma compreensão mais ampla sobre a implantação de linhas de transmissão que desempenham um papel crucial no Sistema Interligado Nacional (SIN). Mesmo com este crescente mercado de transmissão, existem poucos engenheiros voltados ao trabalho com Linhas e o conhecimento aqui ofertado pode ser um diferencial na carreira do estudante de engenharia elétrica.

O atraso na entrada em operação de uma LT pode acarretar sérios prejuízos à segurança do SIN, por isso é fundamental que agentes da concessionária transmissora fiscalizem todas as etapas, desde a fase de planejamento, execução e conclusão do empreendimento, fazendo todo o possível para encerrar dentro dos prazos estabelecidos evitando assim multas por atrasos, tanto para a empreiteira quanto para a concessionária.

Embora a demanda por projetos de transmissão tenha aumentado, as práticas de implantação e os tipos de equipamentos utilizados no Brasil permaneceram relativamente estáveis ao longo dos anos. Os métodos construtivos citados neste texto são eficazes e utilizados por muitas empreiteiras, pois é uma metodologia confiável e bastante conhecida pelas grandes transmissoras.

Seguindo o pressuposto, a empreiteira pode entregar a linha de transmissão concluída com sucesso e o agente de transmissão pode realizar a implantação da mesma no SIN pondo-a em operação comercial.

10 REFERÊNCIAS

- [1] Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE, disponível em:
<<https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/consumo-brasileiro-de-energia-eletrica-subiu-1-5-em-2022-mostra-balanco-da-ccee>> acesso em: 19 de agosto de 2023
- [2] Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, disponível em:
<<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>> acesso em: 20 de agosto de 2023
- [3] Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, disponível em:
<<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/sistemas-isolados>> acesso em 20 de agosto de 2023
- [4] Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, disponível em:
<<https://www.ons.org.br/paginas/energia-no-futuro/transmissao/instalacoes>> acesso em 07 de setembro de 2023
- [5] Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disponível em:
<<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/regulacao>> acesso em 11 de setembro de 2023
- [6] Ministério de Minas e Energia - MME, disponível em:
<<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/conheca-as-instituicoes-do-setor-eletrico-brasileiro-e-as-competencias-de-cada-uma>> acesso em 14 de setembro de 2023

- [7] PAULO, Goret Pereira, “A Utilização de Leilões em Modelos de Expansão da Rede de Transmissão de Energia Elétrica,” Tese de Doutorado, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2012
- [8] “Relatório Ambiental Simplificado: o que é e como fazer”, disponível em:
<<https://www.produttivo.com.br/blog/modelo-relatorio-ambiental-simplificado/>> acesso em 08 de outubro de 2023
- [9] Portal Nacional de Licenciamento Ambiental - PNLA, disponível em:
<<https://pnla.mma.gov.br/etapas-do-licenciamento/>> acesso em 08 de outubro de 2023
- [10] Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disponível em:
<<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/declaracao-de-utilidade-publica-dup>> acesso em 09 de outubro de 2023
- [11] Ministério do Trabalho e Emprego - MTE, “NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção” 1979.
- [12] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 5422 – Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica: Procedimentos”, 1985
- [13] BASTOS NETO, J.A.F., “Estudo Sobre a Produtividade em Obras de Linha de Transmissão”, Projeto de Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019
- [14] FUCHS, R.D., “Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão”, 2ª edição, 1992
- [15] “Redes OPGW/OPPC: Técnica de Lançamento” - TELECO, Inteligência em Comunicações, disponível em:
<https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialOPGW-OPPC/pagina_4.asp> acesso em 24 de março de 2024