

GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL

NOVA METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DA TRANSMISSÃO PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS DE LINHAS SUBTERRÂNEAS E SUBAQUÁTICAS

SÉRGIO FELIPE FALCÃO LIMA(1); DANIEL JOSÉ TAVARES DE SOUZA(1); FABIANO SCHMIDT(1); BRUNO SCARPA ALVES DA SILVEIRA(1); ANTONIO PAULO DA CUNHA(2); MARCELO APARECIDO PELEGRINI(3); NATASHA AKIE YAGUIU KNORST(3); BRUNO HIDEKI NAKATA(3); DOURIVAL CARVALHO EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA - EPE(1); APCTEC ENGENHARIA E CONSULTORIA(2); SINAPSIS(3)

RESUMO

As Linhas de Transmissão Subterrâneas e/ou Subaquáticas (LTS) têm se apresentado como a única alternativa viável para a expansão da transmissão em algumas situações. Consequentemente, sua avaliação tornou-se necessária no âmbito do planejamento, com critérios específicos, uma vez que até recentemente no Brasil essa tecnologia estava majoritariamente restrita às distribuidoras de energia elétrica. Para superar os desafios concernentes à análise técnico-econômica de LTS, foi desenvolvida uma metodologia para o custeio de LTS, a ser aplicada na fase de planejamento da expansão da transmissão, que se mostra mais adequada que outras métricas utilizadas, conforme os resultados preliminares apresentados neste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Linhas de Transmissão Subterrâneas e Subaquáticas, Metodologia de Custeio, Análise técnico-econômica, Planejamento da Transmissão.

1.0 - INTRODUÇÃO

Os estudos de planejamento da expansão da transmissão do Sistema Interligado Nacional (SIN) têm como premissa a avaliação de diferentes alternativas tecnicamente equivalentes, seguida da comparação entre os seus custos totais (investimento somado ao custo das perdas). Dentre as soluções de menor custo total, uma é selecionada como a alternativa de referência para a expansão do sistema.

Em algumas situações, as LTS têm se apresentado como uma alternativa necessária para a expansão da transmissão, como, por exemplo, regiões urbanas de grande densidade populacional e áreas de proteção ambiental, nas quais a implantação de Linhas de Transmissão Aéreas (LTA) tem sido cada vez mais complexa.

A Figura 1 mostra o panorama atual de LTS na Rede Básica (RB), dividido quanto ao *status* dessas obras, por região geográfica e ano de entrada em operação (ou previsto).

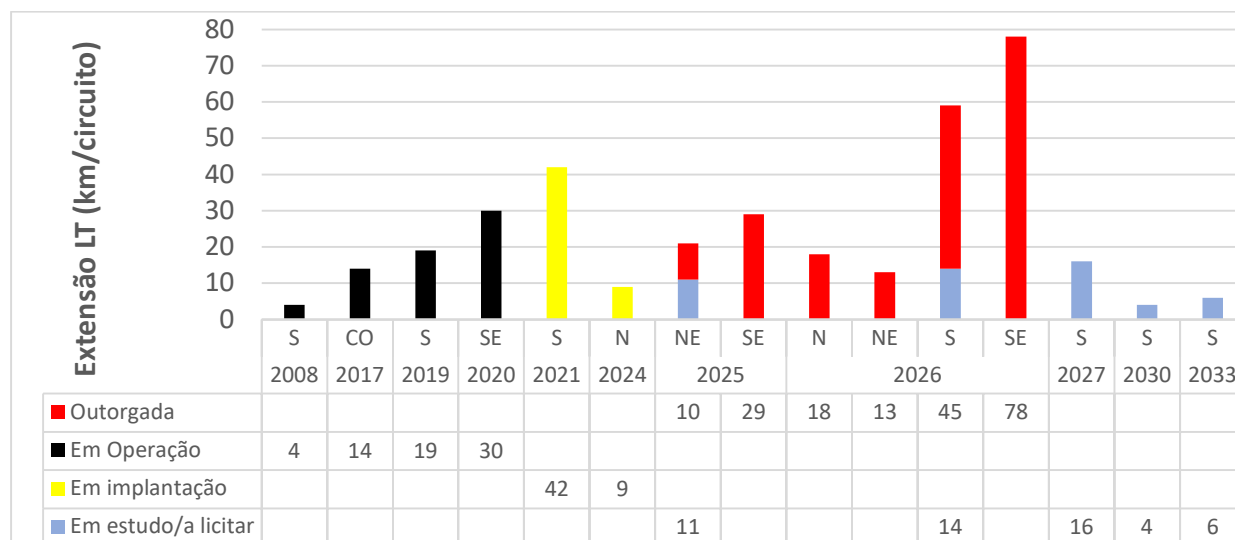


Figura 1 - Distribuição de LTS no Brasil considerando a extensão por ano e região em km/circuito

O problema na fase de planejamento é ainda mais complexo quando envolve a comparação de alternativas distintas como, por exemplo, escolher entre: (i) uma LTA com extensão de uma centena de quilômetros que possa desviar de alguns obstáculos; (ii) uma LTS com extensão de uma dezena de quilômetros no mesmo nível de tensão da LTA; ou (iii) uma segunda LTS com extensão de algumas dezenas de quilômetros e classe de tensão inferior.

Finalmente, a avaliação econômica também deve endereçar qual a melhor seção de um cabo isolado, dentre as possíveis seções viáveis, etapa normalmente chamada de condutor econômico.

No planejamento da expansão da transmissão, as avaliações econômicas desse tipo de tecnologia envolvem algumas dificuldades, uma vez que não existe nas instituições setoriais um banco de custos ou preços de referência para esse tipo de instalação. Até então, tem-se utilizado estimativas baseadas em: (i) fatores de sobre custo em relação aos preços médios por quilômetro de uma LTA equivalente; ou (ii) valores em R\$/km observados nos arremates e estimativas de lotes de LTS em leilões recentes. Ambas as abordagens têm validade restrita para extrapolação em localidades diferentes, outras potências, modificações do quadro macroeconômico etc.

Por outro lado, desenvolver um banco de custos de instalação para LTS é uma tarefa complexa, a começar pela escassez de dados nacionais, aplicabilidade limitada da literatura internacional às condições brasileiras e pouca experiência de implantação na RB, em comparação às LTA.

Outras particularidades nos custos associados à implantação de uma LTS impõem desafios importantes, uma vez que os custos de obras civis podem variar consideravelmente, a depender da região e do local de implantação, com incertezas econômicas associadas a construção de valas, banco de dutos, caixas de emenda, túneis, uso de Métodos de Construção Não Destrutivos (MND), entre outros. Além disso, os cabos isolados com tensões iguais ou superiores a 230 kV não são fabricados no Brasil, sendo fortemente dependentes da cotação do Real em relação às moedas estrangeiras e, ainda, dos preços de *commodities*, como o alumínio, cobre e derivados de petróleo. Consequentemente, tal banco exigiria uma revisão constante.

Portanto, visando a superar os desafios concernentes a um desenvolvimento dessa natureza, foi concebido um projeto inovador para o desenvolvimento de metodologia e ferramenta para o custeio de LTS, a serem aplicadas na fase de planejamento da expansão da transmissão. Em resumo, a ideia da metodologia e ferramenta é simular uma LTS, considerando as suas características descritivas básicas, tais como a configuração dos cabos e dos tipos de instalação conforme o trecho, os acessórios e serviços associados, custos regionais de obras e serviços de montagem, bem como a variação desses preços ao longo do tempo.

2.0 - BREVE DESCRIÇÃO DO PROJETO

O projeto de desenvolvimento da metodologia e ferramenta de custeio [1] foi desenvolvido por uma empresa de consultoria especializada, sob a coordenação da EPE.

É importante mencionar que o projeto é restrito à RB do SIN, isto é, LTS em Corrente Alternada (CA), com tensões de 230(242) kV, 345(362) kV e 500(525) kV. Embora seja de interesse do projeto, LTS de Corrente Contínua em Alta Tensão (CCAT - HVDC) não possuem caráter prioritário no trabalho e as informações associadas a esse tipo de tecnologia, embora abordadas, possuem tratamento simplificado.

2.1 - Etapa 1: Pesquisa para levantamento de dados e melhores práticas internacionais

Esta etapa visou caracterizar o objeto de estudo e levantar dados e melhores práticas associados ao custeio de LTS. Para isso, foram abertas cinco frentes de pesquisa: (i) na literatura – relatórios e artigos técnicos sobre LTS; (ii) junto a agentes do setor elétrico brasileiro – transmissoras e distribuidoras; (iii) junto à ANEEL – considerando as informações que o agente regulador dispõe; (iv) junto a fabricantes e fornecedores de cabos isolados e acessórios; e (v) plataformas públicas para obtenção custos de obras civis e de serviços.

Pesquisa na literatura

Na busca realizada na literatura, encontraram-se dezessete artigos e relatórios técnicos que retornaram fontes de dados interessantes para custeio de LTS, para diferentes configurações, como, por exemplo, a referência [2]. Como as informações possuem diferentes moedas e datas, foi necessária uma conversão de dados para o dólar norte americano a partir da cotação obtida para o ano em que o respectivo estudo foi publicado, visando possibilitar comparação entre os preços obtidos. A partir das informações brutas obtidas fez-se uma avaliação estatística dos custos totais de acordo com faixas de tensão e número de circuitos. De um modo geral, a pesquisa mostrou que os resultados mais comuns se referem aos custos totais das linhas e são incompletos em termos de desdobramentos de valores para itens mais detalhados como cabos de potência, acessórios, obras civis, entre outros. Os valores totais são dispersos, o que mostra que uma abordagem simplificada, baseada em custos por unidade de comprimento ou de potência, utilizada de forma geral pode ficar sujeita a erros grandes.

Também foram encontradas na literatura abordagens que visam estabelecer modelos preditivos estatísticos que utilizam atributos como, por exemplo, potência e comprimento, para obter o valor do investimento requerido, tanto para LT subterrâneas quanto para LT subaquáticas [3]. Utilizando essas fórmulas, nota-se que a ordem de grandeza dos resultados é mais aderente com o restante da literatura técnica para LTS de maiores potências.

Consulta à concessionárias de distribuição

Apesar de distribuidoras não serem o objeto do trabalho, existe uma quantidade razoável de linhas de distribuição urbanas que representam custos de instalação e obras civis em centros urbanos congestionados e, portanto, também foram objeto de consultas. No caso de concessionárias de distribuição, como resultados utilizáveis, duas distribuidoras retornaram valores para seis LTS distintas com cabos de alumínio de seções entre 1200 e 2000 mm².

Consulta à concessionárias de transmissão

No caso de concessionárias de transmissão, como resultados utilizáveis, quatro transmissoras responderam com informações para LT subterrâneas e submarinas de 230 kV (cabos de seção de cobre 500 mm² e alumínio 1200 e 1600 mm²). Observou-se, para LT subterrâneas, uma diferença entre os custos totais por quilômetro das respostas de mais de 50 %. Entretanto, quando foram comparados os custos de obras civis, há concordância nos valores. Já para as LT subaquáticas, não foi possível realizar comparação entre respostas, porque o valor apresentado para o custo total de uma das respostas resultou inferior ao valor das obras civis. No que tange aos acessórios, há grandes diferenças nos valores apresentados pelas duas transmissoras, com equipamentos que chegam ao dobro do preço.

Consulta a dados disponíveis na ANEEL

Os dados obtidos junto à ANEEL apresentaram informações para LT subterrâneas e submarinas de 230 kV (cabos de seções 1200, 1400, 1600 e 2000 mm²) e 345 kV (cabos de seções 1600 e 2500 mm²), para os anos entre 2018 e 2020, com resultados que se mostraram superiores aos valores internacionais levantados na literatura. Apesar das incertezas na comparação, os valores da literatura são influenciados por cabos com condutores de cobre, enquanto aqueles obtidos a partir de dados da ANEEL são para condutores de alumínio, o que torna a comparação ainda mais desfavorável. Para LTS 230 kV, observou-se desvio dos custos para cabos com seção de 1600 mm² em relação aos demais. Para LTS 345 kV, houve maior concordância entre os valores obtidos. Os preços totais obtidos foram divididos em materiais, serviços e obras civis. Entretanto, observou-se que não havia custos para obras civis em todos os casos. Além disso, apenas para dois casos foi possível obter um maior detalhamento sobre os preços de acessórios.

Consulta a fabricantes

Além dos cabos de potência de alta tensão, foram considerados também no universo de pesquisa os acessórios, cujos principais itens estão representados na Figura 2.

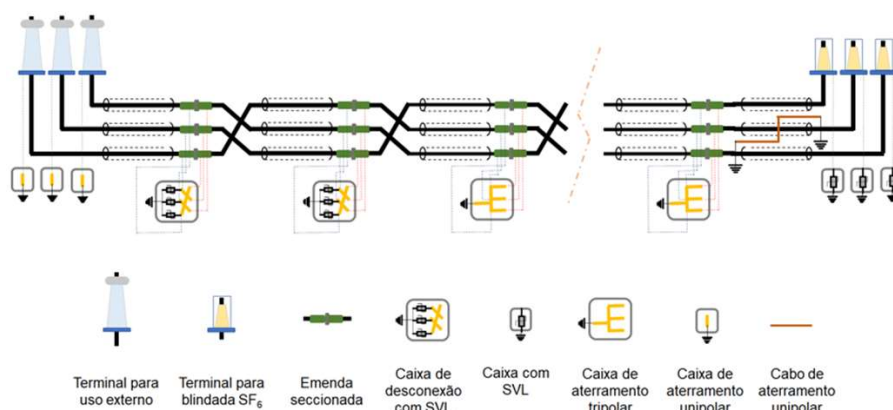


Figura 2 - Principais elementos que compõem uma LTS

Em relação à consulta realizada a fabricantes, foi recebida apenas uma resposta com preços de cabos e duas com preços de acessórios e serviços de montagem, o que limitou a realização de um estudo estatístico desses valores. De qualquer forma, a despeito das diferenças observadas entre os fornecedores, os resultados referentes às montagens e acessórios são bastante úteis para a composição de custos de LTS.

Obras civis e serviços disponíveis em bases públicas

As obras civis de uma LTS típica são fundamentalmente compostas por trechos em valas, MND¹ ou túneis, além de caixas de emendas e bases de terminais para uso externo.

A implantação de LTS por meio de valas a céu aberto é o meio mais comum, seja pela economia, seja pela flexibilidade para atendimento aos requisitos elétricos. De forma geral, as principais atividades à implantação de valas são: ruptura e remoção da pavimentação, escavação para abertura da vala, remoção de material, regularização do fundo, instalação de dutos e *backfill*², camada de concreto protetora, reaterro e reconstituição da superfície original. Dessas atividades, apenas os dutos e o *backfill*, não são comuns a obras de saneamento e gás natural, possibilitando a pesquisa em bases mais gerais de obras civis.

Com intuito de serem obtidos preços regionais, inicialmente as pesquisas foram direcionadas às Secretarias de Infraestrutura de Municípios que tiveram ou têm previsão de ter implantação de linhas de transmissão com cabos isolados (Porto Alegre, Florianópolis, Curitiba, São Paulo, Salvador, Fortaleza, Brasília e Manaus).

¹ Métodos não-destrutivos são aqueles nos quais não há abertura de vala, reduzindo as interrupções de tráfego na superfície do solo ou permitindo ultrapassar interferências sem longos desvios na rota.

² *Backfill* é o material de envoltória dos cabos isolados, que substitui a parte mais próxima do solo circundante e cuja resistividade térmica se mantém limitada, mesmo com baixo teor de umidade.

Como a pesquisa inicial não foi bem-sucedida, passou-se a recorrer às bases de dados nacionais, especialmente SICRO³ e SINAPI⁴, nas quais foi possível obter as referências de custos das principais atividades necessárias para o custeio das obras civis (com uma única exceção referente aos custos do MND, obtido do SEINFRA-CE⁵). Vale ressaltar que todas essas plataformas são públicas e são atualizadas periodicamente para fornecer referências de preços a obras de infraestrutura no âmbito da administração pública.

2.2 - Etapa 2: Desenvolvimento da metodologia de orçamento, modulação e precificação

Nesta etapa foi proposta uma nova metodologia para orçamento, modulação e precificação de LTS, cujos principais itens associados estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Itens para custeio de uma LTS.

Tipo	Descrição
Serviços	Administração e mobilização
	Projeto, licenças, suprimentos e logística
	Instalação dos dutos
	Lançamento dos cabos
	Montagem de terminais para uso externo
	Montagem de terminais para subestação SF ₆ (GIS)
	Montagem de emendas
	Lançamento dos cabos com montagem de ferragens em túneis
	Lançamento dos cabos óticos e de aterramento
	Instalação e comissionamento do DTS
	Instalação de cabos subaquáticos
	Ensaio de tipo
	Ensaio após a instalação
Materiais	Cabo de potência de alta tensão
	Módulo de terminais para uso externo
	Módulo de terminais para subestação SF ₆ (GIS)
	Módulo de emendas
	DTS (<i>distributed temperature system</i>)
	Cabo de aterramento (<i>single-point</i>)
	Cabo ótico
Obras civis	Administração e mobilização
	Valas
	MND
	Túneis
	Caixas de emendas
	Abrigos de <i>link boxes</i>
	Caixas de injeção de bentonita
	Fundações de base suporte de terminais externos
	Dutos
Outros	Faixas de servidão
	CCI
	Fatores de custos eventuais

Em relação à metodologia de custeio de LTS desenvolvida nesta etapa, pode-se afirmar que existem dois pontos de destaque, com contribuições decisivas ao resultado final: (i) método para cálculo do preço de fabricação industrial de cabos de potência de alta tensão – considerando a restrição de dados observada na primeira etapa; e (ii) custeio de obras civis por meio de consulta às plataformas públicas contendo bases de referência de custos nacionais, nas quais é possível obter referências de custos das principais atividades necessárias ao custeio de obras civis. Por essa razão, maior foco será destinado a esses elementos.

Serviços:

Cada item da Tabela 1 associado a serviços, exceto a parte de licenças e projetos, foi custeado, considerando-se a forma geral da equação 1 (embora cada serviço possua sua particularidade na fórmula de cálculo pertinente).

$$CS = [US \times tx + (1 + BDIS)UEG] \frac{L_{Trecho} N_{fases}}{PMS} \quad (1)$$

Onde:

CS: custo dos serviços em R\$

US: custo unitário de supervisão de serviço pelo fabricante, em R\$/h, se aplicável

BDIS: Benefícios e Despesas Indiretas de Serviços

tx: taxa de câmbio aplicável (US\$/R\$ ou €/R\$)

L_{Trecho} : comprimento do trecho de serviço, em metros

UEG: custo unitário da equipe local, dentre os quais auxiliares técnicos de engenharia e de serviços gerais, em R\$/h obtido do SINAPI

PMS: produtividade média de trabalho do serviço, em metros/h

N_{fases} : número total de fases da LTS

³ O Sistema de Custos Referenciais de Obras – SICRO reúne dados necessários à elaboração de orçamentos de obras e serviços no âmbito do DNIT.

⁴ O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) é a ferramenta pela qual a Administração Pública Federal define os valores dos insumos e serviços necessários às obras e serviços de engenharia.

⁵ SEINFRA CE é a Secretaria de Infraestrutura do Estado do Ceará.

Materiais:

Para a maior parte dos materiais considerados na Tabela 1 os custos foram obtidos conforme as cotações recebidas na primeira etapa, utilizando-se a mediana dos valores recebidos, com exceção dos cabos de potência de alta tensão, para os quais a amostra recebida não apresentou uma variedade suficiente nas classes de tensão, seções de condutor e de blindagens/capas metálicas, com a qual fosse possível estimar todos os casos que venham a ser requeridos.

Uma vez que os cabos de potência constituem parte essencial dos custos totais de uma LTS, identificou-se a necessidade de ser criada uma metodologia que estimasse os preços a partir de suas características construtivas.

O método consiste no cálculo da quantidade de material de cada camada constituinte, a partir de considerações geométricas, com dimensões de *data sheets* e algumas estimativas de dados não usualmente fornecidos. A soma das quantidades permite obter, ainda, a massa total do cabo (m_{total}).

A seguir calcula-se o Custo Total das Matérias-Primas (CMP) pela adição dos produtos dos custos unitários pela quantidade de material de cada camada constituinte do cabo, considerando valores de referência para os materiais metálicos e não metálicos, bem como quebras do processo produtivo.

O processo utiliza Preços Industriais Reais (PI) obtidos na etapa 1 para estabelecer uma equação de regressão linear com o formato da equação 2:

$$PI = (\alpha \cdot m_{total} + \beta)CMP \quad (2)$$

Onde:

m_{total} : massa do cabo (kg/km)

α e β : coeficientes da equação de regressão linear formada a partir das cotações e valores calculados de m_{total}

Observa-se que os coeficientes da regressão linear realizam uma calibração do modelo, que corrige eventuais distorções dos custos das matérias primas. Com a correlação obtida é possível generalizar os preços para qualquer seção, classe de tensão, nível de curto-circuito, entre outras características não obtidas com os dados da etapa 1.

No caso dos acessórios, para facilitar o custeio a partir dos orçamentos, foram propostos módulos, que contemplam os conjuntos com os componentes associados (por exemplo, três emendas, uma *link box* e cabos concêntricos e de aterramento, constituindo o módulo emendas isoladas ou aterradas do *cross-bonding*).

Ao final, deve-se acrescentar ao preço obtido as despesas e os impostos de importação (com ou sem benefício do Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento de Infraestrutura, REIDI) bem como ICMS para se obter o preço de venda, valor efetivamente utilizado no custeio total.

Obras Civis:

Para um mesmo tipo de obra civil e configuração dos cabos, é possível calcular custos diferentes em função de atributos como profundidade, nível de interferência e tipo de solo. Neste trabalho, foi dada preferência aos custos do SINAPI, pois eles apresentam uma divisão entre locais de baixa e alta interferência que não existe no SICRO. Além disso, o SICRO tem custos associados a obras de transporte rodoviário que podem diferir muito das condições dos locais típicos de implantação de LTS.

Conforme mencionado, o caso de valas a céu aberto é o mais comum em obras civis para as LTS. Para este caso, as etapas da obra são resumidas conforme exposto na Figura 4. Cada etapa possui um custo associado e calculado conforme suas particularidades como: volume e custo do material a ser extraído ou preenchido, custo de transporte do material, outros custos civis para realização da obra (escoramento), entre outros.

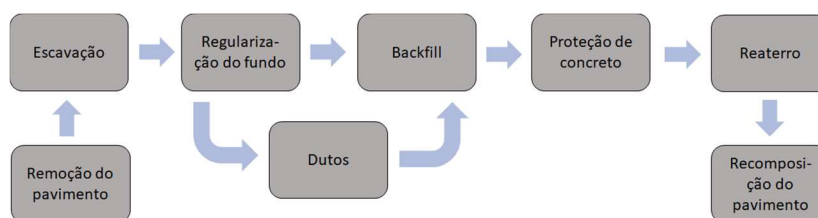


Figura 3 - Etapas associadas a obras de LTS em vala

Como exemplo, para o custo de escavação, tem-se a equação 3:

$$CE = UE \times VE + 2UESC \times A_{vala} + (DMA \times UTR + UCD)VTR \quad (3)$$

Sendo:

CE: custo da escavação (R\$)

VE: volume escavado (m³)

A_{vala} : Área lateral da vala (m²)

UCD: custo unitário de carga e descarga do material (R\$/m³),

conforme código SINAPI aplicável

VTR: volume transportado (m³)

UE: custo unitário de escavação (R\$/m³)

UESC: custo unitário de escoramento (R\$/m²)

UTR: custo unitário de transporte (R\$/km.m³) conforme código

SINAPI aplicável

DMA: distância média do local de aterro à obra (km)

Para os cálculos, os custos unitários são buscados nas plataformas públicas com códigos predefinidos do SINAPI e, em casos específicos, do SICRO ou SEINFRA-CE. O modelo contempla a modelagem de caixas de emendas, abrigos de *link boxes*, túneis etc, que, por concisão, não estão descritos neste artigo.

Para a obtenção dos preços das obras civis é necessário acrescentar aos valores calculados o BDI (utilizando como referência o acórdão do Tribunal de Contas da União) bem como o percentual de administração e mobilização.

Outros:

Considerando que a maior parte dos traçados de LTS prevê a utilização de vias públicas sem nenhuma limitação de suas funções normais, bem como as Declarações de Utilidade Pública (DUP) emitidas pela ANEEL e que, em geral, faixas de passagem de LTA já são remuneradas de forma específica, considera-se que o item destinado à faixa de servidão não possui custo relevante, em geral. Não obstante, o modelo permite a inserção de um valor pelo usuário, caso seja aplicável.

Outros custos, associados a: emendas de dutos, vedações de dutos, tapumes, sinalização de interrupção de vias, placas de aço para circulação de veículos, esgotamento de valas inundadas, furos para dutos e cabos nas caixas de emendas e abrigos, fitas de advertência, lubrificante de puxamento dos cabos, emendas óticas, entre outros, foram desprezados.

Custos totais:

O custeio de uma LTS é o somatório de cada custo individualmente descrito pelos itens da Tabela 1. É praxe considerar um valor adicional para despesas imprevistas, modificações pontuais no projeto, erros, incertezas etc. No modelo proposto podem ser inseridos fatores para serviços, materiais ou obras civis, permitindo avaliar efeitos separadamente para fins análise de sensibilidade, porém com limitações, de maneira a não descaracterizar o cálculo realizado com coeficientes estimados.

2.3 - Etapa 3: Atualização econômica para atualização dos preços unitários no tempo

Como cabos isolados com tensões iguais ou superiores a 230 kV e seus acessórios não são fabricados no Brasil, os custos das LTS sofrem forte influência das taxas de câmbio, bem como dos preços de *commodities*, como o alumínio, cobre etc. Além disso, os custos locais de serviços e obras civis estão sujeitos a reajustes conforme inflação local, ciclos econômicos e outros fatores. Assim, adicionalmente à metodologia de cálculo e as fontes de dados, foi necessário preocupar-se com a atualização dos valores, conforme descrito a seguir.

Atualização de dados gerais de entrada

Os cálculos desenvolvidos são dependentes de diversos dados gerais que devem ser atualizados como taxas de câmbios, taxas de inflação, preços de metais, preços de materiais não-metálicos, além de tabelas de alíquotas de impostos. Esses dados podem ser obtidos por meio de sítios eletrônicos específicos e confiáveis.

Atualização dos preços de cabos e acessórios:

A fórmula usual utilizada pelos fabricantes para reajustes dos cabos de potência, supondo apenas cobre e alumínio, está a seguir:

$$PA = PR + 0,001[m_{Al}(LMEA_{Al} - LMER_{Al}) + m_{Cu}(LMEA_{Cu} - LMER_{Cu})] \quad (4)$$

Onde:

PA: preço atualizado (US\$/m)

PR: preço de referência (US\$/m)

m_{Al} : massa de alumínio do cabo (kg/m)

m_{Cu} : massa de cobre do cabo (kg/m)

$LMEA_{Al}$ cotação LME atualizada do alumínio (US\$/t)

$LMER_{Al}$ cotação LME de referência do alumínio (US\$/t)

$LMEA_{Cu}$ cotação LME atualizada do cobre (US\$/t)

$LMER_{Cu}$ cotação LME de referência do cobre (US\$/t)

Essa fórmula se justifica pela maior incidência do preço dos metais do que dos polímeros no custo dos cabos. Além disso, em relação aos custos de produção e mão de obra, em geral, os países produtores de cabos possuem uma certa estabilidade econômica, além de naturais ganhos de produtividade alcançados com a evolução da indústria, o que limita eventuais variações mais expressivas. Adicionalmente, as cotações orçamentárias recebidas normalmente tendem a ter valores maiores que aqueles negociados, o que prevê uma certa segurança para os preços.

Em relação à atualização de custos de acessórios e serviços de supervisão, uma correção pela taxa acumulada de inflação da moeda de cotação foi considerada suficiente para os fins deste trabalho.

Atualização dos custos de obras civis e serviços

As fontes destes dados são principalmente o SINAPI e o SICRO, com cerca de 70 códigos específicos das atividades ou materiais, predefinidos na etapa de metodologia, cujos valores precisam ser armazenados em um banco local para utilização durante os cálculos.

Os custos do SINAPI são atualizados mensalmente, enquanto os do SICRO quatro vezes por ano, em geral em janeiro, abril, julho e outubro. Deste modo, a base de dados de custos de obras civis será atualizada simplesmente pela importação dos últimos dados vigentes, sem utilização de nenhum índice.

2.4 - Etapa 4: Desenvolvimento da ferramenta computacional

Na Etapa 4 foi implementado um programa computacional que considera a base dados (que engloba todo o repositório de preços), tabelas e propriedades de dados gerais e realiza ações de importação de dados públicos e cálculos conforme indicado, de modo simplificado, na Figura 4.

O banco de dados é baseado na linguagem SQL Server (da empresa Microsoft®) e o motor de cálculo e a interface foram elaboradas em linguagem Java (da empresa Oracle®).

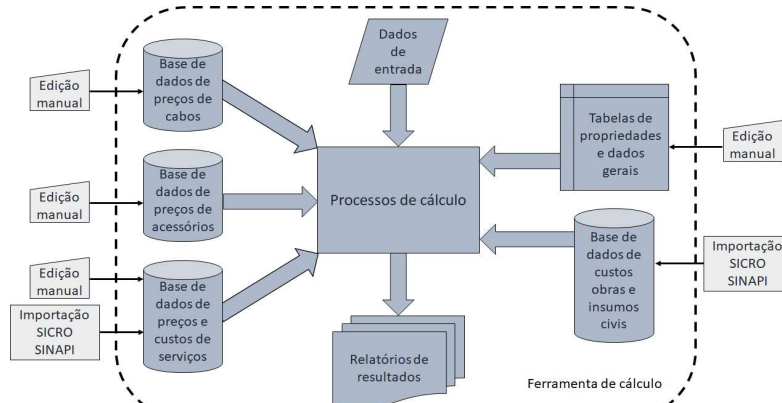


Figura 4 - Entradas e saídas da ferramenta de cálculo

A ferramenta de simulação de custeio de LTS pode ser utilizada tanto para o processamento de um conjunto de casos predefinidos, que constituem um banco de referência para utilização pela EPE na etapa inicial de análise de viabilidade das alternativas, como para simulações de custos mais pormenorizadas de casos específicos.

Em ambas as situações o custeio de estudos previamente realizados pode ser atualizado, sempre que necessário, pela ferramenta computacional com o emprego dos critérios descritos no item precedente.

3.0 - VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Na avaliação dos resultados, é importante destacar inicialmente que a realização do custeio na etapa de planejamento está sujeita a alguns erros e incertezas, pois esse custeio não está vinculado a negociações de preço baseadas em um quantitativo específico de materiais e a um projeto executivo. Por outro lado, é razoável compreender que eventuais erros entre um custeio real e um custeio simulado são inerentes a qualquer processo de simulação e tende a afetar todas as alternativas sob avaliação de maneira uniforme.

Tendo essas limitações em mente, foram selecionadas algumas LTS cujo trajeto fosse totalmente subterrâneo para simulações de custo e avaliação dos resultados. A seguir são apresentados dois estudos de caso: (i) dados de uma LTS de 230 kV (alumínio, 2000 mm²) localizada na Região Nordeste; e (ii) duas LTS de 345 kV (alumínio, 1600 mm²) localizadas no estado de São Paulo. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 5 e na Figura 6, utilizando preços e taxa de câmbio de dezembro de 2020.

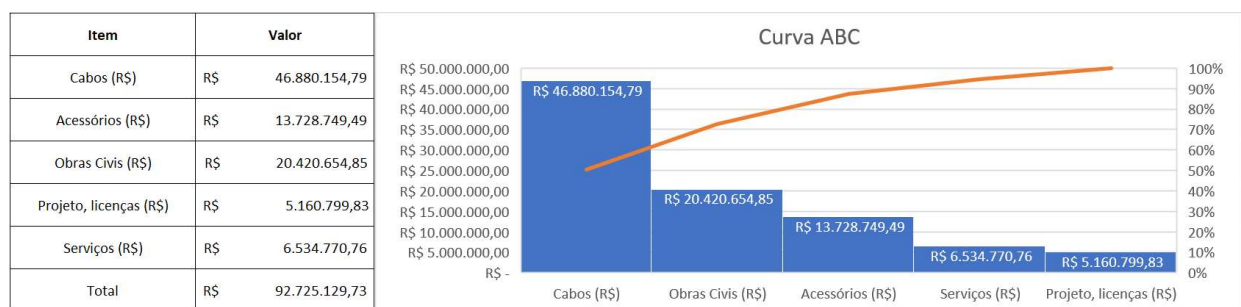


Figura 5: Resultados obtidos para uma linha 230 kV localizada na região nordeste

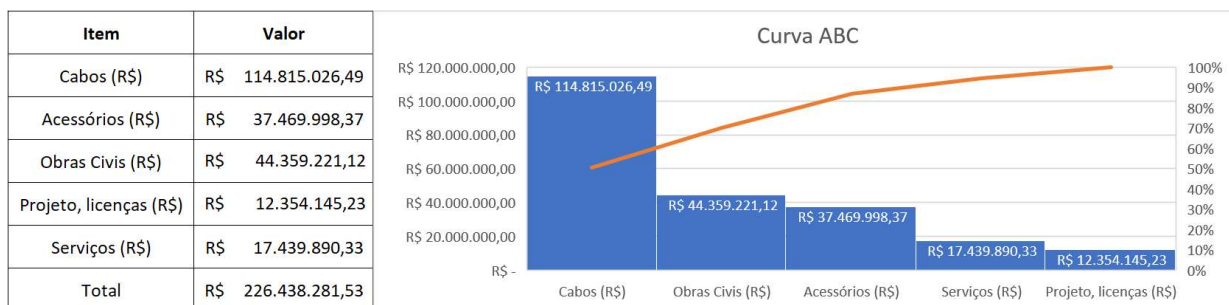


Figura 6: Resultados obtidos para duas linhas 345 kV no estado de São Paulo

O primeiro método de validação consiste em comparar a ordem de grandeza dos resultados com os valores da Etapa 1. O custo total obtido de R\$ 92.725.129,73 para o estudo 1, aproximadamente R\$ 14,3 milhões por quilômetro (US\$ 2,8 milhões por km) é consistente com os valores pesquisados em referências internacionais mencionados na Etapa 1. O mesmo pode ser dito para o estudo 2, com custo total calculado de R\$ 226.438.281,53, aproximadamente R\$ 13,2 milhões por quilômetro (US\$ 2,6 milhões por km).

O segundo método de validação considerou os preços de leilões de transmissão [4] com empreendimentos similares aos simulados. No estudo 1, o valor total calculado pela metodologia foi 40 % menor em relação à fase pré-leilão (preço-teto) e 80 % maior no pós-leilão. Já para o estudo 2, o custo total calculado ficou 56 % abaixo do observado na fase pré-leilão e 35 % acima após o certame. Ressalta-se que as estimativas para os preços pós-leilão são aproximadas, pois os deságios das Receitas Anuais Permitidas (RAP) são diretamente aplicados nas estimativas de investimento das LTS na fase pré-leilão, sem considerar outros aspectos, como a engenharia econômica dos proponentes, incluindo, no caso desta comparação, aspectos econômicos diferentes do deságio para LTS e subestações que compõem os lotes avaliados. De todo modo, como as estimativas de custo deste trabalho se encontram em valor intermediário (menor que a receita máxima e maior que a receita vencedora da concessão), julga-se as mesmas adequadas para fins de estudos de planejamento.

Uma terceira métrica de comparação, baseada em valores reportados nos contratos de concessão, não apresentou resultados conclusivos. Em tese, nestes contratos constariam os reais preços das LTS.

A concordância nos valores totais é importante, mas não dispensa uma análise dos custos desdobrados, uma vez que a metodologia e ferramenta permitem a inclusão de custos eventuais por meio de fatores de correção.

Em relação aos materiais (principalmente cabos) é esperado que as cotações orçamentárias obtidas não representem os preços negociados de aquisição e, portanto, tendam a ser maiores que aqueles reais.

Já em relação às obras civis e serviços, recomenda-se utilizar um fator de correção maior que um (1,15 a 1,2) para contemplar as especificidades construtivas de uma LTS, bem como imprevistos, tais como paralisações decorrentes de condições climáticas desfavoráveis, limitações de horários de trabalho em vias urbanas etc.

Adicionalmente, conforme discutido, na análise econômica de alternativas com LTS, tem-se utilizado métricas que levam em conta fatores de sobrecusto (FS) em R\$/km de LTS em relação à LTA. Destaca-se que, usualmente, para quaisquer classes de tensão e seções de cabos são considerados FS típicos de cerca de 10 vezes (valor histórico obtido a partir de interações com fabricantes e transmissoras com experiência em implantação de LTS).

Por outro lado, no caso deste trabalho, visando apenas subsidiar uma ordem de grandeza específica para os casos simulados, é importante levantar esses valores. Para a comparação, os custos das LTA foram obtidos a partir do banco de preços de referências mantido pela ANEEL [5]. Para o estudo 1, comparou-se a LTS 230 kV CD com uma LT 230 kV com estrutura autoportante típica em circuito duplo, com 2 subcondutores TERN (795 MCM) por fase, e encontrou-se um FS de 7,7. No caso do estudo 2, comparou-se a LTS 345 CD com uma LT 345 kV com estrutura autoportante típica em circuito duplo, com 2 subcondutores RAIL (954 MCM) por fase, e encontrou-se um FS de 5,7. Por fim, nota-se que os valores de FS encontrados são menores que aquele usualmente aplicados, indicando que o uso de um valor típico, de fato, não é a melhor estratégia para o custeio de uma LTS, mesmo porque os custos de instalação de uma LTA mudam significativamente em função dos seus cabos condutores (número de subcondutores por fase, bitola e tipo) e tipo estrutura (autoportante ou estaiada). Deve-se, portanto, realizar uma avaliação que considere detalhes específicos de cada solução de LTS conforme exposto na metodologia.

4.0 - CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu o desenvolvimento de uma metodologia de custeio de LTS, com características originais, não encontradas na literatura técnica revisada e cujos resultados se mostraram consistentes nas comparações realizadas.

A utilização da ferramenta computacional de custeio desenvolvida permite uma evolução dos critérios de planejamento da expansão da transmissão até então aplicados para obter um custeio de LTS, de forma ágil e mais adequada que os antigos métodos baseados em fatores de sobrecusto em relação às LTA e/ou valores em R\$/km não associados a cotações específicas para simulações de custeio de LTS.

Observa-se que os resultados totais obtidos inicialmente com a ferramenta são promissores para serem considerados em análises técnico-econômicas realizadas no âmbito do planejamento da expansão da rede do SIN, utilizando como métricas valores observados em leilões recentes e obtidos na pesquisa bibliográfica internacional.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] <https://www.epe.gov.br/pt/acesso-a-informacao/licitacoes-e-contratos/li-epe-002-2020>, acessado em 07/09/2021s, às 21:00.

[2] ACER, Agency for the Cooperation of Energy Regulators. On Unit Investment Cost Indicators and Corresponding Reference Values for Electricity and Gas Infrastructure. 2015. Disponível em: https://www.acer.europa.eu/official_documents/acts_of_the_agency/publication/uic%20report%20-%20gas%20infrastructure.pdf. Acesso em: 07 jan. 2021.

[3] CEER, Council of European Energy Regulators. Pan-European cost-efficiency benchmark for electricity transmission system operators. Appendix/Norm Grid Development. TCB18 Project. 2019. Disponível em: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/559c7df0-9cf3-2153-07bd-855bdf9a6a13>, acessado em 07/09/2021, às 21:00.

[4] http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/editais_transmissao/documentos_editais.cfm?IdProgramaEdital=185 acessado em 16/09/2021 às 17:00.

[5] <http://bprsimulador.aneel.gov.br/>, acessado em 16/09/2021 às 17:00.

DADOS BIOGRÁFICOS



Graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará em 2012. Mestre pelo Programa de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Ingressou no Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) em 2013, onde atuou em estudos de ampliações e reforços no Sistema Interligado Nacional (SIN). Desde 2015, é Analista de Pesquisa Energética na Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e tem trabalhado com estudos de planejamento da transmissão do SIN, com ênfase em estudos de transitórios eletromagnéticos e linhas de transmissão.

(2) DANIEL JOSÉ TAVARES DE SOUZA
Daniel José Tavares de Souza graduou-se Engenheiro Eletricista pelo CEFET/RJ (2005) e é mestre em Sistemas de Potência pela COPPE/UFRJ (2011). Trabalhou em empresas como Eletrobrás, Furnas e ONS. Atualmente exerce a função de Consultor Técnico na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, onde coordena os grupos de estudos de expansão da transmissão dos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, além do grupo de estudos especiais de transitórios eletromagnéticos e de projetos de linhas de transmissão. Integra a equipe da superintendência de transmissão de energia da EPE desde 2007.

(3) DOURIVAL CARVALHO
Dourival de Souza Carvalho Junior, engenheiro eletricista formado pela PUC-Rio em 1976; mestre em ciências em engenharia elétrica pela Coppe/UFRJ em 1980; Academic Visitor no Imperial College of Science and Technology (Londres, Inglaterra), por um ano, em 1987; mestre em administração de empresas pela PUC-Rio em 1995. É analista na Superintendência de Transmissão de Energia na EPE desde 2007. Experiência de mais de 30 anos em planejamento, consultoria, ensino, pesquisa e estudos de sistemas elétricos de potência, atuando em empresas como Ptel, Promon, Marte, Cepel e PA Consulting.

(4) FABIANO SCHMIDT
Graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFMT em 2010. Possui mestrado e doutorado pela UNICAMP em 2013 e 2017, respectivamente, onde realizou pesquisas em modelagem matemática/computacional na área de estimação de estado em sistemas de energia elétrica. É analista na Superintendência de Transmissão de Energia da EPE desde 2015. Nesse período tem trabalhado com estudos elétricos para o planejamento da expansão da transmissão.

(5) BRUNO SCARPA ALVES DA SILVEIRA
Graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) em 2008. Atua há mais de 10 anos no setor elétrico e acumula experiência profissional em duas multinacionais de grande porte. Desde 2013 integra a equipe da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) desenvolvendo estudos de planejamento de expansão da transmissão do SIN, com ênfase na análise de transitórios eletromagnéticos, aplicações em subestações e custeio de empreendimentos.

(6) ANTONIO PAULO DA CUNHA
Possui Graduação (1985), Mestrado (1997) e Doutorado (2011) em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Atualmente consultor independente, tem experiências profissionais nas áreas de desenvolvimento de produtos, P&D, bem como projetos e análise de Redes de Distribuição e Linhas de Transmissão aéreas e subterrâneas.

(7) MARCELO APARECIDO PELEGRINI

Marcelo Aparecido Pelegrini é graduado, mestre e doutor em Sistemas de Potência pela USP (2003). Membro do IEEE e Cigré. É sócio-diretor da Sinapsis Inovação em Energia, onde coordenou mais de trinta projetos de consultoria e P&D nas áreas de Distribuição de Energia Elétrica, Comercialização de Energia, Redes Subterrâneas, Planejamento da Distribuição, Eletrificação Rural, Regulação Técnica e Econômica do setor de energia elétrica e gás canalizado e Redes Elétricas Inteligentes, para organizações públicas e privadas, como ENEL, EDP Brasil, FECOERGS, OCB/SESCOOP, Cemig, Celesc, CPFL, Neoenergia, Equatorial, Energisa, Eletrobras, CTG, AES Brasil, ARSESP, ANEEL, BID, LuxDev, Banco Mundial.

(8) NATASHA AKIE YAGUIU KNORST

Possui graduação em Engenharia Elétrica - Ênfase em Energia e Automação pela Universidade de São Paulo (2019). Atualmente é engenheira pesquisadora, com experiência nas seguintes áreas: sistemas elétricos de potência, transmissão e distribuição de energia, automação e proteção de sistemas elétricos, smart grids, redes subterrâneas e redes inteligentes.

(9) BRUNO HIDEKI NAKATA

Possui graduação em Engenharia Elétrica - Ênfase em Energia e Automação pela Universidade de São Paulo (2011) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (2017). Atualmente é engenheiro pesquisador e coordenador de projetos, com experiência nas seguintes áreas: sistemas elétricos de potência, transmissão e distribuição de energia, cálculo de perdas regulatórias, automação e proteção de sistemas elétricos, smart grids, gestão de ativos, redes subterrâneas e redes inteligentes.