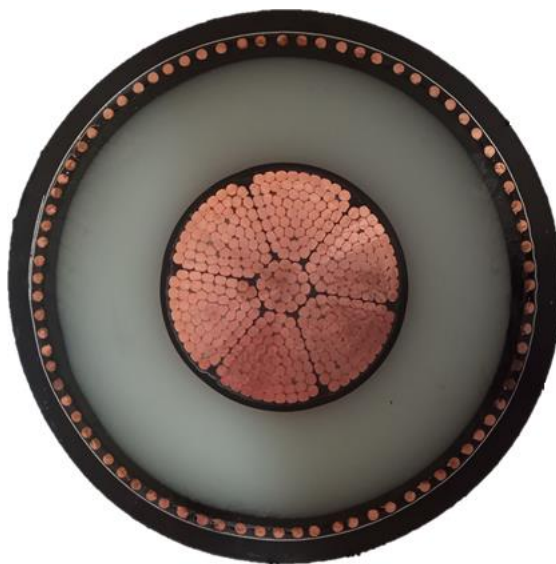


LI.EPE.002/20 - SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA
PRODUZIR ESTIMATIVA DE CUSTOS DE LINHAS DE
TRANSMISSÃO SUBTERRÂNEAS E/OU SUBAQUÁTICAS



ETAPA I

PESQUISA PARA LEVANTAMENTO DE DADOS E MELHORES PRÁTICAS
INTERNACIONAIS



SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA PRODUZIR ESTIMATIVA DE CUSTOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO SUBTERRÂNEAS E/OU SUBAQUÁTICAS	
PESQUISA PARA LEVANTAMENTO DE DADOS E MELHORES PRÁTICAS INTERNACIONAIS	
ETAPA I	REVISÃO: 3

Histórico de revisões:

Data	Versão	Descrição	Autor(es)
16/02/24	3	Revisão conforme novos comentários da EPE	Sinapsis/EPE
24/03/21	2	Inclusão de novos dados e revisões conforme comentários da EPE	Sinapsis/EPE
22/02/21	1	Revisão 1	Sinapsis/EPE
05/02/21	0	Emissão preliminar	Sinapsis/EPE

Equipe Técnica

Antonio Paulo da Cunha – Sinapsis Inovação em Energia

Bruno Hideki Nakata – Sinapsis Inovação em Energia

Marcelo Aparecido Pelegrini – Sinapsis Inovação em Energia

Natasha Akie Yagui Knorst – Sinapsis Inovação em Energia

Bruno Scarpa Alves da Silveira – Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Daniel José Tavares de Souza – Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Dourival de Souza Carvalho Júnior – Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Fabiano Schmidt – Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Sergio Felipe Falcão Lima – Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Sumário

Sumário	4
1. Introdução e Objetivos	8
1.1 Considerações preliminares	8
1.2 Abrangência da consultoria	8
1.3 Custos e preços	9
1.4 Aspectos específicos de linhas subaquáticas e HVDC	9
1.4.1 Linhas subaquáticas	9
1.4.2 Linhas de transmissão HVDC	10
1.5 Objetivos	12
2. Etapas e Cronograma	13
3. Principais itens para custeio e precificação	15
3.1 Cabos e acessórios	15
3.1.1 Aspectos tributários	25
3.2 Elementos para precificação de obras civis	25
3.2.1 Linhas de transmissão subterrâneas	25
3.2.1.1 Valas	26
3.2.1.2 MND	27
3.2.1.3 Túneis	28
3.2.1.4 Caixas de emendas	29
3.2.1.5 Bases para terminais para uso externo	30
3.2.1.6 Outros custos civis	30
3.2.2 Linhas de transmissão subaquáticas	30
3.2.3 Encargos sociais	32
3.3 Serviços associados	32
3.4 Ensaios de pré-qualificação e de tipo	35
3.5 Servidões	35
3.6 Operação e manutenção	36
4. Metodologia da pesquisa de preços e custos	38
5. Resultados	39
5.1 Relatórios e artigos técnicos sobre linhas de transmissão	39
5.1.1 Linhas de transmissão subterrâneas	39
5.1.1.1 Operação e manutenção	44
5.1.2 Linhas de transmissão subaquáticas	44
5.1.2.1 Operação e manutenção	51

5.2	Obras civis	52
5.2.1	Pesquisa nas secretarias de obras de infraestrutura	52
5.2.2	Bases de dados nacionais públicas	53
5.2.3	TCPOweb	54
5.2.4	BDI	55
5.2.5	Análises e comparações de valores	57
5.2.5.1	Valas.....	57
5.2.5.2	MND	62
5.2.5.3	Caixas de emendas e abrigos de <i>link boxes</i>	63
5.2.5.4	Túneis.....	64
5.3	Pedidos de cotações orçamentárias a fabricantes de cabos e acessórios ..	65
5.3.1	Códigos NCM.....	70
5.4	Consulta aos dados disponíveis na ANEEL	70
5.5	Consulta a transmissoras e distribuidoras de energia elétrica	75
5.6	Custos de serviços	81
5.6.1	Preço do projeto.....	81
5.6.2	Licenças.....	83
5.6.3	Serviços de instalação	83
5.6.4	Seguros.....	84
6.	Conclusões	85
7.	Referências bibliográficas	87
	Anexo A – Consulta a fornecedores de cabos e acessórios	91
	Anexo B – Consulta às transmissoras e distribuidoras	99

Acrônimos e siglas

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

BDI: Benefícios e Despesas Indiretas

DTS: Distributed Temperature Sensing

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

CCI: Contrato de Compartilhamento de Infraestrutura

COFINS: Contribuição para Financiamento da Seguridade Social

CPRB: Contribuição Previdenciária sobre a Receita Bruta

CSC: Current-sourced Converter

CSLL: Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido

DUP: Declaração de Utilidade Pública

EPDM: Ethylene Propylene Diene Monomer

HDD: Horizontal Directional Drilling

HEPR: Hard grade Ethylene Propylene Rubber

HVAC: High Voltage Alternating Current

HVDC: High Voltage Direct Current

IRPJ: Imposto de Renda da Pessoa Jurídica

ISS: Impostos Sobre Serviços

LCC: Line-commutated Converter

LSR: Liquid Silicone Rubber

MIND: Mass-impreganted Non-draining

MND: Método Não Destrutivo

NATM: New Austrian Tunnel Method

NCM: Nomenclatura Comum Mercosul

RAP: Receita Anual Permitida

RB: Rede Básica

PPLP: Polypropylene Laminated Paper

PIS: Programa de Integração Social

REIDI: Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura

SICRO: Sistema de Custos de Obras Rodoviárias

SIN: Sistema Interligado Nacional

SINAPI: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices

SVL: Sheath Voltage Limiter

TBM: Tunnel Boring Method

TCU: Tribunal de Contas da União

VSC: Voltage-sourced Converter

1. Introdução e Objetivos

1.1 Considerações preliminares

Nos estudos para o planejamento da expansão do SIN, a EPE propõe algumas alternativas de solução e avalia a mais atrativa dentre elas, de acordo com os critérios considerados, consolidando os resultados no relatório R1 dos estudos de expansão.

Não obstante, tais alternativas precisam ser comparadas, técnica, econômica e socioambientalmente para a definição daquela com menor custo total, compreendendo os custos de investimentos e das perdas de energia.

A melhor alternativa assim escolhida constitui-se como a solução de referência de planejamento para os leilões de transmissão ou para as autorizações de reforços, muito embora o empreendedor, que venha a vencer a disputa ou tenha os reforços aprovados, possa fazer alterações na solução, com resultados tecnicamente melhores ou equivalentes, respeitando as previsões de edital.

Particularmente, para linhas de transmissão com cabos isolados (subterrâneas ou subaquáticas), identificou-se a necessidade de aperfeiçoamento dos critérios de comparação dos investimentos adotados pela EPE, de modo a considerar as características específicas e os componentes relevantes envolvidos, com o intuito de obter uma estimativa de custos mais aderente à realidade.

Diante disso, a EPE contratou o presente serviço de consultoria especializado visando ao desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo para a estimativa de custos de implantação de linhas de transmissão subterrâneas e subaquáticas capaz de suprir as necessidades do planejamento.

1.2 Abrangência da consultoria

A consultoria abrange a Rede Básica do SIN, isto é, linhas de transmissão subterrâneas ou subaquáticas com tensões alternadas de 230(242) kV, 345(362) kV e 500(525) kV.

Embora o edital da licitação desse trabalho indique a tensão de 440 kV, utilizada em algumas linhas de transmissão aéreas em São Paulo, a classe de tensão aplicável nesses casos é de 500 kV, conforme a IEC 62067 [1].

As tensões precedentes referem-se somente a linhas para tensão alternada (CA). Para linhas de transmissão em corrente contínua as tensões variam conforme a potência e extensão, tendo valores normalmente em degraus de 50 kV (250 kV, 300 kV etc., até, em geral, 600 kV).

Na reunião inicial deste projeto as linhas HVDC foram mencionadas como sendo de interesse, ainda que não como um aspecto prioritário da consultoria, apesar de que não tenhamos, até o momento, aplicações no SIN com cabos isolados. Dessa forma, principalmente na pesquisa bibliográfica de custos de outros países, são coletadas

algumas informações referentes às aplicações em corrente contínua.

1.3 Custos e preços

As definições de custos e preços são conhecidas, mas muitas vezes são utilizadas indistintamente e de forma imprecisa, o que pode se tornar confuso ao longo da consultoria.

Para fins elucidativos, no âmbito desse trabalho adotam-se as definições:

- a) Custos são os montantes financeiros dispendidos para a realização de uma obra ou serviço ou a produção de algum componente
- b) Preços são os montantes financeiros pagos para remunerar um fornecedor pelos seus custos, impostos, riscos e lucro.

Assim, os valores de materiais, obras civis e serviços utilizados para compor o custo final da linha de transmissão devem ser preços. Em particular, deve ser observado que, ao contrário de materiais, para os quais já são obtidos preços nas cotações, os valores públicos disponíveis dos serviços e obras civis são custos e precisam ser transformados em preços antes de sua utilização (ver item 5.2.4).

Entende-se que, ao final, a EPE poderá obter o custo global da implantação de uma linha de transmissão subterrânea e subaquática, a qual será inferior ao preço esperado por um investidor para obter a sua remuneração, cuja estimativa está além do escopo desse trabalho.

1.4 Aspectos específicos de linhas subaquáticas e HVDC

1.4.1 Linhas subaquáticas

Além da operação em corrente alternada ou contínua, a ser discutida no subitem seguinte, as linhas de transmissão subaquáticas podem apresentar grande variabilidade, dependendo de diversas condições que definem o tipo de cabo e forma de instalação.

Tais variações se refletem nos esforços mecânicos e características das embarcações e equipamentos necessários e, conseqüentemente, nos custos envolvidos.

Por outro lado, a experiência brasileira é bastante limitada em linhas de alta tensão subaquáticas, especialmente quando se trata da Rede Básica. Até o momento, há uma linha de transmissão existente e outra em construção, ambas situadas na Grande Florianópolis - Santa Catarina, para operação em tensão alternada de 230 kV, com cabos unipolares e instalação submarina em águas bastante rasas.

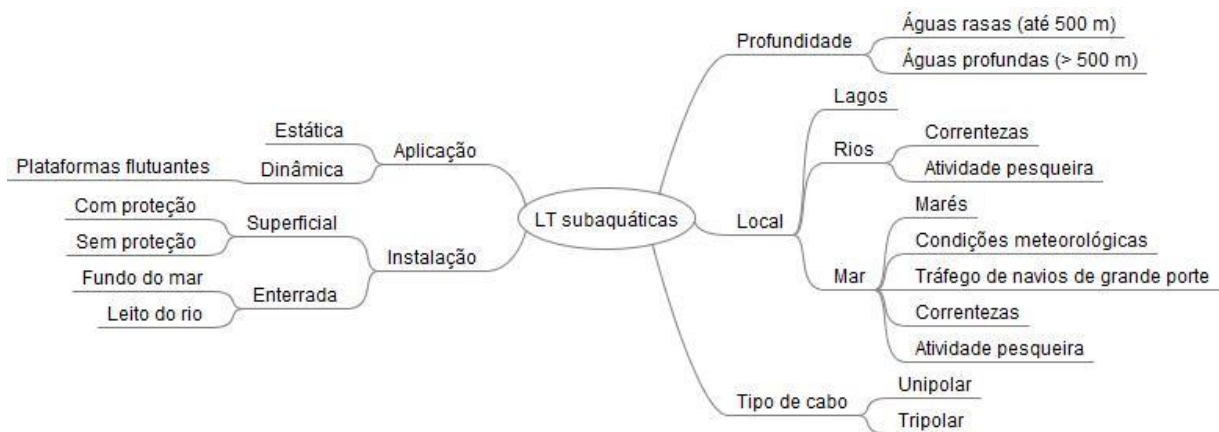


Figura 1 – Diagrama representativo da variabilidade das linhas de transmissão subaquáticas.

Adicionalmente, cabe observar que uma linha de transmissão subaquática tem pelo menos um trecho subterrâneo, para a conexão com a subestação ou linha de transmissão aérea. Tal trecho pode ser realizado com o mesmo cabo subaquático ou com um cabo subterrâneo compatível, dependendo do comprimento do trecho, capacidade de condução de corrente etc.

Assim, diante do histórico reduzido e das variações de aplicações, o custeio de linhas subaquáticas representa um desafio mais complexo que aquele do caso subterrâneo.

1.4.2 Linhas de transmissão HVDC

Devido aos custos de conversão, sistemas HVDC normalmente são econômicos somente em longas distâncias, a partir das quais os ganhos, com o menor número de cabos por unidade de comprimento e as menores perdas de energia, tornam-se suficientemente elevados.

O ponto de equilíbrio (*breakeven*) do comprimento é função de diversos fatores, como a potência da linha de transmissão, tensão de operação, tipo de tecnologia, tais como LCC, (também chamado de CSC), VSC etc. Atualmente, para as linhas HVDC com cabos isolados, admite-se uma extensão da ordem de pelo menos 50 km, mas usualmente acima desse valor como mínimo para a viabilidade.

Outras aplicações mais conhecidas de HVDC são por questões de estabilidade e integração de sistemas isolados, geralmente distantes de pontos de conexão fortes eletricamente, como, por exemplo, usinas eólicas *offshore*. Essa é justamente uma das motivações para aplicação futura no Brasil, tendo sido inclusive objeto de *roadmap* elaborado pela EPE [2].

Embora haja similaridade técnica entre os cabos, acessórios e instalação, é importante realçar as diferenças que afetam os custos e avaliar o seu impacto para os

fins dessa consultoria, conforme mostrado sucintamente na Tabela 1.

Para eólicas *offshore*, o tipo de conversor atualmente mais indicado é o VSC, o qual não requer inversão de polaridade de tensão, tornando-o menos crítico que a solução em LCC para cabos com isolamento sólida extrudada.

Uma consideração final importante é que sistemas submarinos HVDC são considerados como o nível mais alto da tecnologia da indústria de cabos, sendo ainda objeto de desenvolvimentos, além de serem empreendimentos de maior risco e estarem associados a fabricantes de maior porte, o que tem consequências no número de fornecedores e consequentemente nos preços.

Em função dos dados obtidos e das diferenças apontadas, a forma de tratamento desse tipo de linha de transmissão deverá ser definida na etapa II da consultoria, que visa a definir a metodologia.

Tabela 1 – Características das linhas de transmissão CA e CC.

	CA	CC
Tipo de cabo	XLPE <i>extra clean</i>; Requerem armação não ferromagnética, normalmente de cobre, em cabos unipolares; Podem usar armação de aço em cabos tripolares, os quais são maiores, mais pesados e, em geral, limitados a 230 kV.	PPLP enfaixado e impregnado com massa não escoante (MIND) em particular para LCC; XLPE <i>extra clean</i> e de altíssima resistividade volumétrica pela eliminação total dos subprodutos de reticulação; HPTE (vide nota); Podem usar armação de aço em cabos unipolares.
Acessórios	Maior variedade para tratar dos aterramentos especiais.	Similares àqueles HVAC, mas sujeitos a inversão de gradientes com a temperatura, o que os torna mais críticos.
Número de cabos por circuito	3	2 ou 1 (no caso de monopolo com retorno coaxial ou pelo solo).
Tipo de aterramento	Nas linhas terrestres utilizam aterramentos especiais para redução da corrente induzida (<i>cross-bonding</i>, <i>single-point bonding</i>). Aterramento nas extremidades em linhas subaquáticas.	Aterramento nas extremidades, mas sem efeito sobre as correntes circulantes.

Nota: a tecnologia com isolamento de HPTE é patenteada e utilizada por um único fabricante (Prysmian).

1.5 Objetivos

Este relatório tem como objetivos:

- Apresentar, definir e descrever os itens necessários para o custeio de linhas de transmissão subterrâneas e subaquáticas;
- Coletar informações de preços e custos por meio de pesquisas em fontes publicadas e consultas diretas a fornecedores e agentes do setor elétrico;
- Analisar os resultados obtidos, indicando os pontos críticos para a elaboração da metodologia e ferramenta de custeio.

2. Etapas e Cronograma

A Figura 2 mostra o cronograma do projeto definido pela EPE [3], bem como o acompanhamento das atividades realizado até o momento.

Etapa		Data final de cada semana a partir da reunião de <i>kick-off</i>																		
		12/1	19/1	26/1	2/2	9/2	16/2	23/2	2/3	9/3	16/3	23/3	30/3	6/4	13/4	20/4	27/4	4/5	11/5	18/5
I	Pesquisa para levantamento de dados e melhores práticas internacionais																			
II	Desenvolvimento da metodologia de orçamento, modulação e precificação																			
	Apresentação parcial e críticas da EPE																			
III	Desenvolvimento de metodologia para atualização dos preços unitários – predição econômica																			
	Apresentação parcial e críticas da EPE																			
IV	Desenvolvimento da ferramenta computacional																			
	Apresentação parcial e críticas da EPE																			
V	Apresentação final																			

Figura 2 – Cronograma previsto inicialmente e acompanhamento (datas em semanas considerando início em 05/01/21).

Legenda:

- : Duração prevista no cronograma da EPE.
- : Realizado (a extensão da Etapa I foi objeto de acordo, conforme e-mail de 02/02/2021). A continuidade da etapa se deve à solicitação de revisões.
- : Extensão máxima para revisões da etapa I sem afetar a conclusão do projeto, embora a data para entrega tenha sido definida como 22/02/21.

Conforme especificado pela EPE, a etapa I, da qual trata especificamente este relatório, contempla:

“Visando o desenvolvimento da metodologia de orçamento, modulação e precificação, além da metodologia de atualização de preços (predição econômica), é necessário realizar previamente uma investigação apurada, tanto no mercado nacional quanto no internacional, e na literatura sobre as principais características das LTS e dos módulos de custo de cada elemento. Além disso, é importante realizar consultas dos custos associados aos módulos junto ao mercado (fabricantes, fornecedores de equipamentos e empresas de consultorias) para composição orçamentária das LTS, assim como obter um histórico da variação destes custos.”

Diante da importância da Etapa I para a obtenção de informações fidedignas e do seu curto prazo para a obtenção de respostas e tratamento dos dados levantados (que dependem em grande parte de consultas a terceiros) foi solicitada a entrega desse relatório em 22/02/21 (data aceita pela EPE) sem que limitem revisões posteriores conforme cronograma precedente.

No entanto, é possível dar andamento às definições da etapa II simultaneamente, sem impacto no prazo final da consultoria, como indicado na Figura 2. Mesmo assim, esse aspecto será um ponto de atenção no acompanhamento dos trabalhos e que deverá ser revisto ou confirmado posteriormente.

3. Principais itens para custeio e precificação

3.1 Cabos e acessórios

Para maior clareza, bem como fins ilustrativos, os componentes principais (cabos e acessórios) para a execução de uma linha de transmissão subterrânea ou subaquática, estão sucintamente descritos na Tabela 3, ao passo que a aplicabilidade dos componentes está mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Aplicabilidade dos componentes por tipo de linha de transmissão.

	LT subterrâneas	LT subaquáticas
Cabo subterrâneo	✓	-----
Cabo subaquático	-----	✓
Terminal para uso externo	✓	✓
Terminal para blindada SF ₆	✓	(1)
Emenda seccionada ou reta	✓	-----
Emenda de reparo	-----	✓
Caixas (<i>link boxes</i>) para aterramento	✓	✓
Caixas (<i>link boxes</i>) de desconexão com limitador de sobretensão (SVL) (2)	✓	-----
Caixas (<i>link boxes</i>) com limitador de sobretensão (SVL) (2)	✓	✓
Cabos concêntricos	✓	-----
Cabo ótico para proteção diferencial	✓	✓
DTS (3)	✓	✓

Notas:

1. Não é usual, embora seja possível;
2. Para *cross-bonding* as *link boxes* são tripolares e têm conexões para desfazer a transposição, enquanto para *single-point bonding* as *link boxes* são, em geral, unipolares e não enterradas, pois usualmente são colocadas em terminais, que ficam distantes um dos outros;
3. O DTS, com *software* associado, é um equipamento que permite o monitoramento distribuído de temperaturas dos sensores óticos dentro dos cabos e a predição de carregamento máximo permissível para a operação, cuja utilização é obrigatória nas novas linhas de transmissão subterrâneas da RB.

A aplicação dos componentes descritos em configurações típicas de linhas de transmissão subterrâneas está apresentada na Figura 3 e Figura 4, ao passo que a Figura 5 e Figura 6 mostram diagramas típicos de linhas de transmissão subaquáticas.

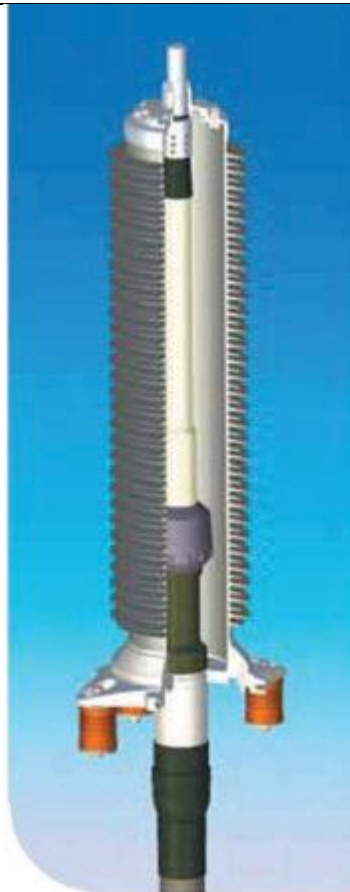
**Tabela 3 – Descrição das características dos componentes principais de linhas de transmissão com cabos isolados
(fontes das figuras: catálogos de fabricantes).**

Cabos subterrâneos: • Condutor de cobre ou alumínio, compacto ou segmentado, bloqueado contra a penetração longitudinal de umidade; • Isolação (XLPE) e blindagens semicondutoras <i>fully bonded</i> produzidas por extrusão tríplice e reticuladas; • Blindagem de cobre ou alumínio, composta por fios e fita longitudinal e/ou capa metálica extrudada ou soldada, radialmente impermeável, com bloqueio longitudinal contra a umidade e com seção compatível com a corrente fase-terra; • Cobertura de polietileno de alta densidade com suportabilidade aos esforços de abrasão do lançamento, sobretensões transitórias, com camada semicondutora para ensaio e eventuais aditivos anti térmitas	
---	---

Cabos subaquáticos unipolares: • Condutor de cobre ou alumínio, compacto ou segmentado, bloqueado contra a penetração longitudinal de água (maior pressão que cabos subterrâneos e eventualmente água salgada); • Isolação (XLPE) e blindagens semicondutoras <i>fully bonded</i> produzidas por extrusão tríplice e reticuladas; • Capa metálica de liga de chumbo extrudada impermeável, com bloqueio longitudinal contra água e com seção compatível com a corrente fase-terra; • Acolchoamento semicondutor de polietileno e rafia de polipropileno com composto betuminoso; • Armação de fios de cobre ou bronze; • Cobertura de rafia de polipropileno com composto betuminoso ou polietileno de alta densidade.		Cabos subaquáticos tripolares: • Condutor de cobre ou alumínio, compacto ou segmentado, bloqueado contra a penetração longitudinal de água (maior pressão que cabos subterrâneos e eventualmente água salgada); • Isolação (XLPE) e blindagens semicondutoras <i>fully bonded</i> produzidas por extrusão tríplice e reticuladas; • Capa metálica de liga de chumbo extrudada impermeável, com bloqueio longitudinal contra água e com seção compatível com a corrente fase-terra; • Reunião dos núcleos com enchimentos; • Acolchoamento semicondutor de polietileno e rafia de polipropileno; • Armação de fios de cobre, bronze ou aço; • Cobertura de rafia de polipropileno com composto betuminoso ou polietileno de alta densidade.	
--	--	--	---

Terminal para uso externo:

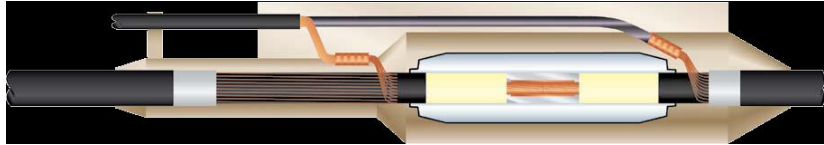
- Cone defletor de campo elétrico de EPDM ou LSR;
- Preenchido com óleo de silicone ou poliisobutileno;
- Isolador de porcelana ou polimérico;
- Terminal para contato elétrico;
- Base isolada para ensaios.



Terminal para blindadas SF₆:

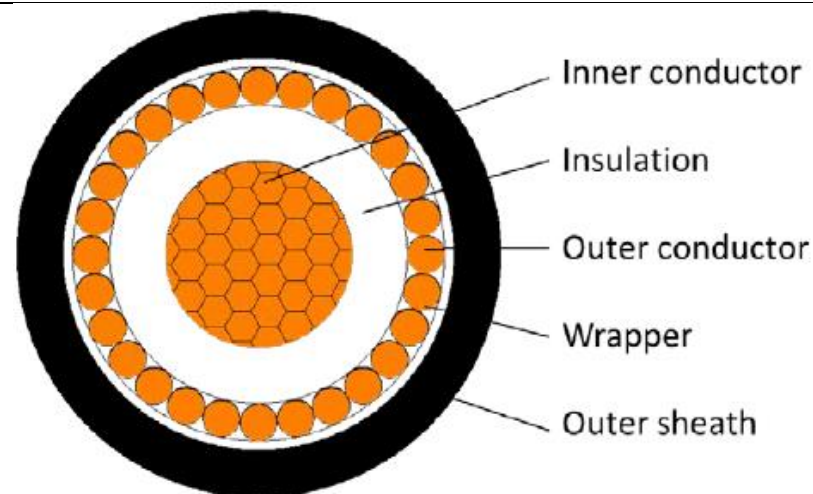
- Cone defletor de campo elétrico EPDM ou LSR;
- Isolador de epóxi;
- Sistema de conexão;
- Dimensões e pressões de operação compatíveis com a marca da blindada SF₆ utilizada na subestação.



Emendas seccionadas: • Sistema de conexão com solda ou elemento conector prensado ou parafusado; • Corpo pré-moldado compatível com a tensão e dimensões da isolação do cabo; • Carcaça metálica impermeável; • Terminais para cabos concêntricos; • Carcaça de proteção externa preenchida com resina.	
Caixa de desconexão com limitadores de tensão de capas/blindagens metálicas: • Sistema de conexão e estanqueidade dos cabos concêntricos e de aterramento; • Contatos compatíveis com níveis de curto-circuito removíveis para ensaios • Eliminação da transposição das blindagens/capas metálicas; • Dispositivos de proteção contra sobretensões transitórias (SVL), normalmente conectados em estrela; • Fechamento estanque. Nota: para sistemas <i>single-point</i> utiliza-se uma caixa monofásica, normalmente colocada nos terminais.	
Caixa de conexão de aterramento (trifásica): • Sistema de conexão e estanqueidade dos cabos concêntricos e de aterramento; • Contatos compatíveis com níveis de curto-circuito removíveis para ensaios; • Fechamento estanque.	

Cabos concêntricos:

- Condutor de cobre compacto bloqueado contra a penetração longitudinal de umidade;
- Isolação (XLPE ou HEPR) e blindagens semicondutoras *fully bonded* produzidas por extrusão tríplice e reticuladas com espessura para redução da impedância característica;
- Condutor concêntrico de cobre (com a mesma seção do condutor) com bloqueio longitudinal contra a umidade;
- Cobertura de polietileno de alta densidade com suportabilidade a sobretensões transitórias, com camada semicondutora para ensaio e eventuais aditivos anti térmitas.



DTS:

- Amplificador e conversor óptico apropriado para as reflexões Raman das fibras do cabo potência;
- Interfaces e protocolos de comunicação para integração com SCADA;
- Instalação em rack de 19 pol.;
- Módulo adicional com microcomputador e *software* de cálculo e predição de temperaturas.



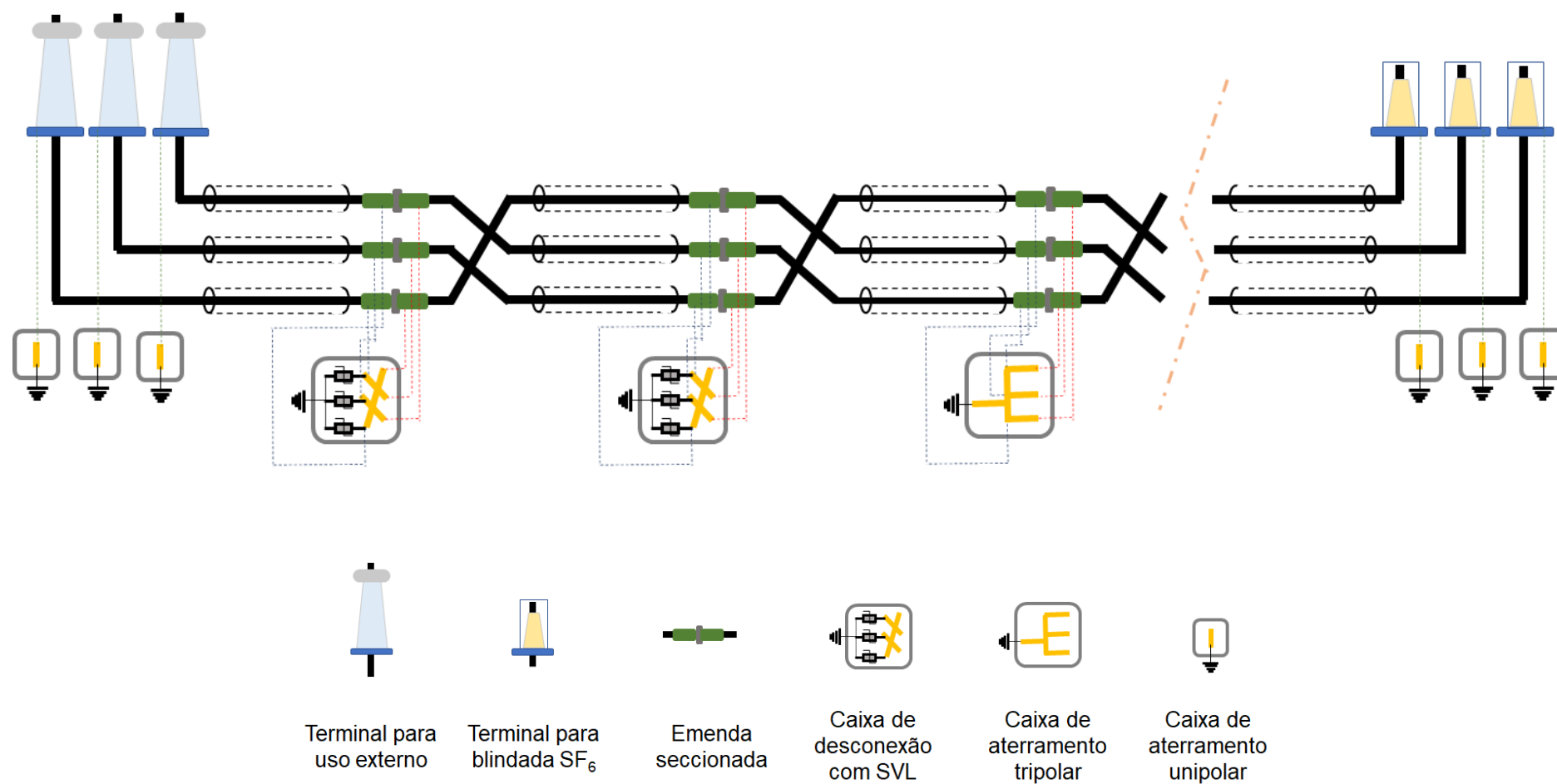


Figura 3 – Diagrama de uma linha de transmissão subterrânea com ligação *cross-bonded*.

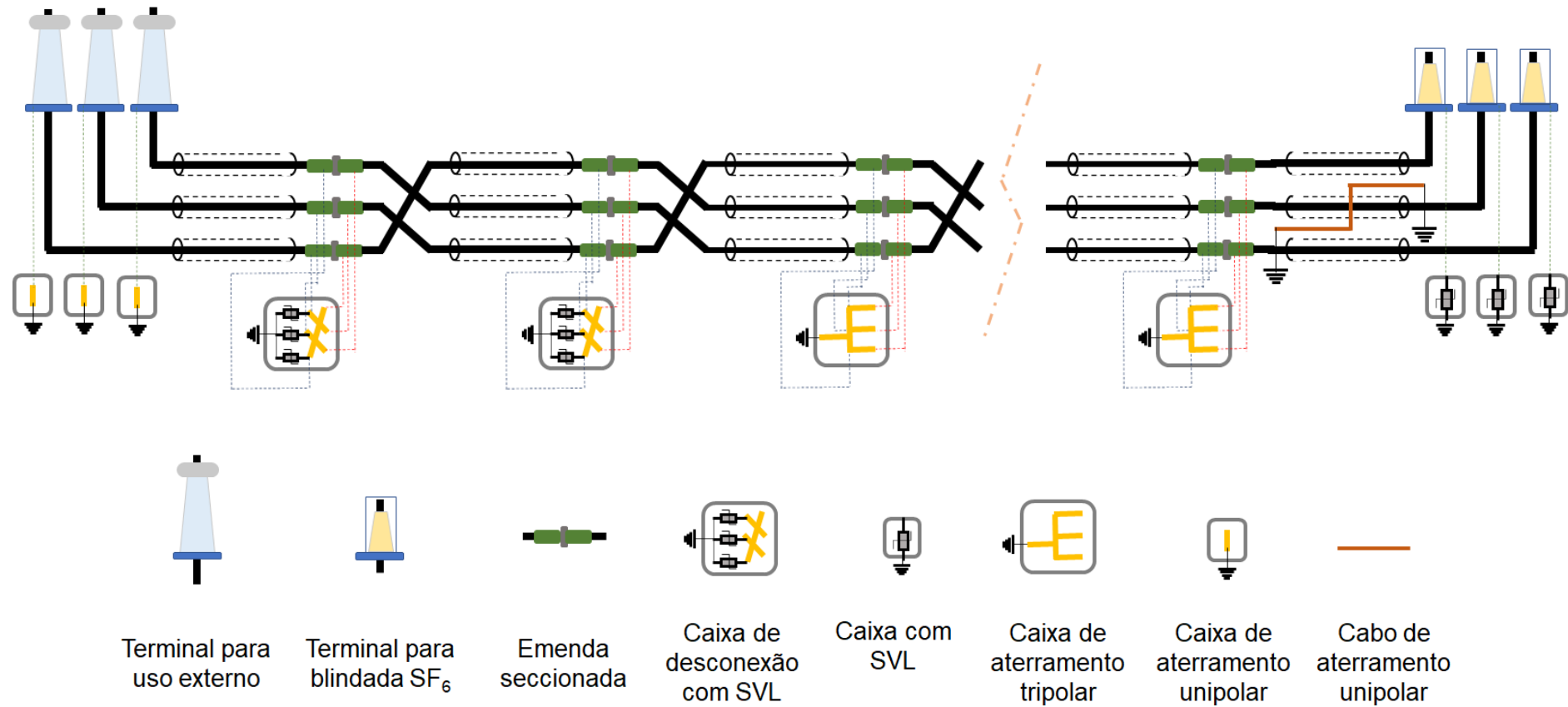


Figura 4 – Diagrama de uma linha de transmissão subterrânea com ligação *cross-bonded* e trecho final (à direita) *single-point bonding*.

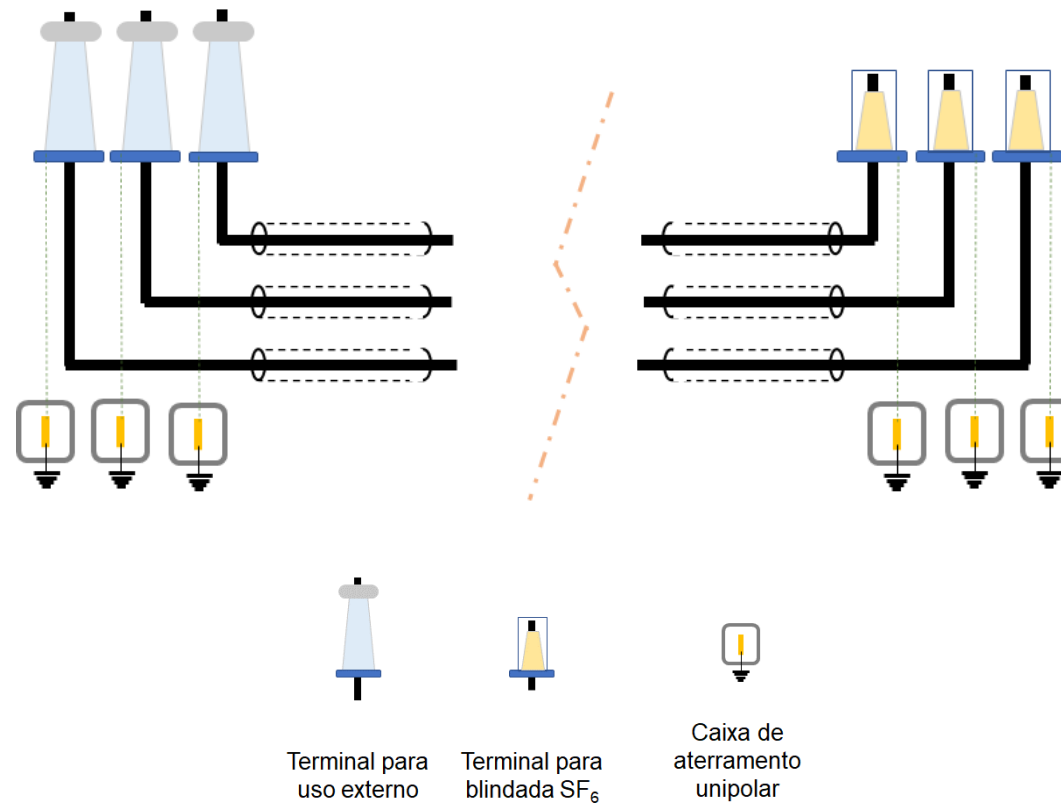


Figura 5 – Diagrama de uma linha de transmissão subaquática com aterramento em ambas as extremidades sem transposição.

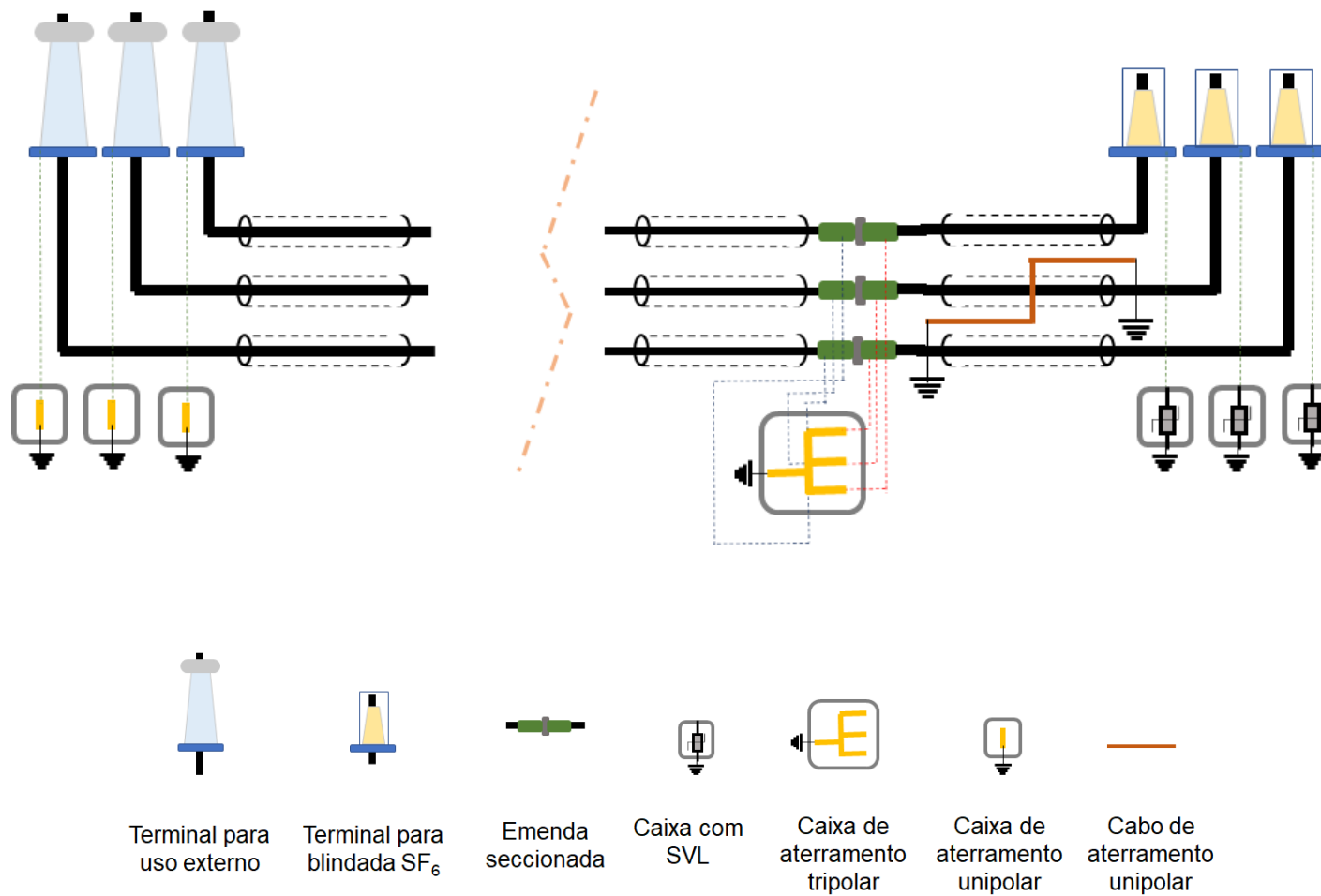


Figura 6 – Diagrama de uma linha de transmissão subaquática com aterramento em ambas as extremidades sem transposição no trecho subaquático e *single point bonding* no trecho terrestre.

3.1.1 Aspectos tributários

Como praticamente todos os cabos e acessórios são importados, incide uma taxa não desprezível sobre os valores cotados pelos fornecedores.

A fonte de dados para a definição dos impostos de competência da União é o próprio site da Receita Federal (<http://www4.receita.fazenda.gov.br/simulador/>). Para tanto, é necessário levantar os códigos NCM dos materiais.

Atualmente existem regimes especiais de tributação, como o REIDI, mas é possível que isso venha a ser alterado no futuro, seja por revogação do benefício, seja por aprovação de uma reforma tributária.

Além disso, existe a questão do ICMS, que é estadual e inclui DIFAL no caso de importação pelo porto de um estado e utilização em outro.

Os aspectos tributários precisarão ser tratados convenientemente na etapa II, de forma a permitir atualizações conforme os regimes fiscais vigentes.

3.2 Elementos para precificação de obras civis

3.2.1 Linhas de transmissão subterrâneas

Os custos de obras civis similares àquelas das linhas de transmissão subterrâneas com maior número de informações públicas e, portanto, mais facilmente rastreáveis e atualizáveis, são aqueles de obras de saneamento e distribuição de gás natural, uma vez que, ao contrário das obras de energia elétrica, elas não têm a alternativa aérea, necessitando de referências de custo para licitações e contratação.

Nos comentários dos subitens a seguir foram consideradas três formas de instalação:

- a) Em valas
- b) MND
- c) Em túneis.

Adicionalmente podem ser consideradas obras associadas com:

- a) Caixas de emendas
- b) Bases para terminais para uso externo.

Admite-se, portanto, que o preço das obras civis de uma linha de transmissão subterrânea típica é fundamentalmente composto por trechos em valas, MND e/ou túneis, além de caixas de emendas e bases para terminais para uso externo.

3.2.1.1 Valas

A utilização de valas a céu aberto ainda é o método de instalação mais usual, seja pela economia, seja pela flexibilidade para atender aos diferentes requisitos de capacidade de condução de corrente, sobretensões induzidas e densidade de campo magnético produzida pelos cabos.

As dimensões das valas são variáveis com a quantidade de circuitos, disposição dos cabos ou dutos (em plano, triângulo, vertical etc.), requisitos de dissipação térmica e interferências nos locais de implantação. Tipicamente larguras da ordem de 2 m e profundidades de 1,5 m são utilizadas.

Na Europa utiliza-se quase sempre a instalação diretamente enterrada, a mais econômica, que também foi adotada no Brasil durante muitos anos em linhas de até 138 kV (exceto na cidade do Rio de Janeiro, que já utilizava banco de dutos concretados) e em linhas 230 kV e 345 kV mais antigas.

No entanto, há mais de uma década as obras com linhas subterrâneas (distribuição e transmissão) têm sido realizadas com dutos (Figura 7), pois permitem menor distúrbio e tempo de interrupção de tráfego – inerentes à intensa urbanização presentes nas regiões nas quais as linhas subterrâneas atravessam. Para isso, são realizados pequenos trechos completos (com abertura e fechamento da vala) e, em uma etapa posterior, se realiza o puxamento dos cabos em lances de centenas de metros. Sendo assim, essa técnica será adotada nesse trabalho como sendo a preferencial, embora resulte em um maior custo em relação ao método diretamente enterrado.



Figura 7 – Valas com dutos durante a construção (fonte: <http://www.kanaflex.com.br/produtos/pt/KANALEX>).

Nesse caso, de um modo geral, as atividades civis associadas são:

- a) Ruptura e remoção da pavimentação;
- b) Escavação para abertura de vala, que pode ser manual, mecanizada ou, ainda, parcialmente mecanizada e parte manual, com ou sem escoramento, dependendo da profundidade;
- c) Remoção do material;
- d) Regularização do fundo da vala com apiloamento;
- e) Instalação de dutos e *backfill* termicamente estável;
- f) Proteção com lajotas ou camada contínua de concreto;
- g) Reaterro e compactação do volume restante da vala;
- h) Reconstituição do pavimento ou cobertura vegetal.

Dessas atividades, somente aquela do item (e) é específica das obras com cabos de potência para alta tensão, seja porque os dutos diferem daqueles utilizados para saneamento ou gás natural, seja pelo emprego de material especial de *backfill*, utilizado para garantir uma resistividade térmica controlada, mesmo se vier a ocorrer o secamento parcial do solo circundante devido à dissipação de calor pelos cabos.

3.2.1.2 MND

Nas linhas de transmissão subterrâneas, a instalação com MND é utilizada para reduzir o período de interrupção do tráfego local, ultrapassar interferências ou evitar longos desvios na rota. Situações típicas são: travessias de rodovias, avenidas ou ruas largas e cursos d'água.

A descrição genérica MND compreende uma série de métodos e técnicas, algumas das quais não se aplicam a linhas de transmissão subterrâneas. Em geral, o método mais utilizado para a instalação de cabos de potência é a perfuração horizontal direcional (do inglês, HDD).

Esse tipo de método também é utilizado por empresas de saneamento e de gás natural, o que permite pesquisar essas instalações como referência.

Há, contudo, diferenças a serem consideradas como:

- a) As dimensões necessárias dos furos, que podem requerer equipamento de maior porte (exemplo na Figura 8);
- b) Número de furos em função da capacidade de condução de corrente (supondo dois circuitos as possibilidades são: dois furos com três cabos, quando as condições de carga assim permitem, ou seis furos individuais, nos casos de alto carregamento).



Figura 8 – Equipamento de médio porte para instalação MND do tipo HDD (fonte: CIGRÉ).

Dependendo das características do terreno, é possível realizar instalações de até 500 m, com diâmetros suficientes para acomodar três dutos de até 250 mm (logo, um circuito). As profundidades variam de 3 m a 8 m, em função das curvaturas requeridas, interferências e imprecisões do método.

Apesar da boa produtividade associada às obras, e não incorrer nos custos de abertura de valas e de reconstituição do pavimento, o preço do equipamento é elevado, o que tende a tornar essa forma de instalação mais cara que a abertura de valas em muitos casos.

Outras desvantagens desse método são a menor flexibilidade e precisão da disposição dos cabos em relação a uma vala e não permitir utilizar *backfill* para melhoria de dissipação de calor dos cabos.

3.2.1.3 Túneis

Alguns túneis, com diâmetros de até cerca de 1,2 m, também são classificados como uma técnica particular de MND (microtúneis).

Porém, nesse item serão tratados túneis com dimensões maiores, tanto em termos da área de seção transversal, como em termos de comprimento.

Tipicamente, túneis para cabos de transmissão de energia elétrica têm um diâmetro equivalente (a seção não é perfeitamente circular, em geral) da ordem de 2 a 3 m - de modo a permitir a entrada de pessoal para instalação e manutenção e comprimentos entre centenas de metros a alguns quilômetros. A profundidade também é muito variável, mas valores acima de 5 m até 15 m são comuns.

Esse tipo de instalação se justifica em locais com muitas interferências em sequência, trechos muito longos que tornariam inviável o método HDD ou então vias públicas nas quais qualquer interrupção de tráfego, mesmo que parcial, causaria grande transtorno.

A técnica usual para esse tipo de construção, por questões econômicas, é conhecida pela sigla NATM, a qual, difere das perfurações mecanizadas (TBM) como utilizadas para construção de túneis de metrô, por exemplo, que somente se viabiliza em grandes extensões pelo elevado custo do equipamento de perfuração.

O método NATM é essencialmente manual, com uso de explosivos ou argamassa expansiva, e utiliza as próprias características do solo para a acomodação e o alívio de tensões.

Outra técnica, limitada a alguns tipos de terreno mais moles, é o túnel *liner*. Nesse caso, diferentemente do método NATM, que usa hastes de reforço e concreto projetado como revestimento, empregam-se perfis de aço espessos e corrugados, parafusados e grampeados. Apesar da técnica *liner* não ser usual em linhas de transmissão subterrâneas, pelo risco de acarretar perdas por indução elevadas nas placas de aço, ela foi aqui mencionada por ser um item que normalmente consta dos bancos de preços públicos.

Comparativamente às valas e MND, é claramente muito mais difícil estimar o custo de túneis, pois são obras feitas sob medida, considerando-se características do terreno, pontos de acesso, infiltrações de água etc.

Adicionalmente à construção dos túneis em si, outros custos precisam ser considerados para a instalação dos cabos.

Dentro dos túneis normalmente os cabos são instalados em suportes metálicos, interligados por condutores de aterramento e fixados por braçadeiras, com resistência mecânica compatível com esforços de repulsão da máxima corrente de curto-circuito e que não causem danos devido a dilatação radial.

Além disso, um túnel deveria ter sistemas de ventilação forçada de ar, iluminação, alarmes de incêndio, inundação etc. para garantir as condições de dissipação de calor e salubridade para a operação e manutenção.

Tais itens se constituem em custos adicionais a serem avaliados e estimados.

3.2.1.4 Caixas de emendas

As caixas de emendas são necessárias, inicialmente, para criar um ambiente limpo e com condições de trabalho favoráveis para as montagens. Concluída a instalação, a sua função é prover acesso, fixação e proteção para as emendas.

Há uma variedade de métodos construtivos adotados, como alvenaria ou elementos pré-moldados ou apenas um substrato para fixação (Figura 9). Ao final da construção, as caixas de emendas podem ser câmaras ocas enterradas com espaço para entrada de pessoal ou completamente enterradas, condição na qual elimina-se o acesso.

Como as emendas têm ligação à terra, antes da sua construção é necessário fazer uma malha com cabos nus e hastes e prover pontos de ligação para aterramento.

As dimensões típicas de caixas estão entre 1,6 m x 7,5 m (largura x comprimento), para um circuito, e 3,0 m x 18 m (largura x comprimento) para dois circuitos. A profundidade deve ser compatível com aquela do(s) circuito(s) e dimensões das emendas.

Ao lado das caixas de emendas existem caixas menores e mais rasas, para colocar as *link boxes*, ligadas às emendas por meio dos cabos concêntricos. Tipicamente têm 1,0 m x 1,2 m x 1,0 m (largura x comprimento x profundidade)



Figura 9 – Diferentes tipos de caixas de emendas durante a construção.

3.2.1.5 Bases para terminais para uso externo

Devido ao seu peso elevado, bem como esforços mecânicos (vento, curtos-circuitos etc.) os terminais para uso externo requerem uma base com fundações dimensionadas para tanto.

Comparativamente às caixas de emendas, esse é um item de menor importância no custo total da linha de transmissão, pelo valor unitário e pela quantidade, limitada às extremidades.

3.2.1.6 Outros custos civis

Além dos custos diretos para a execução de atividades específicas de obras civis, devem ser considerados os custos de:

- a) Administração local da obra
- b) Mobilização
- c) Desmobilização.

3.2.2 Linhas de transmissão subaquáticas

No trecho submerso, as obras de linhas de transmissão subaquáticas estão

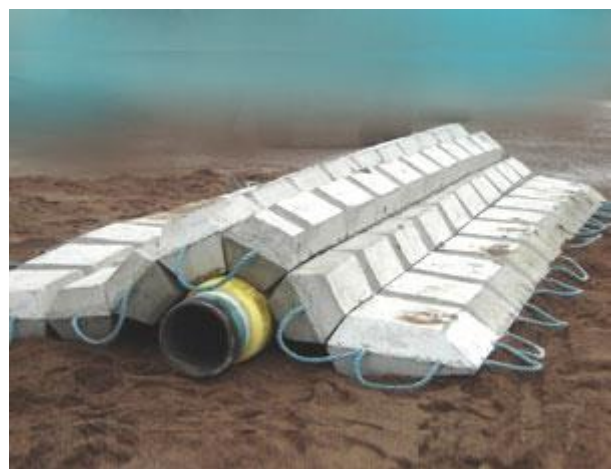
incorporadas no custo de instalação dos cabos.

Nesse caso, existem serviços associados (item 3.3) ou atividades como as seguintes:

- a) Custo da embarcação utilizada para a instalação;
- b) Escavação mecanizada do fundo do mar ou leito de rios e lagos;
- c) Posicionamento e inspeções com mergulhadores (desde que a profundidade o permita) ou veículos operados remotamente;
- d) Proteção com tubos bipartidos ou colchão de cimento (*mattress*) conforme Figura 10.



(a)



(b)

Figura 10 – Proteção de cabos submarinos com tubos bipartidos (a) e *mattress* (b).

Como já observado de um modo geral em relação a linhas subaquáticas, tais atividades são amplamente variáveis com as particularidades de cada local e projeto, o que impõe dificuldades de pesquisa. Mesmo assim, alguns resultados associados a esse tipo de linha de transmissão estão incluídos nesse trabalho a partir de referências como artigos e relatórios técnicos.

No trecho de abordagem ao continente ou à margem de rios ou lagos (*landfall*), as atividades são custeadas como aquelas já descritas para obras civis subterrâneas. Tais trechos podem ser feitos em valas ou com MND.



Figura 11 – Trecho de chegada no continente de um cabo submarino.

3.2.3 Encargos sociais

No preço das obras civis há uma grande incidência do custo da mão de obra, que depende diretamente do valor dos encargos sociais sobre a folha de pagamento.

A política de incentivo à contratação vigente contempla a possibilidade de substituir a contribuição patronal ao INSS (20 % dos salários) por uma alíquota sobre a receita bruta (CPRB).

Isso nem sempre é vantajoso, dependendo do porte da empresa. Além disso, a continuidade dessa política é incerta.

Por isso, os custos públicos disponibilizados são apresentados com as opções “com desoneração” e “sem desoneração”.

3.3 Serviços associados

Além do custo dos cabos, acessórios e das obras civis, existem diversos serviços necessários para a construção de uma linha de transmissão subterrânea ou subaquática.

Uma lista preliminar, para fins de pesquisa de custos, inclui:

- a) Projeto e estudos:
 - i. Sondagens geotécnicas, topografia, levantamento de interferências e medições de características térmicas e elétricas do solo;
 - ii. Batimetria, levantamento de correntes, análise de sedimentos etc. (linhas

- subaquáticas apenas);
- iii. Estudos do projeto básico;
- iv. Projeto executivo;
- v. Projeto *as built*.
- b) Compras e logística:
 - i. Aquisição de materiais e contratação de serviços;
 - ii. Importação, transporte e armazenagem.
- c) Licenças e autorizações:
 - i. Licenciamento ambiental;
 - ii. Licenciamento IPHAN;
 - iii. Licenças municipais;
 - iv. Servidões administrativas;
 - v. CCI.
- d) Serviços diretamente ligados com a construção da linha de transmissão:
 - i. Puxamento dos cabos nos dutos (linhas subterrâneas);
 - ii. Instalação no fundo mar ou leito de rios ou lagos (linhas subaquáticas);
 - iii. Supervisão e execução de montagens de acessórios e aterramentos;
 - iv. Ensaio após a instalação.
- e) Seguros:
 - i. Seguro de fiel cumprimento (exigido pela ANEEL);
 - ii. Cartas fiança de bancos de primeira linha;
 - iii. Seguro *all-risk*.

O valor dos serviços é estabelecido por negociações privadas, envolvem recursos próprios de empresas transmissoras ou consultorias e podem apresentar variações com a complexidade da linha de transmissão, fatores que tornam a tarefa de pesquisá-los mais difícil. Não obstante, é possível obter alguns valores, conforme demonstrado a seguir.

No que tange ao projeto, é possível fazer uma estimativa como um percentual do valor

da obra associada o que, rigorosamente, não contempla os custos reais incorridos nas atividades.

A questão logística de transporte e armazenagem dos materiais pode ser muito relevante dependendo das distâncias envolvidas até um porto mais próximo, rodovias ou hidrovias disponíveis etc. Além disso, existe a armazenagem de peças sobressalentes.

Em particular, cabos subaquáticos podem ser fornecidos em carretéis ou cestos com peso da ordem de uma centena de toneladas, requerendo guindastes especiais, de baixa disponibilidade e aluguel caro. Esse fato reforça a dificuldade de se pesquisar dados de custo associados a esse item sem que se estabeleça parâmetros objetivos.

Para os ensaios após a instalação com tensão alternada e frequência variável (Figura 12), existe pelo menos um equipamento no Brasil, de propriedade de um fabricante de cabos, enquanto uma segunda unidade, de um outro fornecedor, não se tem confirmação de disponibilidade depois da descontinuidade de suas atividades.

Contudo, a potência reativa necessária frequentemente requer mais de um equipamento em paralelo, criando custos adicionais, incluindo importação temporária, e problemas de disponibilidade. Além disso, a alimentação é feita por gerador a diesel, independente da rede, que precisa ser alugado.



Figura 12 – Sistema móvel de ensaio após a instalação com alta tensão e frequência variável.

(Fonte: https://www.highvolt.de/en/desktopdefault.aspx/tabid-1292/1485_read-3785)

Adicionalmente ao ensaio de alta tensão na isolação dos cabos, existem outros que precisam ser realizadas durante e após a instalação, como verificações de integridade da cobertura (feito com tensão contínua) e atenuação do enlace ótico antes da conexão ao DTS.

Por fim, no que tange ao valor dos seguros, existem percentuais que podem ser adotados e fazem parte do BDI, como será descrito adiante e o seguro garantia exigido pela ANEEL é, rigorosamente, uma espessa financeira, pois é ressarcido.

3.4 Ensaios de pré-qualificação e de tipo

Embora ensaios possam ser caracterizados como serviços associados com a aquisição dos cabos e acessórios, devido a sua especificidade serão tratados em separado nesse item.

Pela sua natureza, de demonstrar o desempenho em longa duração (18 meses) dos cabos e acessórios, os ensaios de pré-qualificação conforme IEC 62067, não deveriam ter seu preço diretamente associado com um fornecimento específico. Isto é, embora tenham um valor relevante, os fabricantes ou diluem o seu custo em diversos fornecimentos ou o atribuem ao primeiro cliente que o requeira. Para os fins desse trabalho esse valor não será considerado.

O preço dos ensaios de tipo depende de negociação específica. Há casos em que se aceitam ensaios recentes que estejam dentro da faixa de aprovação definida pela IEC 62067 em seu item 12.2 ou outros nos quais seja exigida nova qualificação. O valor depende de a execução ser feita em laboratórios internos do fabricante ou independentes.

3.5 Servidões

O custo das servidões administrativas de linhas de transmissão aéreas é um assunto sujeito a algumas disputas. De um modo geral, a jurisprudência nos casos em que se institui o pagamento de servidão determina um valor equivalente àquele da perda pela impossibilidade da execução da atividade econômica na área afetada (por exemplo, redução da área de produção agrícola, pasto, exploração imobiliária etc.).

Considerando que as linhas de transmissão subterrâneas ocupam uma largura de faixa menor e o seu trajeto é feito em vias públicas (que após o período de construção mantêm a sua utilização normal), não se espera o pagamento de servidões na maior parte das rotas.

A ANEEL menciona apenas brevemente as linhas subterrâneas ao tratar das DUP [5]:

“Já a declaração de utilidade pública para instituição de servidão administrativa, em geral, tem o propósito de facilitar a liberação fundiária de maneira a permitir a construção de: Linhas de Transmissão, Linhas de Distribuição e Linhas de Transmissão de Interesse Restrito de Central de Geração. O instituto jurídico da servidão administrativa implica na manutenção do direito à propriedade da área de terra atingida. O proprietário permanece em posse do imóvel e com o título das terras, porém ele passará a ter restrições no seu uso, mediante o pagamento de indenização por parte do agente. No caso de linhas de transmissão aéreas as restrições são: não é permitido fazer construções ou edificações, nem

plantações de elevado porte. No caso de linhas subterrâneas as restrições poderão variar conforme o caso.”

A REN 740 de 2016 da ANEEL trata da aprovação das DUP [6]. Especificamente no Art. 5º:

“Para áreas necessárias à implantação de linhas de Transporte de Energia Elétrica, o concessionário, permissionário ou autorizado deverá enviar requerimento à ANEEL, especificando separa fins de desapropriação ou instituição de servidão administrativa, acompanhado dos seguintes documentos e informações:

I - tensão nominal de operação, instalações de início e término da linha e os responsáveis por elas, a quantidade de circuitos da linha e os municípios, relacionados por estado, a serem afetados pelo empreendimento;

II - largura da faixa de servidão adotada e a norma utilizada;

III - memorial descritivo da poligonal envolvendo a área objeto do requerimento, em planilha eletrônica, contendo as coordenadas dos vértices na sequência do caminhamento da poligonal, conforme descrição e modelo do Anexo I;

IV - memorial descritivo do traçado da linha, em planilha eletrônica, contendo as coordenadas de todos os vértices, na sequência de caminhamento do traçado da linha, conforme descrição e modelo do Anexo II:

a) deverão ser incluídas neste memorial as coordenadas das estruturas nos locais onde houver mudança na largura da faixa de servidão.”

Há, porém, os casos nos quais a linha de transmissão subterrânea compartilha infraestrutura de outra concessionária (faixa de passagem de linha de transmissão, terreno de subestação existente, túnel como no caso do lote 3 do leilão 01/2020, acostamento rodoviário etc.). Nesses casos o pagamento de servidão é tratado no CCI entre os agentes envolvidos, mas, mesmo nessas situações, ocorre muitas vezes que o agente detentor da infraestrutura ou terreno já é remunerado pelo Poder Concedente, situação em que não se justificaria uma receita adicional.

Com relação a serviços de supervisão e montagens, é possível incluí-los nas cotações junto aos fabricantes, que normalmente condicionam o fornecimento dos materiais a essas atividades para evitar erros e responsabilização por eventuais falhas.

3.6 Operação e manutenção

No edital da EPE, na descrição da etapa 4, consta:

“Por fim, é interessante que no relatório de saída supracitado seja gerada uma estimativa de custos de operação e manutenção para a solução de entrada.”

No presente relatório, esse item será objeto de pesquisa de valores, embora não se

esperem referências muito precisas publicadas e nem valores elevados, devido às características das linhas de transmissão subterrâneas e subaquáticas.

4. Metodologia da pesquisa de preços e custos

A metodologia para levantamento e obtenção de preços de equipamentos e materiais, bem como custos de obras e serviços, para os diversos elementos previamente descritos compreendeu as seguintes etapas:

- a) Definição dos itens principais objeto do levantamento, conforme partes precedentes desse relatório;
- b) Pesquisa de dados publicados:
 - i. Análise de relatórios e artigos técnicos com dados pertinentes;
 - ii. Busca de bases de dados públicas de obras civis.
- c) Consultas diretas a fornecedores e agentes do setor elétrico:
 - i. Pedidos de cotações orçamentárias a fabricantes;
 - ii. Solicitação à ANEEL de suas bases de dados;
 - iii. Consulta a transmissoras e distribuidoras que possuem linhas de transmissão subterrâneas e/ou subaquáticas.
- d) Tabulação, análise e confronto dos resultados.

No que concerne às obras civis, com intuito de obter preços regionais, as pesquisas foram direcionadas aos municípios que tiveram ou têm previsão de ter implantação de linhas de transmissão com cabos isolados, a saber:

- a) Porto Alegre
- b) Florianópolis
- c) Curitiba
- d) São Paulo
- e) Salvador
- f) Fortaleza
- g) Brasília
- h) Manaus

5. Resultados

5.1 Relatórios e artigos técnicos sobre linhas de transmissão

Foi realizado um levantamento de custos publicados em diversas referências pesquisadas através da *internet*, dando preferência a publicações mais recentes, sempre que possível.

De um modo geral, os resultados mais comuns referem-se aos custos totais das linhas. Além disso, são incompletos em termos de desdobramentos de valores para cabos, acessórios, obras civis etc.

Para fins de comparação entre si e, especialmente, com a realidade brasileira, há outras questões difíceis de avaliar como aspectos tributários de cada país.

Mesmo assim, eles podem ser úteis como balizamento da ordem de grandeza dos valores das cotações que venham a ser recebidas, bem como dos valores totais que serão calculados com a ferramenta a ser desenvolvida na etapa IV do projeto.

5.1.1 Linhas de transmissão subterrâneas

O resumo das informações brutas obtidas em cada relatório ou artigo está mostrado na Tabela 6.

Alguns documentos dentre os pesquisados têm informações mais gerais e cabe destacá-los fora da tabela.

O relatório da *Agency for the Cooperation of Energy Regulators* [13] tem uma avaliação estatística dos custos totais resumida na tabela imediatamente a seguir.

Tabela 4 – Resultados por km de linha de transmissão.

	Média (€/km)	Mediana (€/km)	Mínimo (€/km)	Máximo (€/km)	No. de ativos
380-400 kV, 2 circuitos	4.905.681	5.729.628	3.557.853	5.895.748	5
220 -225 kV, 2 circuitos	3.314.047	4.063.557	3.982.813	4.115.441	6
220 -225 kV, 1 circuito	2.224.630	2.260.036	1.920.846	2.444.014	20

Existe, porém, outra abordagem, que busca obter uma relação geral, baseada em análise de diversos dados, para estabelecer uma fórmula preditiva dependente de atributos que melhor explicam os custos obtidos. Um exemplo disso é o relatório do *Council of European Energy Regulators* [28], cujo resultado está descrito a seguir:

$$C_{base} = \max\{3,1081 \times S + 383; 5,725 \times S - 2059\} \quad (1)$$

$$C_{LTsubterrânea} = (L + 1)C_{base} \quad (2)$$

Onde:

C_{base} e $C_{LTsubterrânea}$: custos, respectivamente em k€/km e k€ considerando-se cabos de XLPE

S : potência aparente da linha de transmissão em MVA

L : comprimento da linha de transmissão em km (a adição de 1 km visa a incluir os custos de terminais).

O relatório não é perfeitamente claro, mas entende-se que os valores se referem a linhas de transmissão com dois circuitos, por analogia às linhas aéreas, para as quais essa menção é explícita.

O custo não contempla condições especiais, como linhas com muitos circuitos ou instalação em túneis.

Fazendo algumas simulações com as fórmulas acima obtém-se os resultados da Tabela 4, os quais apresentam uma melhor concordância com aqueles da Tabela 5 para as maiores potências.

Tabela 5 – Custos simulados (k€/km) com a fórmula (2).

Comprimento (km)	Potência (MVA)			
	600	800	1.000	1.200
5,0	2.697,43	3.443,38	4.399,20	5.773,20
7,5	2.547,57	3.252,08	4.154,80	5.452,47
10,0	2.472,65	3.156,43	4.032,60	5.292,10
12,5	2.427,69	3.099,04	3.959,28	5.195,88
15,0	2.397,72	3.060,78	3.910,40	5.131,73

Tabela 6 – Resumo dos resultados de artigos e relatórios técnicos para linhas de transmissão subterrâneas.

No. Ref.	Ano	Tensão (kV)	No. circ.	Seção (mm²)	Condutor (Cu/Al)	Blind./Capa (Cu/Al)	S (MVA)	Cabo (\$/km)	Emenda (\$/un.)	Term. ext. (\$/un.)	Term. SF ₆ (\$/un.)	Linha (\$/km)	Observações
21	2009	500	2	2500	Cu	N/D	1560	915.627,73	62.076,46	310.382,28	N/D	2.668.751,14	
8	2019	110	N/D	<800	N/D	N/D	N/D	N/D	128,96	N/D	N/D	N/D	Diferentes métodos para emenda;
		110	N/D	800	N/D	N/D	N/D	N/D	138,17	N/D	N/D	N/D	
23	2012	115	1	1520	N/D	N/D	N/D	4.084.413,49	N/D	N/D	N/D	13.651.993,99	-
19	2015	132	1	1600	Al	N/D	300	N/D	N/D	N/D	N/D	1.255.372,60	Para backfill normal: 1,3Km/W;
		132	1	1200	Al	N/D	300	N/D	N/D	N/D	N/D	1.191.789,80	Para backfill especial: 0,6Km/W;
11	2015	132	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	625.073,41	-
20	2004	138	N/D	1013	Cu	N/D	N/D	110.236,22	N/D	11.750,00	N/D	N/D	-
9	2020	138	N/D	304	Cu	N/D	N/D	1.550.939,93	7.200,00	16.200,00	N/D	3.415.062,01	-
10	2018	138	2	633	Cu	N/D	215	N/D	N/D	N/D	N/D	12.819.786,35	C/ 20 % contingências
12	2013	138	2	1000	Al	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	2.066.806,20	-
21	2009	200	N/D	N/D	N/D	N/D	400	349.180,07	7.759,56	21.726,76	N/D	1.261.368,68	VSC HVDC
8	2019	220	N/D	2500	N/D	N/D	N/D	N/D	736,90	N/D	N/D	N/D	-
11	2015	220	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	767.043,70	-
12	2013	220	2	1600	Al	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	2.418.603,00	-
19	2015	220	N/D	2000	Al	N/D	400	N/D	N/D	N/D	N/D	1.031.282,00	-
		220	2	1600	Al	N/D	700	N/D	N/D	N/D	N/D	1.863.286,20	-
		220	2	1600	Al	N/D	700	N/D	N/D	N/D	N/D	1.640.746,40	-
		220	2	1600	Al	N/D	700	N/D	N/D	N/D	N/D	1.588.794,60	-
		220	1	2500	Cu	N/D	570	N/D	N/D	N/D	N/D	2.231.601,20	-
		220	1	1600	Al	N/D	350	N/D	N/D	N/D	N/D	863.795,60	-

Tabela (cont.) – Resumo dos resultados de artigos e relatórios técnicos para linhas de transmissão subterrâneas.

No. Ref.	Ano	Tensão (kV)	No. circ.	Seção (mm²)	Condutor (Cu/Al)	Blind./Capa (Cu/Al)	S (MVA)	Cabo (\$/km)	Emenda (\$/un.)	Term. ext. (\$/un.)	Term. SF ₆ (\$/un.)	Linha (\$/km)	Observações
7	2014	230	N/D	1773	Cu	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	21.198,36	Valores com acréscimo de 25% para contingência
		230	N/D	1773	Cu	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	13.663,80	
		230	N/D	1773	Cu	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	23.774,53	
20	2004	230	1	1013	Cu	N/D	N/D	126.312,34	N/D	23.100,00	N/D	N/D	Apresenta valores de instalação, duct bank, etc;
14	2014	345	1	1520	Cu	N/D	160	N/D	N/D	N/D	N/D	1.680.000,00	-
16	2010	345	2	1773	Cu	N/D	2000	N/D	N/D	N/D	N/D	12.365.279,04	Inclui 15% de contingência
23	2012	345	1	1520	N/D	N/D	N/D	4.778.197,89	N/D	N/D	N/D	13.651.993,99	-
12	2013	380	2	2500	Cu	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	3.847.777,50	-
11	2015	400	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	901.439,05	-
18	2009	400	1	3000	Cu	N/D	1500	N/D	N/D	N/D	N/D	5.489.576,50	-
21	2009	500	N/D	2000	Cu	N/D	N/D	775.955,70	62.076,46	310.382,28	N/D	1.833.027,70	LCC HVDC 500kV
15	2018	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	21.266.448,00	-
17	2008	N/D	2	3000	Al	N/D	2074	N/D	N/D	N/D	N/D	5.255.474,95	Enterrado diretamente com backfill
		N/D	1	2500	Cu	N/D	1830	N/D	N/D	N/D	N/D	3.464.606,36	Enterrado diretamente com backfill e lateral cooling;
		N/D	2	1600	Al	N/D	1940	N/D	N/D	N/D	N/D	4.885.588,15	Enterrado diretamente com backfill e lateral cooling;
		N/D	2	1600	Al	N/D	1800	N/D	N/D	N/D	N/D	4.839.352,30	Em túnel com resfr. forçado
22	2006	N/D	1	N/D	N/D	N/D	1035	N/D	N/D	N/D	N/D	5.033.119,17	-
	2005	N/D	1	N/D	N/D	N/D	1035	N/D	N/D	N/D	N/D	4.287.471,88	-

Os artigos e relatórios técnicos avaliados são de diversas localidades, de modo que os dados obtidos são de diferentes moedas e datas. Os valores da tabela precedente foram convertidos para o dólar norte americano a partir da cotação obtida para o ano em que o respectivo estudo foi publicado, a fim de 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, resumida na tabela imediatamente a seguir.

Tabela 7 - Avaliação estatística dos resultados de artigos e relatórios para LTS.

	Média (US\$/km)	Mediana (US\$/km)	Mínimo (US\$/km)	Máximo (US\$/km)
115 - 220 kV, 1 circuitos	1.385.639,80	1.223.581,20	863.795,60	2.231.601,20
230 - 400 kV, 1 circuitos	3.584.788,25	3.584.788,25	1.680.000,00	5.489.576,50
138 - 220 kV, 2 circuitos	1.915.647,28	1.863.286,20	1.588.794,60	2.418.603,00
345 – 500 kV, 2 circuitos	3.258.264,32	3.258.264,32	2.668.751,14	3.847.777,50

Para a avaliação estatística foram excluídos valores muito destoantes dos demais, como por exemplo os dados do *Connecticut Siting Council* [23], que apresentou 13.651.996,99 US\$/km para linhas até 220 kV com 1 circuito.

Os resultados da Tabela 4 e da Tabela 7 não são diretamente comparáveis pelas diferenças de faixas de tensão, moedas etc., mas observa-se uma tendência de valores maiores na primeira (barras laranja, amarela e verde), conforme gráfico a seguir.

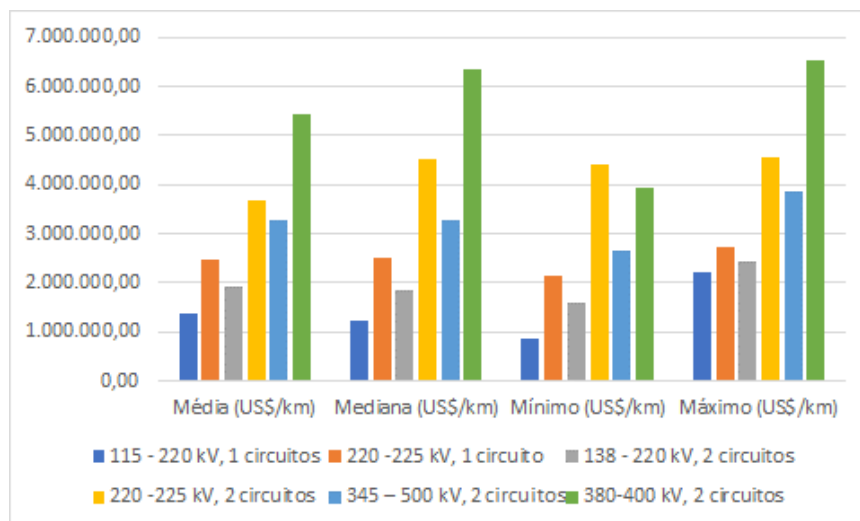


Figura 13 – Comparação de resultados de referências distintas.

Uma outra avaliação possível é considerar somente aquelas linhas que têm potência

e custo declarado (18 casos) para obter um indicador de custo específico, em US\$/km/no. de fases/MVA, mostrado na tabela seguinte. Observa-se uma ampla faixa de variação, o que não torna esse indicador útil.

Tabela 8 - Resultados de artigos e relatórios para LTS subterrâneas (US\$/km/fase/MVA).

1º. quartil	Mediana	3º. quartil	Mínimo	Máximo
427,66	926,55	1.366,67	285,12	9.937,82

Os valores utilizados referem-se ao período entre 2005 e 2020 e a falta de correção dos valores no tempo (inflação, volatilidade dos preços dos metais etc.) influencia a estatística com distorções. Além disso, as variações no tipo de cabo utilizado, tanto de seção quanto de material, resultam em diferenças nos valores finais obtidos.

Conforme mencionado anteriormente, também faltam dados de acessórios, em geral.

5.1.1.1 Operação e manutenção

Conforme o relatório do *Council of European Energy Regulators* [28] o valor correspondente ao OPEX das linhas de transmissão subterrâneas é de 1,4 k€/km/ano (o comprimento se refere à linha e não à quantidade de cabos).

O relatório não é completamente claro, mas, a princípio, o valor se refere a linhas de dois circuitos. Também há a informação que esse custo é da Noruega.

5.1.2 Linhas de transmissão subaquáticas

Em função das variações e dificuldades de estimativas já apontadas para linhas subaquáticas, alguns trabalhos apresentam equações preditivas, baseadas em modelos de regressão de vários dados.

Com essa abordagem, o artigo [29] apresenta a fórmula:

$$\begin{aligned}
 C_{LTsubaquática} = & 19,41 - 0,0983(40 - L) + 0,0137(L - 40) \\
 & - 0,0004(L_{acum.} - 3135) - 0,0035(300 - V) \\
 & + 0,4967(A - 2007) - 0,0001(3 - N)P_{Cu} \\
 & + 0,0206(40 - L) * t_{total} - 0,0094(L - 40)DC
 \end{aligned} \tag{3}$$

Onde:

$C_{LTsubaquática}$: custos em MUS\$

L : comprimento da linha em km

$L_{acum.}$: comprimento cumulativo de linhas instaladas em km

t_{total} : duração do projeto (anos)

$L_{accum.}$: comprimento cumulativo de linhas instaladas em km

N : número de cabos

P_{Cu} : preço do cobre (provavelmente em US\$/t, mas não é claro)

V : tensão em kV

A : ano de instalação a partir de 2007

DC : indicador de é DC ou AC (provavelmente $DC = 1$ e $AC = 0$, mas não é claro no artigo)

A equação precedente está sujeita a algumas limitações para aplicação prática, como:

- a) Somente considera cabos de cobre;
- b) Depende do comprimento cumulativo instalado;
- c) Não tem um atributo ligado à potência ou seção do cabo considerado.

Dessa forma ela é apenas um registro da dificuldade de modelar de forma geral esse tipo de linha de transmissão.

No mesmo relatório já mencionado para linhas de transmissão subterrâneas [28] consta uma outra fórmula estimativa para preços de linhas subaquáticas, de aplicação simples:

$$C_{LTsubaquática} = 1,35(L + 8,5)C_{base} \quad (4)$$

Onde:

$C_{LTsubaquática}$: custo em k€

C_{base} : conforme fórmula (1)

Da mesma forma que feito para as linhas de transmissão subterrâneas, apresenta-se a seguir uma simulação de valores, aplicando a fórmula precedente.

Tabela 9 - Custos simulados (k€/km) com a fórmula (4).

Comprimento (km)	Potência (MVA)			
	600	800	1.000	1.200
5,0	8.193,45	10.459,25	13.362,57	17.536,10
7,5	6.473,84	8.264,10	10.558,08	13.855,68
10,0	5.614,03	7.166,53	9.155,84	12.015,47
12,5	5.098,15	6.507,98	8.314,49	10.911,35
15,0	4.754,22	6.068,95	7.753,59	10.175,27

O relatório da *Agency for the Cooperation of Energy Regulators* [13] tem uma avaliação estatística dos custos totais resumida na tabela imediatamente a seguir.

Tabela 10 - Resultados do relatório por km de “cabo/vala” submarinos.

	Média (€/km)	Mediana (€/km)	Mínimo (€/km)	Máximo (€/km)	No. de ativos
Todos	909.910	831.185	729.638	1.101.937	16
HVAC 150 kV – 220 kV	1.143.966	1.140.989	1.095.474	1.245.183	6
HVDC 250 kV – 500 kV	757.621	760.284	705.293	791.029	10

Comparando-se a Tabela 4 (referente a instalações subterrâneas) e a Tabela 10, os valores para cabos submarinos parecem baixos, porém deve ser observada que a base é diferente, isto é, no caso de linha realizada com cabos unipolares, os valores precisam ser multiplicados por três ou seis, dependendo do número de circuitos.

Já a comparação entre a Tabela 9 e a Tabela 10 mostra melhor concordância para os comprimentos mais longos, o que é razoável considerando-se a realidade europeia, mas pode ser enganoso em aplicações de menor extensão.

No que se refere aos custos de instalação foram encontradas algumas referências que podem ser úteis e são comentadas a seguir.

No artigo **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mencionam-se faixas de valores para o custo das embarcações como sendo de 35 kUS\$/dia a 65 kUS\$/dia, acrescidos dos custos de combustível de 15 kUS\$/dia a 25 kUS\$/dia. Dessa forma, tendo-se uma estimativa do tempo de instalação (função da rota, velocidade de instalação e dias parados por mau tempo ou outras causas) seria possível estimar o valor associado com a embarcação em casos específicos.

Segundo o artigo [36] da linha 230 kV Biguaçu – Desterro, o tempo de lançamento de uma fase, na distância de 4,65 km, variou de 4 dias a 10 dias, dependendo das

condições meteorológicas (isto é, 465 m/dia a 1162,5 m/dia).

Os resultados brutos principais das demais referências analisadas constam da Tabela 11.

Tabela 11 - Resumo dos resultados de artigos e relatórios técnicos para linhas de transmissão subaquáticas.

No. refer.	Ano	Tensão (kV)	No. circ.	Seção (mm²)	Condutor (Cu/Al)	Capa	Armação	S (MVA)	Cabo (\$/m)	Emenda (\$/un.)	Term. ext. (\$/un.)	Custo total (\$)	Custo unit. (\$/km)	Custo unit. (\$/km/fase)	Observações
32	2016	132	N/D	3x800	Cu	N/D	N/D	N/D	636,48	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVAC
		220	N/D	3x1000	Cu	N/D	N/D	N/D	898,70	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVAC
		275	N/D	3x1600	Cu	N/D	N/D	N/D	1.530,26	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVAC
38	2016	275	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	3.077.750.000,00	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVAC
31	-	345	1 (2/fase)	1400	Cu	N/D	N/D	1416,21	1.621,84	N/D	68.558,08	44.459.387,70	21.171.137,00	3,53 M	HVAC
			1 (2/fase)	1400	Cu	N/D	N/D	1416,21	1.621,84	N/D	68.558,08	41.585.477,70	19.801.239,90	3,30 M	HVAC
			N/D	3000	Cu	N/D	N/D	N/D	1.436,96	N/D	68.558,08	26.291.486,65	N/D	-	Inst. HDD. Capa aço inox.
30	2015	400	2+R	1600	Cu	Pb	Cu	2000	N/D	N/D	N/D	72.696.330,00	15.629.166,00	2,23 M	HVAC Submarino
				2000	Cu	Pb	Cu	2000	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	HVAC. Subterrâneo
	2016	400	2+R	1600	Cu	Pb	Cu	2000	N/D	N/D	N/D	67.028.040,00	15.408.018,00	2,20 M	HVAC. Submarino
				2000	Cu	Pb	Cu	2000	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	HVAC. Subterrâneo
35	2009	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	17.274.000,00	448.663,36	-	HVAC. Continente
		N/D	N/D	500	Cu	Pb	Cu	310	N/D	N/D	N/D	16.122.400,00	3.664.160,88	-	HVAC. Travessia
		N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	6.909.600,00	511.828,62	-	HVAC. Ilha
37	2014	N/D	N/D	3x	N/D	N/D	N/D	N/D	1.156.664.400,00	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVAC. Inst. 1,905 M€/km
	2014	N/D	N/D	3x	N/D	N/D	N/D	N/D	1.433.731.500,00	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVAC. Inst. 1,905 M€/km
13	2015	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	1.246.808.543,40	N/D	-	Média HVAC

Tabela (continuação) – Resumo dos resultados de artigos e relatórios técnicos para linhas de transmissão subaquáticas.

No. refer.	Ano	Tensão (kV)	No. circ.	Seção (mm²)	Condutor (Cu/Al)	Capa	Armação	S (MVA)	Cabo (\$/m)	Emenda (\$/un.)	Term. ext. (\$/un.)	Custo total (\$)	Custo unit. (\$/km)	Custo unit. (\$/km/fase)	Observações
38	2016	320	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	1.354.210.000,00	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVDC
41	2015	450	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	700	N/D	N/D	N/D	653.940.000,00	1.126.956,60	-	HVDC NorNed
		500	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	1000	N/D	N/D	N/D	795.627.000,00	1.894.246,20	-	HVDC Sa.Pe.I
		500	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	1200	N/D	N/D	N/D	5.231.520.000,00	5.231.520,00	-	HVDC Ice Link
39	2020	500	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	2000	2.500.000.000,00	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVDC circ. simples
40	2015	550	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	1400	N/D	N/D	N/D	2.179.800.000,00	2.986.326,00	-	HVDC NSN Link
39	2020	600	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	4000	3.000.000.000,00	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVDC circ. simples
		800	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	4000	3.800.000.000,00	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVDC circ. simples
		800	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	8000	7.000.000.000,00	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVDC circ. simples
33	2014	N/D	1 (3 paral.)	3x800	Cu	N/D	N/D	1012	107.500.000,00	N/D	180.000,00	140.938.000,00	N/D	-	-
37	2014	N/D	N/D	1600	Cu	N/D	N/D	1400	683.593.500,00	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVDC. Inst. 1,775 M€/km
		N/D	N/D	1000	Cu	N/D	N/D	1000	520.257.000,00	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVDC. Inst. 1,775 M€/km
		N/D	N/D	500	Cu	N/D	N/D	700	384.143.250,00	N/D	N/D	N/D	N/D	-	HVDC. Inst. 1,775 M€/km
13	2015	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	825.731.127,90	N/D	-	Média HVDC

Novamente, tal como apresentados, os resultados têm pouco significado, uma vez que faltam informações de valor dos metais aos quais os custos totais se referem e, mesmo que os preços tenham sido convertidos para o dólar, são necessários outros ajustes para colocar todos os valores em uma mesma data.

A primeira segregação necessária é entre as linhas HVDC e HVAC, feita com uma avaliação estatística das informações brutas, resumida na tabela imediatamente a seguir.

Tabela 12 - Avaliação estatística dos resultados de artigos e relatórios para LTS subaquáticas.

	Média (US\$/km)	Mediana (US\$/km)	Mínimo (US\$/km)	Máximo (US\$/km)
HVAC	15.134.744,36	15.629.166,00	3.664.160,88	21.171.137,00
HVDC	2.809.762,20	2.440.286,10	1.126.956,60	5.231.520,00

Nesta análise, as linhas HVAC variam entre 132 kV e 400 kV, enquanto as HVDC vão de 320 kV à 800 kV.

Os dados são do período entre 2009 e 2020 e a falta de correção no tempo se reflete em distorções nas estatísticas. Ademais, as variações no tipo de cabo utilizado, tanto em seção quanto em material, resultam em diferenças nos valores finais obtidos.

Também no caso das linhas subaquáticas procurou-se calcular um indicador de custo específico, em US\$/km/no. de fases/MVA (ou no. de polos, suposto igual 2 para HVDC), como mostrado na tabela seguinte. Observam-se valores menores para as linhas HVDC em comparação com HVAC, o que justifica a sua economia. A amplitude de variação foi bem menor que aquela obtida na tabela similar para linhas de transmissão subterrâneas, mas ainda um pouco larga, mas o número de valores disponíveis menor (quatro HVAC e quatro HVDC).

Tabela 13 - Resultados de artigos e relatórios para LTS subaquáticas (US\$/km/fase/MVA).

	1º. quartil	Mediana	3º. quartil	Mínimo	Máximo
HVAC	1.112,42	1.723,34	2.370,61	1.100,57	2.491,53
HVDC	911,58	1.006,83	1.344,86	804,97	2.179,80

Uma referência adicional de custo encontrada diz respeito a uma licitação da CEB-D em 2018, embora o projeto básico seja de 2017. Essa licitação não teve vencedor, pois a única proposta apresentada teve valor acima do limite máximo do edital (valor global estimado de R\$ 19.634.078,17 ou cerca de US\$ 4.674.781 na época).

Mesmo se tratando de cabos 138 kV e de uma instalação relativamente simples, quando comparada a rios com correntezas ou mar aberto, esses valores foram incluídos devido à quantidade limitada de referenciais de preços de cabos subaquáticos.

Na Figura 14 foram colocadas partes selecionadas das tabelas do edital com os preços adotados.

LINHA SUBTERRÂNEA/SUBLACUSTRE DE DISTRIBUIÇÃO EM 138 KV TRECHO ENTRE SE-BRÁSILIA LESTE E SE-BRÁSILIA CENTRO E TRECHO ENTRE SE-BRÁSILIA LESTE E SE-06 IMPLANTAÇÃO DE CIRCUITO SIMPLES ORÇAMENTO BÁSICO							
ANEXO II - PLANILHA DE CUSTOS DE MATERIAIS E SERVIÇOS							
TRECHO SE-BRÁSILIA LESTE E SE-BRÁSILIA CENTRO							
IDENTIFICAÇÃO				PREÇO(R\$)			
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT	UNIT	BDI	UNIT C/ BDI	TOTAL
1	MATERIAIS ELETROMECÂNICOS				16,55%		
1.1	CONDUTOR						
1.1.1	CABO ISOLADO SUBTERRÂNEO 1000mm², XLPE, 145 KV/210 MVA - ALUMÍNIO	m	14300	459,55	76,06	535,60	7.659.127,67
1.1.2	CABO ISOLADO SUBLACUSTRE 630mm², EPR, 145KV/210 MVA - COBRE	m	5300	751,55	124,38	875,94	4.642.464,33
1.1.3	Buchas terminais para cabo isolado de 138 KV	un	6	37.531,32	6.211,43	43.742,75	262.456,52
1.1.4	Emendas retas de cabo subterrâneo #1000mm² para cabo sublacustre #630mm²	un	3	35.553,16	5.884,05	41.437,21	124.311,64
1.1.5	Emendas retas de cabo subterrâneo #1000mm²	un	15	35.553,16	5.884,05	41.437,21	621.558,20
2	MONTAGEM ELETROMECÂNICA						
2.1	Lançamento de circuito SUBTERRÂNEO com cabo condutor isolado - SE-BSL x SE-BC	km	14,30	31.040,23			443.875,29
2.2	Lançamento de circuito SUBLACUSTRE com cabo condutor isolado - SE-BSL x SE-BC	km	5,30	185.364,10			982.429,73

Figura 14 – Valores da licitação malsucedida da CEB-D de 2018.

A CEB-D realizou novamente essa licitação, em março de 2021, tendo sucesso com valor total da ordem de R\$ 50 milhões, mas sem desdobramento dos custos que permitam maior análise.

5.1.2.1 Operação e manutenção

No mesmo relatório do CEER [28] há também uma estimativa do OPEX das linhas de transmissão subaquáticas no valor de 0,15 k€/km/ano. Novamente a referência do custo é a Noruega.

Não há explicações para o menor valor de manutenção das linhas com cabos submarinos em relação aos subterrâneos, mas é possível que o valor esteja afetado pelos grandes comprimentos dessas linhas no país pesquisado.

5.2 Obras civis

5.2.1 Pesquisa nas secretarias de obras de infraestrutura

Em relação à proposta inicial de consulta às referências de preços nas secretarias de infraestrutura urbana de municípios, além do Distrito federal, com linhas de transmissão com cabos isolados:

- a) Porto Alegre (<https://prefeitura.poa.br>): não dispõe de uma área específica para infraestrutura e consta a informação “em breve”;
- b) Florianópolis (<https://www.pmf.sc.gov.br/entidades/infraestrutura/index.php>): não foram encontrados dados de preço;
- c) Curitiba (<https://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/estrutura/72>): este portal dispõe de tabelas em Excel que podem ser baixadas (referidas como “Tabelas de Custo”), porém, elas não contêm informações como as requeridas para o custeio de linhas de transmissão subterrâneas;
- d) São Paulo (https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/obras/tabelas_de_custos/index.php?p=304323): dispõe de várias tabelas em Excel que podem ser baixadas (também referidas como “Tabelas de Custo”) com valores relevantes para o custeio de linhas de transmissão subterrâneas, porém, a última delas com data base de Julho de 2020 (com e sem desoneração consideradas);
- e) Salvador (<http://seinfra.salvador.ba.gov.br>): também nesse caso não foram encontrados dados de preço;
- f) Fortaleza (<https://infraestrutura.fortaleza.ce.gov.br>) mais uma vez não foram encontrados dados de preço;
- g) Distrito Federal (<http://www.so.df.gov.br>) como em outros casos não foram encontrados dados de preço;
- h) Manaus (<https://seminf.manaus.am.gov.br>) não foram encontrados dados de preço.

Em função da falta de resultados anteriores para os municípios, decidiu-se consultar os portais dos estados correspondentes, obtendo-se:

- a) Rio Grande do Sul (<https://www.sema.rs.gov.br/inicial>): não foram encontradas informações;
- b) Santa Catarina (<https://www.sie.sc.gov.br/referencialdepreco>): constam em “Informações/Referencial de Preço” arquivos em .pdf, cuja fonte é o DNIT;
- c) Paraná (<http://www.infraestrutura.pr.gov.br/>): não foram encontradas informações;

- d) Bahia (<http://www.infraestrutura.ba.gov.br>): não se encontraram dados próprios, mas nos “links úteis” consta o site do DNIT;
- e) Ceará (<https://www.seinfra.ce.gov.br>): dispões de várias tabelas que podem ser consultadas on-line ou baixadas (<https://sites.seinfra.ce.gov.br/siproce/onerada/html/tabela-seinfra.html>);
- f) Amazonas (<http://www.seinfra.am.gov.br>): não constam dados próprios, mas nos “links úteis” remete ao Sinapi da CEF e ao SICRO do DNIT.

Conclui-se que poucas secretarias de infraestrutura municipais ou estaduais têm informações e algumas se referem aos bancos de preços federais, o que limita a adoção dessas referências como fontes para custeio de forma generalizada.

5.2.2 Bases de dados nacionais públicas

Existem dois grandes bancos de dados públicos, rotineiramente atualizados e que são referências para custeio de obras civis:

- a) SICRO do DNIT (<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro>);
- b) SINAPI da Caixa Econômica Federal (<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>).

O SICRO é um sistema utilizado para o custeio de obras de transporte rodoviário. As suas tabelas são em formato .pdf e a atualização é semestral.

Por sua vez, o SINAPI é voltado a obras de habitação e saneamento. Os valores são disponibilizados tanto em Excel como em .pdf e constam atualizações mensais no sítio do SINAPI.

No entanto, ambas as fontes de dados têm custos para todos os estados e distrito federal, o que é um dos requisitos para um custeio mais aderente às realidades locais, e valores para as principais atividades.

O decreto 7983 de 8 de abril de 2013 estabelece que:

“O custo global de referência de obras e serviços de engenharia, exceto os serviços e obras de infraestrutura de transporte, será obtido a partir das composições dos custos unitários previstas no projeto que integra o edital de licitação, menores ou iguais à mediana de seus correspondentes nos custos unitários de referência do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – Sinapi (...)”

“O custo global de referência dos serviços e obras de infraestrutura de transportes será obtido a partir das composições dos custos unitários previstas no projeto que integra o edital de licitação, menores ou iguais aos seus correspondentes nos custos unitários de referência do Sistema de Custos Referenciais de Obras – Sicro (...)”

Essas recomendações se aplicam a licitações públicas.

No caso deste trabalho interessa dispor de fontes acessíveis, com atualização periódica, valores regionalizados e que contemplem os componentes de obras civis aplicáveis à construção de uma linha de transmissão subterrânea. A validade desses dados em obras civis contratadas entre empresas privadas não será perfeita, mas deve permitir uma estimativa consistente sem cotações caso a caso.

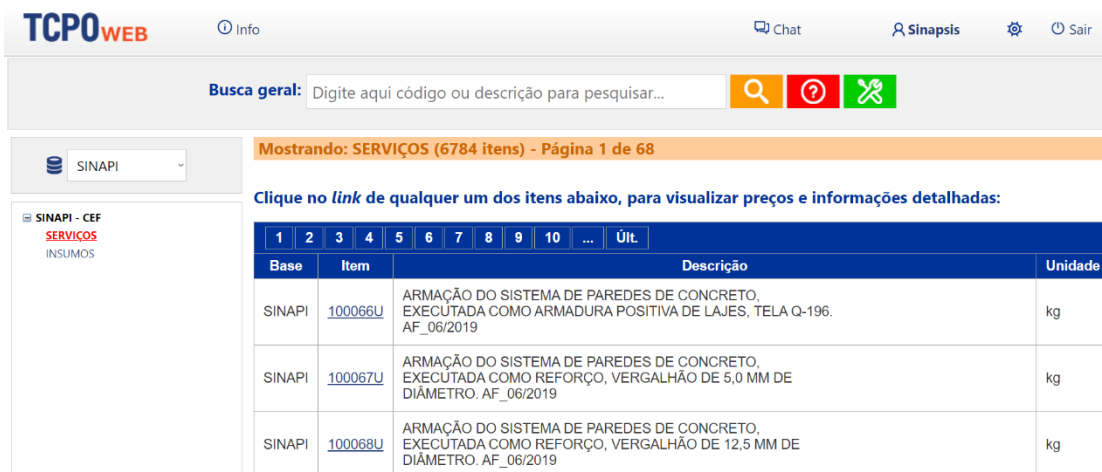
5.2.3 TCPOweb

O TCPOweb é da editora Pini, que há muitos anos faz esse tipo de levantamento.

O serviço é pago, por assinatura mensal ou anual, a um valor acessível para quem faz uso constante dessas bases de dados.

Existe uma versão voltada a obras públicas, que tem como base os dados de órgãos do governo como SICRO e SINAPI.

A Figura 15 apresenta a tela inicial do TCPOweb. Há uma ferramenta de busca em que o usuário pode utilizar tanto o código quanto a descrição do item desejado. Além disso, no canto esquerdo, existe um menu em que o usuário pode selecionar uma determinada base de dados (SICRO, SINAPI etc) e realizar a pesquisa apenas nessa base.



The screenshot shows the TCPOweb interface. At the top, there's a header with the logo, 'Info', 'Chat', 'Sinapsis', and 'Sair'. Below the header is a search bar labeled 'Busca geral:' with a placeholder 'Digite aqui código ou descrição para pesquisar...'. To the left of the search bar is a dropdown menu currently set to 'SINAPI'. Below the search bar, a message says 'Mostrando: SERVIÇOS (6784 itens) - Página 1 de 68'. A link instructs the user to click on any item link to view prices and detailed information. Below this is a table with 10 columns (1-10) and a 'Últ.' column. The table has three rows of results, all from the 'SINAPI' base. Each row shows an item code, a description of a concrete wall reinforcement system, and the unit 'kg'.

Base	Item	Descrição	Unidade
SINAPI	100066U	ARMAÇÃO DO SISTEMA DE PAREDES DE CONCRETO, EXECUTADA COMO ARMADURA POSITIVA DE LAJES, TELA Q-196. AF_06/2019	kg
SINAPI	100067U	ARMAÇÃO DO SISTEMA DE PAREDES DE CONCRETO, EXECUTADA COMO REFORÇO, VERGALHÃO DE 5,0 MM DE DIÂMETRO. AF_06/2019	kg
SINAPI	100068U	ARMAÇÃO DO SISTEMA DE PAREDES DE CONCRETO, EXECUTADA COMO REFORÇO, VERGALHÃO DE 12,5 MM DE DIÂMETRO. AF_06/2019	kg

Figura 15 - Tela inicial do TCPOweb.

Os resultados referentes a uma determinada busca, conforme apresentado na Figura 16, são disponibilizados de maneira tabulada na tela do TCPOweb, sendo também

disponibilizada opção para exportação de dados em formato .xlsx.

Região de preços: SINAPI - São Paulo Leis sociais (taxa padrão): Digitada pelo usuário Data preços: 2020/11

[Exportar para Excel](#) [Restaurar Preços](#)

Quantidade: 1 m3 Taxas: LS: 0 % BDI: 0 % Valores totais (R\$): Sem taxas: 12,73 Com taxas: 12,73 LS: 0,00 BDI: 0,00

☐ Exibir composição detalhada (sem sub-composições)

Código	Descrição	Un	Class	Coef	Preço unitário (R\$) sem taxas	Total (R\$) sem taxas	Consumo
5631U	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHP DIURNO. AF_06/2014	chp	SER	0,043	116,49	5,01	0,043
5632U	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHI DIURNO. AF_06/2014	chi	SER	0,057	46,65	2,66	0,057
88316U	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	h	SER	0,045	12,54	0,56	0,045
91533U	COMPACTADOR DE SOLOS DE PERCUSSÃO (SOQUETE) COM MOTOR A GASOLINA 4 TEMPOS, POTÊNCIA 4 CV - CHP DIURNO. AF_08/2015	chp	SER	0,094	20,77	1,95	0,094
91534U	COMPACTADOR DE SOLOS DE PERCUSSÃO (SOQUETE) COM MOTOR A GASOLINA 4 TEMPOS, POTÊNCIA 4 CV - CHI DIURNO. AF_08/2015	chi	SER	0,087	15,55	1,35	0,087
95606U	UMIDIFICAÇÃO DE MATERIAL PARA VALAS COM CAMINHÃO PIPA 10000L. AF_11/2016	m3	SER	1	1,20	1,20	1
					Total mão-de-obra, sem taxas (R\$):	3,52	
					Total outros itens, sem taxas (R\$):	9,21	
					Total geral, sem taxas (R\$):	12,73	

Figura 16 – Resultado da busca realizada no TCPOweb.

Assim, o maior benefício que o TCPOweb parece prover é dispor de todas as informações em um mesmo local, além de fornecer dados em formato que possibilita integração de maneira simples com o sistema a ser desenvolvido no projeto.

Entretanto, a utilização de tal sistema implicaria em um custo mensal referente à assinatura (atualmente R\$ 229,00/mês), além de riscos de descontinuidade do serviço ou atualizações que gerem manutenções não previstas do sistema desenvolvido.

5.2.4 BDI

O BDI é uma forma de considerar, em único índice, os custos indiretos de uma empresa (por exemplo, administração, financeiro, recursos humanos etc.), os impostos e o lucro a serem acrescidos aos custos diretos, os quais se relacionam com a execução da obra em si.

Na construção civil, seu emprego é comum para a definição do acréscimo percentual aos custos diretos das obras e a obtenção do seu preço, isto é:

$$Preço_{obra\ civil} = (1 + BDI)Custo\ direto_{obra\ civil} \quad (5)$$

O cálculo do BDI é objeto de diversas publicações e teve valores definidos pelo TCU em 2013 [41], o que é até hoje a base para o cálculo em obras públicas, mas que pode ser uma referência inicial mesmo para relação entre empresas privadas.

Segundo o TCU constam do BDI:

- a) Custos indiretos (administração central, riscos, seguros, garantias e despesas financeiras);
- b) Remuneração (lucro);
- c) Tributos (ISS, PIS, COFINS e CPRB, essa no caso de desoneração da folha).

Ainda conforme o TCU, não podem constar do BDI:

- a) Administração local, mobilização e desmobilização;
- b) IRPJ e CSLL de empresas de lucro real (item muito questionado, mas que se justifica pelos diferentes regimes tributários das empresas e pelo fato de que não havendo lucro não se podem cobrar impostos).

A fórmula geral do BDI proposta pelo TCU é:

$$BDI = \frac{(1 + AC + R + S + G)(1 + DF)(1 + L)}{1 - T} - 1 \quad (6)$$

Onde:

AC: rateio da administração central (%)

R: taxa para riscos (%)

S: taxas dos seguros (%)

G: taxa referente às garantias (%)

DF: despesas financeiras (%)

L: lucro percentual sobre os custos diretos (%)

T: alíquotas efetivas de impostos aplicáveis (%)

Para “construção e manutenção de estações e redes de distribuição de energia elétrica”, grupo que mais se assemelha às linhas de transmissão, admitem-se os seguintes valores no acórdão do TCU:

- a) 1º. quartil: 24,00 %
- b) Médio: 25,84 %
- c) 3º. quartil: 27,86 %

A composição do BDI deve ser objeto da etapa II, visando a adaptá-la aos casos de linhas de transmissão subterrâneas, mas os pontos importantes aqui são os seus componentes e as faixas de valores esperados.

5.2.5 Análises e comparações de valores

5.2.5.1 Valas

Para compor os custos das valas foram selecionados alguns itens relevantes e comparados em alguns bancos de preços, especialmente SINAPI e SICRO. Utilizou-se como referência o valor de São Paulo, data de 07/2020.

O intuito dessa avaliação é definir quais bancos e itens específicos podem ser utilizados nas etapas posteriores da consultoria.

Considerando as atividades indicadas no item 3.2.1.1, foi feita uma busca dos itens aplicáveis no SICRO e SINAPI e elaborada a Tabela 14.

Especificamente para escavação, a abordagem do SICRO e do SINAPI são um pouco diferentes. Será preciso uma análise mais detalhada para escolher os códigos aplicáveis. Para isso registram-se a seguir as definições de cada categoria de solos, conforme suas características geotécnicas (fonte: SICRO metodologia e conceitos):

- a) Materiais de 1ª Categoria - Compreendem os materiais escaváveis com equipamentos comuns (scrapers, tratores, escavadeiras, carregadeiras), qualquer que seja o teor de umidade. São caracterizados como solos em geral, residuais ou sedimentares, rochas em adiantado estado de decomposição ou intemperismo, seixos rolados, com diâmetro máximo inferior a 0,15 metros;
- b) Materiais de 2ª Categoria - Compreendem os materiais mais resistentes ao desmonte e que não admitem a utilização de equipamentos sem a realização de tratamentos (pré-escarificação ou utilização descontínua de explosivos). São caracterizados por pedras soltas, blocos de rocha de volume inferior a 2 m³ e matacões de diâmetro médio compreendido entre 0,15 m e 1,00 m;
- c) Materiais de 3ª Categoria - Compreendem os materiais que admitem desmonte pelo emprego contínuo de explosivos ou de técnicas equivalentes de desmonte a frio. São caracterizados por materiais com resistência ao desmonte mecânico equivalente à rocha não alterada e por blocos de rocha com diâmetro médio superior a 1,00 m, ou de volume igual ou superior a 2 m³.

Tabela 14 – Atividades para construção de uma vala.

	Preço referência São Paulo – julho 2020	
	SICRO	SINAPI
Remoção manual de revestimento asfáltico (R\$/m³)	273,33 Código: 4915668	Não encontrado
Remoção mecanizada de revestimento asfáltico (R\$/m³)	8,12 Código: 4915667	Não encontrado
Escavação (R\$/m³)	Existem muitos códigos, conforme categoria do terreno e alguns incluindo o transporte a diferentes distâncias	7,02 a 8,18 (1ª categoria), dependendo do código; 10,97 (2ª categoria), código: 101139U
Transporte de material (R\$/m³)	Existem muitos códigos conforme capacidade, material e tipo de via	Existem vários códigos conforme capacidade, material e tipo de via
Regularização de fundo de vala (R\$/m²)	2,11 Código: 4915609	5,25 (código: 94097) 5,99 (código: 94098) 2,64 (código: 94099) 3,37 (código: 94100)
Reaterro (R\$/m³)	17,44 Código: 4915671	5,67 a 19,23 dependendo do código
Recomposição do pavimento	Não encontrado	Existem vários códigos dependendo do tipo de piso

Tabela 15 – Tabela auxiliar de códigos do SINAPI.

Descrição	Código
Escavação horizontal, incluindo carga e descarga em solo de 1ª categoria com trator de esteiras (100HP/Lâmina: 2,19 M3). Af 07/2020	101124
Escavação horizontal, incluindo carga e descarga em solo de 1ª categoria com trator de esteiras (125HP/Lâmina: 2,70 M3). Af 07/2020	101128
Escavação horizontal, incluindo carga e descarga em solo de 1ª categoria com trator de esteiras (150HP/Lâmina: 3,18 M3). Af 07/2020	101125
Escavação horizontal, incluindo carga e descarga em solo de 1ª categoria com trator de esteiras (170HP/Lâmina: 5,20 M3). Af 07/2020	101126
Escavação horizontal, incluindo carga e descarga em solo de 1ª categoria com trator de esteiras (347HP/Lâmina: 8,70 M3). Af 07/2020	101127
Escavação horizontal, incluindo escarificação, carga, descarga e transporte em solo de 2ª categoria com trator de esteiras (100HP/Lâmina: 2,19M3) e caminhão basculante de 10M3, DMT até 200M. Af 07/2020	101139
Preparo de fundo de vala com largura menor que 1,5 m, em local com nível baixo de interferência. Af 06/2016	94097
Preparo de fundo de vala com largura menor que 1,5 m, em local com nível baixo de interferência. Af 06/2016	94098
Preparo de fundo de vala com largura maior ou igual a 1,5 m e menor que 2,5 m, em local com nível baixo de interferência. Af 06/2016	94099
Preparo de fundo de vala com largura maior ou igual a 1,5 m e menor que 2,5 m, em local com nível alto de interferência. Af 06/2016	94100
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m³ / potência: 111 hp), largura de 1,5 a 2,5 m, profundidade até 1,5 m, com solo de 1ª categoria em locais com alto nível de interferência. af 04/2016	93360
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m³ / potência: 111 hp), largura até 1,5 m, profundidade de 1,5 a 3,0 m, com solo de 1ª categoria em locais com alto nível de interferência. af 04/2016	93361
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m³ / potência: 111 hp), largura de 1,5 a 2,5 m, profundidade de 1,5 a 3,0 m, com solo de 1ª categoria em locais com alto nível de interferência. af 04/2016	93362
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m³ / potência: 111 hp), largura até 1,5 m, profundidade de 3,0 a 4,5 m com solo de 1ª categoria em locais com alto nível de interferência. af 04/2016	93363
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m³ / potência: 111 hp), largura até 1,5 m, profundidade de 3,0 a 4,5 m com solo de 1ª categoria em locais com alto nível de interferência. af 04/2016	93364
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m³ / potência: 111 hp), largura até 1,5 m, profundidade de 4,5 a 6,0 m, com solo de 1ª categoria em locais com alto nível de interferência. af 04/2016	93365

Tabela (cont.) – Tabela auxiliar de códigos do SINAPI.

Descrição	Código
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m ³ / potência: 111 hp), largura de 1,5 a 2,5 m, profundidade de 4,5 a 6,0 m, com solo de 1ª categoria em locais com alto nível de interferência. af 04/2016	93366
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m ³ / potência: 111 hp), largura de 1,5 a 2,5 m, profundidade até 1,5 m, com solo de 1ª categoria em locais com baixo nível de interferência. af 04/2016	93367
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m ³ / potência: 111 hp), largura até 1,5 m, profundidade de 1,5 a 3,0 m, com solo de 1ª categoria em locais com baixo nível de interferência. af 04/2016	93368
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m ³ / potência: 111 hp), largura de 1,5 a 2,5 m, profundidade de 1,5 a 3,0 m, com solo (sem substituição) de 1ª categoria em locais com baixo nível de interferência. af 04/2016	93369
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m ³ / potência: 111 hp), largura até 1,5 m, profundidade de 3,0 a 4,5 m, com solo de 1ª categoria em locais com baixo nível de interferência. af 04/2016	93370
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m ³ / potência: 111 hp), largura de 1,5 a 2,5 m, profundidade de 3,0 a 4,5 m, com solo (sem substituição) de 1ª categoria em locais com baixo nível de interferência. af 04/2016	93371
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m ³ / potência: 111 hp), largura até 1,5 m, profundidade de 4,5 a 6,0 m, com solo de 1ª categoria em locais com baixo nível de interferência. af 04/2016	93372
Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m ³ / potência: 111 hp), largura de 1,5 a 2,5 m, profundidade de 4,5 a 6,0 m, com solo (sem substituição) de 1ª categoria em locais com baixo nível de interferência. af 04/2016	93373
Reaterro mecanizado de vala com retroescavadeira (capacidade da caçamba da retro: 0,26 m ³ / potência: 88 hp), largura até 0,8 m, profundidade até 1,5 m, com solo (sem substituição) de 1ª categoria em locais com alto nível de interferência. af 04/2016	93374
Reaterro mecanizado de vala com retroescavadeira (capacidade da caçamba da retro: 0,26 m ³ / potência: 88 hp), largura de 0,8 a 1,5 m, profundidade até 1,5 m, com solo de 1ª categoria em locais com alto nível de interferência. af 04/2016	93375
Reaterro mecanizado de vala com retroescavadeira (capacidade da caçamba da retro: 0,26 m ³ / potência: 88 hp), largura até 0,8 m, profundidade de 1,5 a 3,0 m, com solo de 1ª categoria em locais com alto nível de interferência. af 04/2016	93376
Reaterro mecanizado de vala com retroescavadeira (capacidade da caçamba da retro: 0,26 m ³ / potência: 88 hp), largura de 0,8 a 1,5 m, profundidade de 1,5 a 3,0 m, com solo (sem substituição) de 1ª categoria em locais com alto nível de interferência. af 04/2016	93377

Tabela (cont.) – Tabela auxiliar de códigos do SINAPI.

Descrição	Código
Reaterro mecanizado de vala com retroescavadeira (capacidade da caçamba da retro: 0,26 m ³ / potência: 88 hp), largura até 0,8 m, profundidade até 1,5 m, com solo de 1ª categoria em locais com baixo nível de interferência. af 04/2016	93378
Reaterro mecanizado de vala com retroescavadeira (capacidade da caçamba da retro: 0,26 m ³ / potência: 88 hp), largura de 0,8 a 1,5 m, profundidade até 1,5 m, com solo de 1ª categoria em locais com baixo nível de interferência. af 04/2016	93379
Reaterro mecanizado de vala com retroescavadeira (capacidade da caçamba da retro: 0,26 m ³ / potência: 88 hp), largura até 0,8 m, profundidade de 1,5 a 3,0 m, com solo de 1ª categoria em locais com baixo nível de interferência. af 04/2016	93380
Reaterro mecanizado de vala com retroescavadeira (capacidade da caçamba da retro: 0,26 m ³ / potência: 88 hp), largura de 0,8 a 1,5 m, profundidade de 1,5 a 3,0 m, com solo (sem substituição) de 1ª categoria em locais com baixo nível de interferência. af 04/2016	93381

Restam, ainda, três itens que não fazem parte dos bancos de preços: dutos, *backfill* e bentonita (na verdade, uma lama bentonítica, pois trata-se de uma mistura de componentes).

No caso de dutos, eles foram objeto de consulta direta ao fornecedor que praticamente detém o monopólio de aplicações em linhas de transmissão subterrâneas no Brasil.

O preço do *backfill* pode ser calculado a partir de suas matérias primas, pó de pedra e brita 0, enquanto a lama bentonítica é composta por bentonita (um tipo de argila), cimento e areia. A

Tabela 16 mostra a busca desses itens nas tabelas de insumos do SINAPI e SICRO.

Observam-se, pelo menos para esses insumos, valores menores no SINAPI que no SICRO.

A esses valores é necessário incorporar atividades de preparação, controle, compactação ou bombeamento, conforme o caso, além de custos de transporte até o local da obra no caso de valores oriundos do SINAPI.

Essa composição de custos deverá ser objeto de definição na etapa de metodologia da consultoria.

Existem outros tipos de material de *backfill* menos utilizados até o momento no Brasil, mas muito comuns em outros países, para aplicação com betoneira, denominados de *fluidized backfill*. O preço desse tipo de material é em geral maior do que aquele do *backfill* produzido por compactação, mas existem ganhos de produtividade na aplicação e vantagens técnicas de menor resistividade térmica que podem justificar seu emprego.

Tabela 16 – Matérias primas para produção de *backfill* termicamente estável e bentonita.

	Preço referência: São Paulo – julho 2020	
	SICRO	SINAPI (Nota: valor sem frete)
Pó de pedra (R\$/m³)	66,379 Código: M1135	50,87 Código: 00004741
Brita 0 (R\$/m³)	92,7854 Código: M0005	68,04 Código: 00004720
Cimento (R\$/kg) (Nota: Portland CP II-32)	0,4240 Código: M0424	0,37 Código: 00001379
Areia fina (R\$/kg)	86,5121 Código: M0080	36,00 Código: 00000366
Bentonita (R\$/kg)	1,46 Código: M0140	Não encontrado

O que se observa é que existem dados disponíveis para o custeio de valas, porém eles não têm uma padronização no SICRO e SINAPI. Em termos de valores também há variações, algumas das quais devido a diferenças metodológicas (inclusão ou não do frete, por exemplo).

De um modo geral encontraram-se mais insumos no SICRO. Por outro lado, as tabelas do SINAPI têm mais informações permitindo um custo mais adequado a cada caso e são acessíveis em Excel. A escolha de uma ou ambas deve considerar tanto questões metodológicas como a facilidade de atualização futura da ferramenta de cálculo a ser desenvolvida.

5.2.5.2 MND

Nas comparações de custo entre o método com abertura de vala e MND publicadas normalmente é feita uma distinção entre custos diretos, indiretos e sociais, esses últimos representando uma vantagem para a técnica não destrutiva, devido ao menor impacto no tráfego.

Para os fins deste trabalho, contudo, interessa uma comparação de custos diretos, que possam ser parte do processo de custeio de uma linha de transmissão com cabos isolados.

A Tabela 17 mostra os principais valores obtidos na pesquisa de artigos técnicos.

Tabela 17 – Resumo de valores encontrados.

Referência	Custo (R\$/m)	Relação de custo	Observações
[25]	600 a 1800	1,48 a 3,45	Adutora. HDD
[25]	580 a 800	0,91 a 1,72	Saneamento. HDD
[26]	376	1,1064	HDD. Tubo 125 mm. Comparação com vala 0,5 m de largura
[27]	1751,97	2,19	HDD. 400 mm

Existe um livro sobre métodos não destrutivos [24] que tem muitos valores (visíveis no *Google Books*, por exemplo p. 179), mas todos em dólares (faixa de 350 a 700 US\$/m para midi-HDD) e com data desconhecida. Dessa forma, eles devem ser vistos com cautela.

O SEINFRA CE tem alguns valores de travessia por método não destrutivo. Para a faixa de diâmetros mais próxima daquela que se utilizaria em linhas de transmissão com cabos de alta tensão tem-se o código, descrição e valor apresentados a seguir:

- a) C4218 - Travessia método não destrutivo p/ tubo $300 < dn \leq 500$ (completo) R\$/m 3.558,13.

Segundo a descrição do SEINFRA trata-se de método por cravação, diferente do HDD. A faixa de diâmetros apresentada está no limite para o caso de instalação de três cabos por furo. Além disso, há o problema de ser o custo em estado específico da federação, sem similar em outros bancos de custos.

Tanto os valores do SEINFRA CE como aqueles do livro não levam em consideração que além do furo em si há um dispêndio com três dutos para a instalação de um circuito de cabos.

Observa-se uma dispersão elevada de valores na pesquisa realizada.

A partir dos valores obtidos e da constatação que o MND se aplica somente em travessias relativamente profundas em relação àquelas de uma vala, é razoável admitir que:

- a) Nos casos em que seja necessário realizar três ou seis furos separados, em geral por questões térmicas, deve-se ter um valor mais elevado para o MND que para vala;
- b) Quando for possível utilizar um furo maior (da ordem de 500 mm a 600 mm) para um circuito, a diferença de preço entre o MND e vala vai depender das dimensões específicas dessa última.

5.2.5.3 Caixas de emendas e abrigos de *link boxes*

No caso das caixas de emendas é necessário consultar o custo de construção de uma base de concreto e alvenaria no SINAPI e SICRO, uma vez que essa é a forma mais usual de construção no Brasil e não o emprego de pré-moldados. Os principais valores

pesquisados estão a seguir.

Tabela 18 – Custos de alvenaria e base de concreto.

Base	Código	Descrição	Preço (R\$/m ²)
SICRO	909620	Alvenaria de blocos de concreto 19 x 19 x 39 cm com espessura de 20 cm com argamassa traço 1:0,5:3,5 - areia comercial	83,42
SICRO	909621	Alvenaria de blocos de concreto 19 x 19 x 39 cm com espessura de 20 cm com argamassa traço 1:0,5:3,5 - areia extraída	82,37
SICRO	2009619	Alvenaria de blocos de concreto 19 x 19 x 39 cm com espessura de 20 cm - areia comercial	82,29
SICRO	2096180	Alvenaria de blocos de concreto 19 x 19 x 39 cm com espessura de 20 cm - areia extraída	80,97
SINAPI	Diversos códigos	Os códigos se referem a alvenaria com blocos cerâmicos com espessura de 14 cm	45,11 a 81,96
SICRO	4011520	Pavimento de concreto com equipamento de pequeno porte - areia e brita comerciais 360,47/m ³	18,02 (nota)
SINAPI	95241	Lastro de concreto magro, aplicado em pisos ou radiers, espessura de 5 cm.	24,23

Nota: calculado para espessura 5 cm para comparação com o SINAPI.

Para a obtenção dos custos finais, na etapa de metodologia devem ser definidas as dimensões das caixas e custos de finalização com cobertura ou preenchimento com compactação.

5.2.5.4 Túneis

No caso de túneis não se encontraram referências de custos ou preços realistas.

Uma aproximação poderia ser obtida por túneis *liner* (Tabela 19) mas esses valores necessitam de várias complementações, como revestimento, impermeabilização e sistemas de iluminação, segurança e ventilação para refletir uma obra real. Na etapa de metodologia deve ser decidido como abordar essas instalações (por exemplo, com coeficiente de segurança sobre os preços de *liner*).

Tabela 19 – Custos de escavação de túneis *liner*.

Base	Código	Descrição	Preço (R\$/m ³)
SICRO	4816000	Escavação manual de <i>tunnel liner</i> em material de 1ª categoria	458,11
SICRO	4816000	Escavação manual de <i>tunnel liner</i> em material de 2ª categoria	670,90
SICRO	4816002	Escavação de <i>tunnel liner</i> em material de 3ª categoria	1.109,10
SINAPI	-	Não encontrado	-

5.3 Pedidos de cotações orçamentárias a fabricantes de cabos e acessórios

A consulta direta aos fornecedores foi adotada como forma de obter custos para todos os itens componentes principais, conforme descrito precedentemente.

Na definição dos itens foi necessário, ao mesmo tempo, limitar o número total de itens consultados e obter uma abrangência adequada. Nesse sentido, as decisões foram

- a) Adotar condutores de alumínio para cabos de linhas de transmissão subterrâneas, mas, ao contrário, adotar cobre para aquelas subaquáticas;
- b) Usar as seções de referência dos cabos dos últimos leilões, resultando na seção mínima de 1200 mm² para os condutores de alumínio e estabelecer intervalos regulares entre as seções;
- c) Padronizar os níveis de curtos-circuitos a dois valores, 50 kA e 63 kA, com as durações conforme requisitos dos Procedimentos de Rede do ONS.

O modelo adotado está mostrado no anexo A.

Com o objetivo de obter mais respostas e garantir maior neutralidade aos fornecedores todas as consultas foram feitas em formato de ofício da EPE. Para tanto, foram indicados fornecedores e contatos.

Ademais, optou-se por não identificar o fornecedor pelo nome e sim por letras, uma vez que o objetivo não é realizar comparações individuais e sim ter referências de preços.

Os resultados obtidos estão mostrados a seguir.

Foi recebida apenas uma resposta com preços de cabos e duas com preços de acessórios e serviços de montagem.

Tabela 20 – Cotações de cabos.

Fornecedor	Tensão (kV)	Seção (mm²)	LME Al (€/t)	LME Cu (€/t)	Preço (€/m)
A	230	2000	1934,20	5821,00	174,05
A	345	1600	1934,20	5821,00	196,42
A	345	2500	1934,20	5821,00	236,27

Não foram recebidos *data sheets*, o que permitiria uma avaliação melhor das dimensões adotadas. Porém, de um modo geral, parecem preços razoáveis para uma cotação orçamentária (um pouco acima dos praticados em caso de aquisição).

As cotações originais do fornecedor A estão mostradas nas tabelas que se seguem.

Tabela 21 – Cotações de acessórios 230 kV.

Item	Acessório	Unidade	Preço Unit. (€)
1	<i>230kV outdoor termination for cable</i>	Pçs	13.042,00
2	<i>230kV sectionalizing joint for cable</i>	Pçs	12.242,00
3	<i>3-phase cross bonding link box, suitable up to 500 mm² concentric bonding lead</i>	Pçs	5.162,00
4	<i>3-phase earthing link box, suitable up to 400 mm² concentric bonding lead</i>	Pçs	4.040,00
5	<i>1-phase link box, suitable up to 500 mm² concentric bonding lead</i>	Pçs	1.979,00
6	<i>Steel supports for outdoor terminations</i>	Pçs	6.810,00
7	<i>345kV outdoor termination for cable, with 11230mm leakage path</i>	Pçs	19.149,00
8	<i>345kV GIS dry-type plug-in termination for cable</i>	Pçs	15.249,00
9	<i>345kV sectionalizing joint for cable</i>	Pçs	14.849,00
10	<i>3-phase cross bonding link box, suitable up to 500 mm² concentric bonding lead</i>	Pçs	4.880,00
11	<i>3-phase earthing link box, suitable up to 500 mm² concentric bonding lead</i>	Pçs	4.556,00
12	<i>1-phase link box, suitable up to 500 mm² concentric bonding lead</i>	Pçs	2.109,00
13	<i>Outdoor terminations support (set for 3 terminations)</i>	Conjunto	20.690,00
14	<i>GIS Termination support (set of 3 terminations)</i>	Conjunto	19.980,00

Tabela 22 – Cotações de serviços – 230 kV.

Item	Serviço	Unidade	Preço Unit. (€)
1	<i>Installation works including travel cost, rental of tools, accommodation and installation of: 1 pcs outdoor terminations, incl. Link boxes scaffolding, power supply and 1 local workforce to be provided free of charge</i>	Pçs	11.170,00
2	<i>Installation works including travel cost, rental of tools, accommodation and installation of: 1 pcs sectionalized joint, incl. Link boxes Installation tent, power supply and 1 local workforce to be provided free of charge</i>	Pçs	10.960,00
3	<i>Supervision for cable installation</i>	Homem dia	1.330,00
4	<i>Delivery of DTS / RTTR system equipment</i>	Lote	185.140,00
5	<i>Installation of DTS / RTTR system</i>	Lote	18.500,00

Tabela 23 – Cotações de serviços – 345 kV.

Item	Serviço	Unidade	Preço Unit. (€)
1	<i>Installation works including travel cost, rental of tools, accommodation and installation of: 1 pcs outdoor terminations, incl. Link boxes scaffolding, power supply and 2 local workforce to be provided free of charge</i>	Pçs	13.660,00
2	<i>Installation works including travel cost, rental of tools, accommodation and installation of: 1 pcs GIS terminations, incl. Link boxes scaffolding, power supply and 1 local workforce to be provided free of charge</i>	Pçs	12.800,00
3	<i>Installation works including travel cost, rental of tools, accommodation and installation of: 1 pcs sectionalized joint, incl. Link boxes Installation tent, power supply and 2 local workforce to be provided free of charge</i>	Pçs	13.510,00
4	<i>Supervision for cable installation</i>	Homem dia	1.330,00
5	<i>Delivery of DTS / RTTR system equipment</i>	Lote	187.700,00
6	<i>Installation of DTS / RTTR system</i>	Lote	18.500,00

Como os preços da segunda cotação de acessórios e serviços foram enviados em US\$, nas tabelas que se seguem os valores da primeira cotação são repetidos, porém, convertidos para dólares norte-americanos.

Tabela 24 – Cotações, em US\$, de acessórios 230 kV.

	A	B	Mediana
Terminal para uso externo	15.344,87	10.530,00	12.937,44
Base suporte para terminal para uso externo	8.012,47	N/D	8.012,47
Terminal para SF₆ (GIS)	N/D	7.950,00	7.950,00
Emenda seccionada	14.403,61	6.765,00	10.584,31
Link box trifásico aterramento	4.753,36	2.990,00	4.023,46
Link box trifásico SVL	6.073,47	3.760,00	4.833,79
Link box monofásico aterramento	2.328,44	1.260,00	1.832,46
Link box monofásico SVL	N/D	N/D	N/D
Cabo concêntrico	110,72	N/D	110,72
Cabo de aterramento	46,83	N/D	46,83
DTS	217.830,80	N/D	217.830,80

Tabela 25 – Cotações, em US\$, de acessórios 345 kV.

	A	B	Mediana
Terminal para uso externo	22.530,20	29.880,00	26.205,10
Base suporte para terminal para uso externo	8.114,44	N/D	8.114,44
Terminal para SF₆ (GIS)	17.941,57	18.280,00	18.110,78
Emenda seccionada	17.470,94	17.820,00	17.645,47
Link box trifásico aterramento	5.360,47	2.990,00	4.023,46
Link box trifásico SVL	5.741,68	3.760,00	4.833,79
Link box monofásico aterramento	2.481,39	1.260,00	1.832,46
Link box monofásico SVL	N/D	N/D	N/D
Cabo concêntrico	111,77	N/D	111,77
Cabo de aterramento	47,53	N/D	47,53
DTS	220.842,83	N/D	220.842,83

Observaram-se algumas diferenças grandes entre os fornecedores, por exemplo, emenda 230 kV muito mais barata para o fornecedor B que para o fornecedor A, enquanto para 345 kV ambos têm preços similares. Para terminais tem-se menores preços para o fornecedor B na tensão de 230 kV e o inverso ocorre para 345 kV. Os preços de *link boxes* são muito distintos também.

Esse tipo de dispersão é atenuado com o emprego da mediana (igual a média com duas respostas) mas para utilização no custeio das linhas pode ser preferível optar pelo valor de um único fornecedor com cotações mais consistentes, que parece ser o A pela menor variação de valores entre as classes de tensão.

No caso de acessórios para a tensão de 500 kV somente o fornecedor B respondeu, com os valores da

Tabela 26

.

Tabela 26 – Cotações, em US\$, de acessórios 500 kV.

	B
Terminal para uso externo	35.600,00
Base suporte para terminal para uso externo	N/D
Terminal para SF₆ (GIS)	18.340,00
Emenda seccionada	22.890,00
Link box trifásico aterramento	2.990,00
Link box trifásico SVL	3.760,00
Link box monofásico aterramento	1.260,00
Link box monofásico SVL	N/D
Cabo concêntrico	N/D
Cabo de aterramento	N/D
DTS	N/D

Da mesma forma, para os serviços de montagem tem-se os valores das tabelas a seguir.

Tabela 27 – Cotações, em US\$, de serviços de montagem de cabos e acessórios 230 kV.

	A	B	Mediana
Terminal para uso externo	13.142,33	5.995,00	9.568,66
Terminal para SF₆ (GIS)	N/D	5.995,00	5.995,00
Emenda seccionada	12.895,24	5.995,00	9.445,12
Supervisão lançamento dos cabos	1,564,84	N/D	1,564,84

Tabela 28 – Cotações, em US\$, de serviços de montagem de cabos e acessórios 345 kV.

	A	B	Mediana
Terminal para uso externo	16.071,99	8.500,00	12.286,00
Terminal para SF₆ (GIS)	15.060,14	8.500,00	11.780,07
Emenda seccionada	15.895,51	8.500,00	12.197,75
Supervisão lançamento dos cabos	1,564,84	N/D	1,564,84

Tabela 29 – Cotações, em US\$, de serviços de montagem de cabos e acessórios 500 kV.

	B
Terminal para uso externo	8.500,00
Terminal para SF₆ (GIS)	8.500,00
Emenda seccionada	8.500,00
Supervisão lançamento dos cabos	N/D

Os resultados referentes às montagens e acessórios são bastante úteis para a composição de custos das linhas de transmissão.

5.3.1 Códigos NCM

Para se considerarem os impostos de importação devem ser utilizados os seguintes códigos NCM:

- a) Cabos de alta tensão: 8544.60.00
- b) Acessórios (exceto DTS): 8535.90.00
- c) DTS: 9027.50.90

5.4 Consulta aos dados disponíveis na ANEEL

Em função da necessidade de estabelecer os valores de investimentos para composição das RAP dos leilões de transmissão, a ANEEL dispõe de seus mecanismos para definição de investimentos, por exemplo, por meio de consultas prévias ao mercado produtor, com o intuito de obter cotações.

Dessa forma, a partir da intermediação da EPE, a ANEEL compartilhou algumas referências de preços de linhas com cabos isolados.

As respostas recebidas se referem aos anos de 2018 a 2020 para linhas de transmissão subterrâneas de 230 kV e 345 kV, e submarinas de 230 kV, e foram indicadas de A à M, apresentadas pelas Tabelas 30 e 31.

Os valores foram convertidos para dólares norte-americanos, admitindo-se taxas de câmbio do ano de implantação da linha de transmissão. Faltam informações para colocar os valores na mesma base de preço dos metais.

Nas linhas subterrâneas de 230 kV observa-se desvio dos custos para cabos com seção de 1600 mm² em relação aos demais. Esse mesmo cabo teve preço estimado de US\$ 297/m a partir da resposta A (mais que o dobro do valor negociado, obtido no item 5.5 para cabo de mesma seção, classe de tensão e diferença somente em nível de curto-circuito).

Já para as linhas de 345 kV houve maior concordância entre os valores obtidos.

Como não foram recebidos *data sheets*, não é possível uma melhor avaliação.

Para linhas submarinas houve apenas duas respostas, ambas para mesma linha de 230 kV. Entretanto, há diferença de cerca de 40 % entre elas (em parte explicável pelo emprego de condutor de cobre em uma e de alumínio em outra, pois, mesmo com seções diferentes, a incidência do cobre é maior devido ao seu preço e densidade).

Além dos custos totais de investimentos, duas respostas continham os custos de alguns acessórios, apresentados pela Tabela 32. Dentre eles, apenas dois acessórios são comparáveis entre si, e ambos apresentam valores próximos.

Os preços totais são divididos em materiais, serviços e obras civis. A avaliação

estatística desses dados permite análise quanto sua distribuição em diferentes projetos. Entretanto, nem todas as respostas possuíam os custos para obras civis. A Tabela 33 e a Tabela 34 apresentam estas avaliações.

Quando não são considerados os custos de obra civil, a distribuição de custos em materiais e serviços está muito próxima, sendo respectivamente cerca de 80 % e 20 %. Há apenas dois casos em que a distribuição ficou em 55 % e 45 %.

Quando são acrescentadas as obras civis, esta contempla entre 15 % e 27 % do orçamento total, enquanto materiais ficam com 57 % a 75 %, e serviços com cerca de 15 %.

Tabela 30 – Resultados do levantamento junto a ANEEL – linhas de transmissão subterrâneas.

Resposta	Tensão (kV)	Seção (mm²)	Total (US\$/km)	Média (US\$/km)	Mediana (US\$/km)	Mínimo (US\$/km)	Máximo (US\$/km)
L	230	1200	2.016.213,72	1.983.085,74	1.983.085,74	1.949.957,75	2.016.213,72
M			1.949.957,75				
H		1400	1.609.488,14	1.609.488,14	1.609.488,14	1.609.488,14	
A		1600	5.031.967,55	4.363.058,16	4.363.058,16	3.694.148,76	5.031.967,55
B			3.694.148,76				
C		2000	3.636.711,63	2.603.941,81	2.342.876,00	2.093.303,60	3.636.711,63
D			2.561.526,83				
E			2.093.303,60				
F			2.124.225,17				
J		345	1600	3.554.037,90	3.203.868,44	3.338.186,63	2.636.480,99
J	3.564.153,11						
J	3.547.643,86						
K	3.128.729,40						
K	2.636.480,99						
K	2.792.165,36						
J	2500		3.874.976,17	3.818.158,18	3.818.158,18	3.761.340,18	3.874.976,17
K			3.761.340,18				

Nota: com exceção da resposta H, todas as demais se referem a linhas de transmissão com circuito duplo.

Tabela 31 – Resultados do levantamento junto a ANEEL – linhas de transmissão submarinas.

Respostas	Tensão (kV)	Seção (mm²)	Total (US\$/km)	Média (US\$/km)	Mediana (US\$/km)	Mínimo (US\$/km)	Máximo (US\$/km)
A	230	1600	10.838.078,80	9.170.699,56	9.170.699,56	7.503.320,31	10.838.078,80
B			7.503.320,31				

Tabela 32 – Resultado do levantamento da ANEEL – acessórios 230 kV

Item	Fornecedor		Mediana
	H	I	
Terminal para uso externo (R\$)	94.502,56	98.456,23	96.479,40
Terminal GIS (R\$)	104.261,98	92.200,35	98.231,17
Caixa de desconexão LBM 3P (R\$)	3.854,47	-	3.854,47
Caixa de desconexão LBM 3/45X (R\$)	10.030,57	-	10.030,57

Tabela 33 – Respostas recebidas em percentuais, sem obras civis.

Respostas	Tensão (kV)	Seção (mm²)	Materiais	Serviços	Total
L	230 kV	1200	79,55%	20,45%	100,00%
M			83,54%	16,46%	100,00%
G		1400	82,16%	17,84%	100,00%
H			56,48%	43,52%	100,00%
A		1600	53,55%	46,45%	100,00%
C		2000	85,71%	14,29%	100,00%
D			81,98%	18,02%	100,00%
E			83,60%	16,40%	100,00%
F			82,49%	17,51%	100,00%
J	345 kV	1600	79,39%	20,61%	100,00%
			79,22%	20,78%	100,00%
			79,05%	20,95%	100,00%
K			81,25%	18,75%	100,00%
			80,26%	19,74%	100,00%
			81,71%	18,29%	100,00%
J		2500	80,86%	19,14%	100,00%
K			88,52%	11,48%	100,00%

Tabela 34 – Respostas recebidas em percentuais.

Respostas	Tensão (kV)	Seção (mm²)	Materiais	Serviços	Obras Cíveis	Total
M	230 kV	1200	63,19%	12,45%	24,36%	100,00%
G		1400	60,90%	13,22%	25,88%	100,00%
E		2000	60,96%	11,96%	27,08%	100,00%
J	345 kV	1600	57,75%	15,00%	27,25%	100,00%
			57,51%	15,08%	27,40%	100,00%
			57,25%	15,18%	27,57%	100,00%
K			66,67%	15,38%	17,95%	100,00%
			65,24%	16,04%	18,72%	100,00%
			66,51%	14,88%	18,60%	100,00%
J		2500	59,99%	14,20%	25,81%	100,00%
K			75,93%	9,85%	14,22%	100,00%

Comparando-se as cotações obtidas pela ANEEL com aquelas de referências internacionais observam-se valores mais elevados para 230 kV e mais alinhados para a tensão de 345 kV (Figura 17). Apesar das incertezas na comparação, observa-se que os valores internacionais são influenciados por cabos com condutores de cobre, enquanto as cotações recebidas pela ANEEL são para condutores de alumínio, o que torna a comparação ainda mais desfavorável.

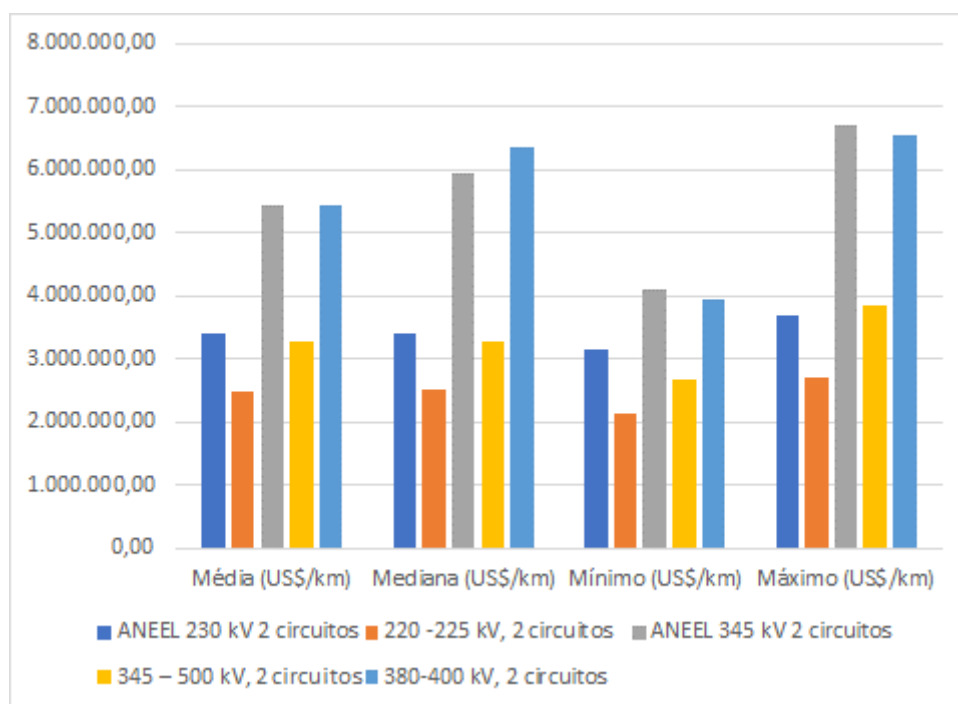


Figura 17 – Comparação de resultados da ANEEL e internacionais.

No caso de acessórios foi possível comparar alguns valores referentes à tensão de 230 kV, conforme a figura seguinte (as medianas se referem aos valores calculados no item 5.5). Os preços dos terminais estão um pouco maiores e das caixas muito

menores, o que pode ser indicativo de que valores reportados em reais são, na verdade em dólares.

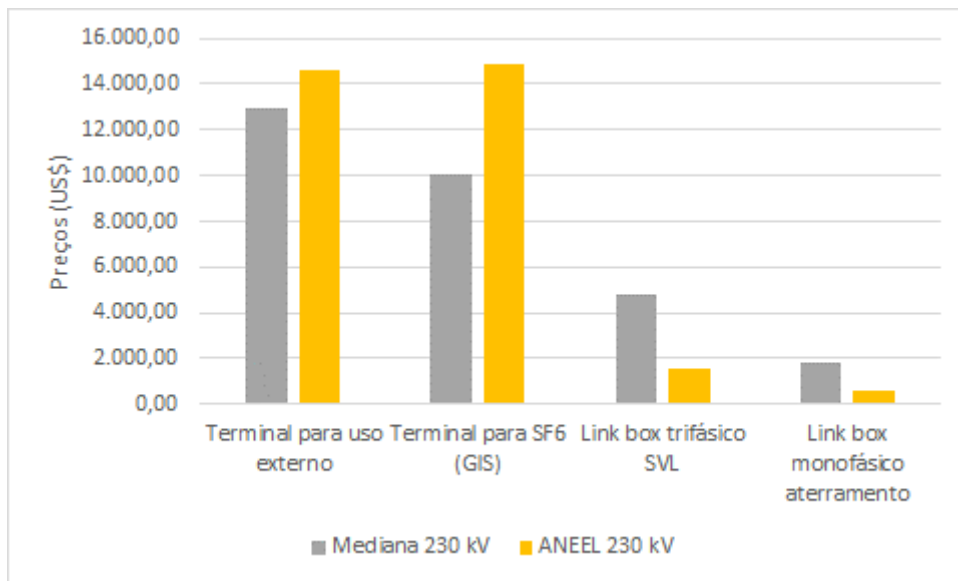


Figura 18 – Comparação de preços de acessórios 230 kV (ANEEL e cotações).

5.5 Consulta a transmissoras e distribuidoras de energia elétrica

Em casos específicos, foram selecionadas transmissoras com obras concluídas recentes que pudessem contribuir com as análises. A exceção foi o caso de linha submarina (Biguaçu – Desterro) que já tem 17 anos, mas é a única da Rede Básica em operação.

Apesar de distribuidoras não serem o objeto do trabalho, como existe uma quantidade razoável de linhas de distribuição urbanas 138 kV (ou 138 kV que operam em 88 kV no caso de São Paulo) que podem representar custos de instalação e obras civis em centros urbanos congestionados, elas também foram objeto de consultas (modelo no anexo B).

Os resultados principais das distribuidoras estão resumidos nas duas tabelas que se seguem.

Como as distribuidoras forneceram valores em moedas diferentes (R\$ e US\$), para tentar melhorar a comparação, foi feita a conversão de todos os valores para dólares, admitindo-se taxas de câmbio do ano de implantação da linha de transmissão e carga tributária esperada, quando aplicável, para as cifras em reais.

Observa-se uma boa concordância entre os preços do cabo 2000 mm² pagos por ambas as distribuidoras e uma grande diferença no caso do cabo 1200 mm² (o cabo 1400 mm² também tem preço muito elevado relativamente aos demais).

Os cabos 138 kV dessas linhas de transmissão subterrâneas têm menor espessura de isolamento e blindagens metálicas de menor seção (níveis de curtos-circuitos menores) e devem ter preços bem inferiores àqueles de cabos 230 kV de mesma

seção (mais ainda para tensões maiores). Sob essa ótica, novamente, os preços dos 2000 mm² parecem coerentes e dos demais não.

Com relação aos custos totais, há uma certa dispersão, mas isso pode se dever às características dos locais.

Os preços de obras civis mostram uma boa concordância entre os valores das distribuidoras, quando desdobrados entre linhas de transmissão 1 circuito e de 2 circuitos. Observa-se um certo ganho de escala ao se construir linhas de transmissão com circuito duplo, o que é esperado.

Importante considerar os valores declarados de preços de dutos de 7 pol. pela distribuidora B. Eles variam de US\$ 16,56/m a US\$ 23,16/m, isto é, 6,7 % a 9,4 % do preço médio do cabo 2000 mm² Al 138 kV.

No que tange aos acessórios, há alguns valores próximos entre as duas distribuidoras e diferenças grandes, como menor preço para os acessórios de cabos maiores. Isso pode se dever aos critérios de correção de preços adotados.

O preço mediano do DTS parece consistente e aplicável a linhas de transmissão de qualquer tensão.

Finalmente, esses acessórios (exceto o DTS) têm preços menores (menor isolador, menor corrente de curto-circuito) que aqueles para tensões de 230 kV e acima e são uma referência.

Tabela 35 - Resultados (em US\$) do levantamento junto a distribuidoras – características gerais e preços dos cabos de linhas 138(145) kV.

Acessório	Distribuidora A		Distribuidora B				Mínimo	1° quartil	Mediana	3° quartil	Máximo
	LT1	LT2	LT1	LT2	LT3	LT4					
Condutor (mm²)	2.000	1.200	1.600	1.400	1.200	2.000	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Material condutor	Al	Al	Al	Al	Al	Al	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Preço (US\$/m)	125,81	71,26	85,91	379,14	327,79	119,94	71,26	94,42	122,87	277,30	379,14
Curto (kA)	21,0	21,0	12,3	18,6	15,0	15,6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Extensão (m)	2.908,0	2.900,0	3.400,0	2.300,0	11.000,0	4.490,0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
No. circuitos	2	1	2	1	1	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Custo total (US\$/km/circ.)	1.335.492,4	1.487.310	1.600.985,22	4.325.791,86	3.099.547,51	1.572.538,86	1.335.492,44	1.508.617,28	1.586.762,04	2.724.906,94	4.325.791,86
Custo eletromec.	774.528,12	353.271,14	N/D	N/D	N/D	N/D	353.271,14	458.585,39	563.899,63	669.213,88	774.528,12
Custo obras civis	522.066,47	769.276,88	665.024,63	1.239.819,0	1.239.819,00	440.414,51	440.414,51	557.806,01	717.150,75	1.122.183,5	1.239.819,0
Diferença	38.897,84	364.762,06	935.960,59	3.085.972,9	1.859.728,5	1.132.124,5	38.897,84	507.561,70	1.034.042,5	1.677.827,5	3.085.972,9

Tabela 36 – Resultados (em US\$) do levantamento junto a distribuidoras para acessórios de linhas 138(145) kV.

Acessório	Distribuidora A		Distribuidora B				Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo
	LT1	LT2	LT1	LT2	LT3	LT4					
Terminal para uso externo	12.616,18	7.977,96	5.861,63	7.522,05	7.522,05	5.780,18	5.780,18	6.276,74	7.522,05	7.863,98	12.616,18
Terminal para blindada SF ₆	11.469,26	N/D	N/D	7.308,22	7.308,22	N/D	7.308,22	7.308,22	7.308,22	9.388,74	11.469,26
Emenda seccionada	11.469,26	6.226,47	6.961,50	9.373,12	9.373,12	25.132,73	6.226,47	7.564,41	9.373,12	10.945,22	25.132,73
Link box de aterramento multifásico	2.293,85	5.379,56	15.182,23	N/D	N/D	3.297,75	2.293,85	3.046,78	4.338,65	7.830,22	15.182,23
Link box de aterramento monofásico	1.032,23	743,68	627,06	N/D	N/D	581,96	581,96	615,78	685,37	815,82	1.032,23
Link box de desconexão com SVL	8.028,48	6.848,74	7.266,52	N/D	N/D	4.849,63	4.849,63	6.348,96	7.057,63	7.457,01	8.028,48
Cabo concêntrico	56,42	80,80	106,79	345,40	327,79	63,63	56,42	67,92	93,79	272,54	345,40
Cabo ótico	22,94	1,72	3,06	3,20	3,20	2,03	1,72	2,29	3,13	3,20	22,94
DTS	N/D	321.802,19	265.652,06	N/D	369.022,80	162.692,65	162.692,65	239.912,21	293.727,13	333.607,35	369.022,80

Os resultados principais das transmissoras estão resumidos nas três tabelas que se seguem.

Como as transmissoras forneceram valores em moedas diferentes (R\$ e US\$), para tentar melhorar a comparação, foi feita a conversão de todos os valores para dólares, admitindo-se taxas de câmbio do ano de implantação da linha de transmissão e carga tributária esperada, quando aplicável, para as cifras em reais.

Para linhas subterrâneas observa-se grande diferença entre os custos totais por quilometro das duas transmissoras, sendo a diferença mais de 50 % (em parte atribuível as seções diferentes de condutor). Entretanto, quando se comparam os custos de obras civis, há concordância nos valores.

Para linhas subaquáticas, a comparação não é possível, uma vez que a resposta da Empresa B é inconsistente apresentando valor total de investimento menor que o valor das obras civis e instalação (pode ser inversão de valores ou erro).

No que tange aos acessórios, há grandes diferenças nos valores apresentados pelas duas transmissoras, com equipamentos que chegam ao dobro do preço. Isso pode se dever aos critérios de correção de preços adotados.

Tabela 37 – Resultados (em US\$) do levantamento junto a transmissoras para cabos de linhas 230 kV.

Item	Transmissora			Mediana
	A	B	C	
Condutor (mm ²)	1200	1600	1200	N/A
Material condutor	Al	Al	Al	N/A
Preço (US\$/m)	234,55	139,00	N/D	152,71
Curto (kA)	40	40	40	N/A
Extensão (km)	7,9	3,97	13,7	N/A
No. circuitos	2	2	1 (nota)	N/A
Custo total (US\$/km)	3.345.932,23	7.682.870,82	1.247.813	3.345.932,23
Custo obras civis (US\$/km)	776.988,47	1.175.313,44	386.823	1.175.313,44

Nota: um circuito com fase reserva (4 cabos).

Tabela 38 - Resultados (em US\$) do levantamento junto a transmissoras para cabos de linhas subaquáticas 230 kV.

Item	Transmissora	
	B	D
Condutor (mm ²)	1200	500
Material condutor	Al	Cu
Preço (US\$/m)	256,00	N/D
Curto (kA)	40	101
Extensão (km)	13,01	4,2
No. circuitos	2	1
Custo total (US\$/km)	642.476,46	7.124.615,17
Custo obras civis (US\$)	4.716.372,46	N/D

Também foi recebido custo de uma linha 69 kV parcialmente subaquática, no valor de R\$ 12.571.800,00 (referente a 2009, logo cerca de US\$ 6,3 milhões). Porém, esse montante se refere ao custo total, incluindo trecho subterrâneo e subaquático, além de serviços e obras civis. Portanto, sua utilização como referência de custo de instalação em condições mais favoráveis (tratava-se de uma lagoa) ficou inviável.

Tabela 39 - Resultados (em US\$) do levantamento junto a transmissoras para acessórios de linhas 230 kV.

Acessório	Transmissora			Mediana
	A	B	C	
Terminal para uso externo	17.626,14	9.560,00	N/D	13.593,07
Terminal para blindagem SF ₆	17.927,45	11.050,00	N/D	14.488,72
Emenda seccionada	12.303,15	9.100,00	N/D	10.701,58
Emenda reta	12.303,15	N/D	N/D	12.303,15
<i>Link box de cross bonding</i>	546,06	3.900,00	N/D	2.223,03
<i>Link box de aterramento monofásico sem SVL</i>	1.365,15	2.337,00	N/D	1.851,07
<i>Link box de aterramento trifásico sem SVL</i>	9.829,07 (nota)	2.990,00	N/D	6.409,54
Cabo concêntrico	N/D	91,00	N/D	91,00
Cabo ótico	2,70	6,54	N/D	4,62
DTS com <i>software</i> de monitoramento térmico	624.142,59	372.060,00	603.460	603.460

Nota: resultado como recebido; provavelmente há engano ou inversão de valores.

5.6 Custos de serviços

5.6.1 Preço do projeto

O preço do projeto trata-se de outro valor muito variável, em função da complexidade da linha e outros aspectos.

O Sinaenco [42] tem uma sugestão de custo em forma de gráfico (Figura 19), para projetos de complexidade normal, que pode facilmente ser convertida em uma equação, mostrada a seguir.

$$P_{projeto} = \left[-0,0060709 \ln \left(\frac{C_{obra}}{tx} \right) + \frac{15,9964}{100} \right] C_{obra} \quad (7)$$

Sendo:

$P_{projeto}$: preço do projeto (R\$)

C_{obra} : custo das obras civis (R\$)

tx : taxa de câmbio (US\$/R\$)

VALOR ESTIMATIVO DO PROJETO EM FUNÇÃO DO VALOR DA OBRA
Projetos de complexidade normal

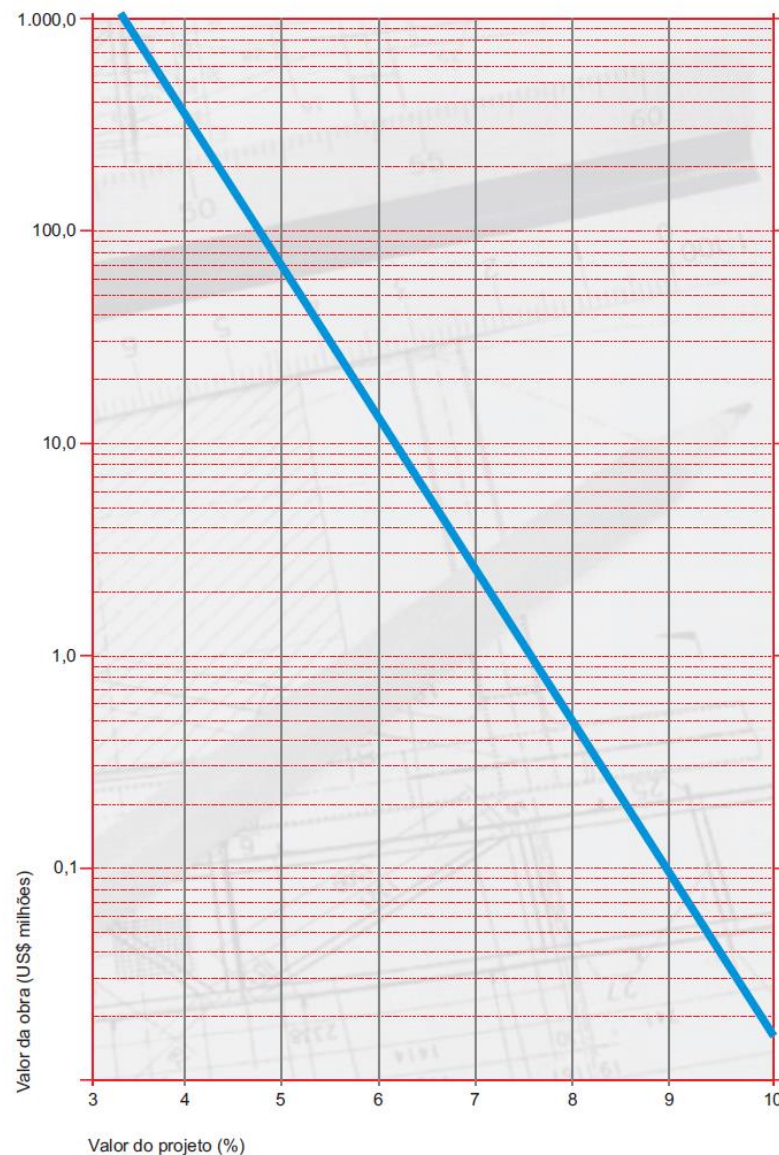


Figura 19 – Preço do projeto conforme Sinaenco.

Observa-se que a definição de “complexidade normal”, adotada pelo Sinaenco é subjetiva. Além disso, embora a fórmula tenha sido desenvolvida considerando-se obras civis de diversos tipos, ela não contempla estudos e cálculos específicos necessários para as linhas de transmissão subterrâneas ou subaquáticas. No entanto, é um indicativo de valor de aplicação simples.

Colocando em forma de gráfico obtém-se a Figura 20.

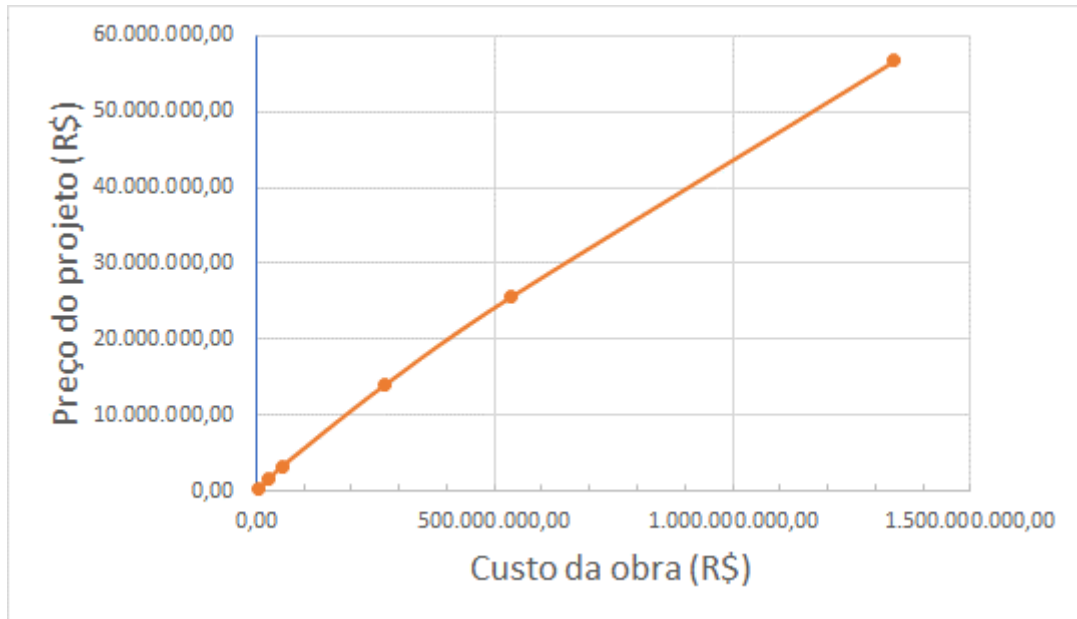


Figura 20 – Preço do projeto conforme fórmula (6) adotando US\$/R\$ = 5,36.

Os valores acima parecem elevados apenas para o projeto, mas se forem incluídos itens adicionais, como todas as sondagens geotécnicas e obtenção de licenças podem se aproximar da realidade.

Outra forma de definir esse preço seria detalhar uma equipe e serviços contratados e fazer uma estimativa.

5.6.2 Licenças

A dificuldade de licenciamento e estudos ambientais é variável conforme o local de implantação.

Para linhas subterrâneas localizadas em centros urbanos as dificuldades estão mais relacionadas a tráfego e alguma reposição de arborização e cobertura vegetal.

No caso de linhas submarinas podem existir problemas maiores relacionados à flora e fauna marítima (idem para rios e lagos).

Não foram encontradas referências de preços, mesmo percentuais aplicáveis.

5.6.3 Serviços de instalação

Existem serviços de montagem e supervisão nesta categoria, que foram objeto de consulta aos fornecedores, tendo sido recebida uma resposta apenas.

5.6.4 Seguros

Considerando-se que os valores de BDI contemplam seguros, eles não deverão ser considerados separadamente.

6. Conclusões

Neste relatório foi feita a definição dos dados mais relevantes que devem ser pesquisados para a composição de custos das linhas de transmissão subterrâneas ou subaquáticas.

Em relação à pesquisa de artigos e relatórios técnicos, de um modo geral, os resultados mais comuns referem-se aos custos totais das linhas e são incompletos em termos de desdobramentos de valores para cabos, acessórios, obras civis etc.

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 de avaliação.

A despeito dessas limitações essas informações podem ser úteis como balizamento da ordem de grandeza dos valores totais que serão calculados nas etapas posteriores da consultoria, com uma abordagem mais pormenorizada e analítica, desde que se utilizem as condições similares.

Para obras civis, inicialmente realizou-se busca nos sites das secretarias de infraestrutura municipais e estaduais, que retornou poucas informações, considerando a necessidade de custos regionais em todo o Brasil. Por meio da pesquisa em base de dados nacionais, especialmente SICRO e SINAPI, foi possível obter as referências de custos das principais atividades necessárias para o custeio das obras civis apresentadas nesse relatório.

A ferramenta TCPOweb da PINI apresenta como vantagens a disponibilização das bases do SICRO e do SINAPI em um mesmo ambiente e em formatos adequados para integração com o sistema a ser desenvolvido no projeto. Entretanto, a utilização do TCPOweb implicaria em custo mensal referente a assinatura da ferramenta, além de riscos de descontinuação do serviço e atualizações que gerem manutenções não previstas do *software*.

As consultas realizadas junto a fabricantes, concessionárias e ANEEL tiveram boa taxa de resposta das transmissoras e distribuidoras (100 %). Contudo, as respostas evidenciaram o desafio de colocá-las em uma mesma base comparativa, apresentaram algumas inconsistências e dificuldade de interpretação pela ausência de alguns dados.

Por outro lado, apenas um fabricante retornou o formulário com preços de cabos e dois com preços de acessórios e serviços, o que limitou a realização de estudo estatístico desses valores.

A ANEEL forneceu informações de cotações recebidas para linhas de transmissão subterrâneas de 230 kV e 345 kV que são superiores aos valores internacionais levantados.

Em relação às concessionárias, foram obtidas informações de três distribuidoras e

quatro transmissoras de energia. As informações compreendem uma linha 69 kV subaquática, linhas de 138 kV subterrâneas e linhas de transmissão de 230 kV, tanto subterrâneas quanto subaquáticas.

A despeito dos desafios relatados anteriormente, foi possível extrair alguns dados importantes para a etapa II, de desenvolvimento de metodologia para o custeio de linhas de transmissão:

- a) custos dos principais itens de obras civis
- b) referências de valores, mesmo que em percentual, para vários serviços
- c) preços de cabos e acessórios
- d) preços de serviços de montagem de acessórios

Para as linhas de transmissão subterrâneas existem mais dados disponíveis e, para a maioria dos itens, foi possível coletar informações suficientes para subsidiar o estabelecimento de uma metodologia de cálculo analítica.

No que tange às linhas de transmissão subaquáticas há uma maior carência de dados. Dessa forma, na etapa II deve ser proposto um modelo com menos detalhes que aquele do caso subterrâneo.

7. Referências bibliográficas

- [1]. IEC 62067, **Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 kV ($U_m = 170$ kV) up to 500 kV ($U_m = 550$ kV) – Test methods and requirements**, 2nd edition, 2011.
- [2]. AGUIAR, B. F. et al. **Roadmap eólica offshore Brasil**. Empresa de Pesquisa Energética, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2021.
- [3]. -, **Contratação de serviços técnicos especializados para produzir estimativa de custos de linhas de transmissão subterrâneas e/ou subaquáticas (LTS)** - Empresa de Pesquisa Energética – EPE, Diretoria de Gestão Corporativa, Edital Licitação EPE Nº LI.EPE.002/2020
- [4]. CIGRÉ. International Council on Large Electric Systems. **Trenchless Technologies**. CIGRÉ Technical Brochure No 770, 2019.
- [5]. ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Declaração de Utilidade Pública – Transmissão**. 2016. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/declaracao-de-utilidade-publica-transmissao>>. Acesso em: 28 jan. 2021.
- [6]. ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 740, de 11 de outubro de 2016**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/24357459/do1-2016-10-20-resolucao-normativa-n-740-de-11-de-outubro-de-2016-24357431>. Acesso em: 28 jan. 2021.
- [7]. -, **Puget Sound Energy. Eastside 230 kV Project - Underground Feasibility Study**. 2014. Disponível em: <<https://energizeeastside.com/documents>>. Acesso em: 07 jan. 2021.
- [8]. LI, Mingzhen et al. **Feasibility study on lengthening the high-voltage cable section and reducing the number of cable joints via alternative bonding methods**. High Voltage, v. 4, n. 4, p. 292-299, 2019.
- [9]. TEP, Tucson Electric Power. **138 Kilovolt Transmission Line Underground Cost Analysis**. 2020. Disponível em: <<https://www.tep.com/wp-content/uploads/TEP-138-UG-Report-Rev.-2.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2021.
- [10]. NEI Electric Power Engineering, Inc. **Underground Transmission Cost/Feasibility Study**. 2018. Disponível em: <https://www.heberpower.com/wp-content/uploads/2019/09/Heber_Underground_Transmission_Cost_Study.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2021.
- [11]. TEEGALA, Srinivasa Kishore; SINGAL, Sunil Kumar. **Economic analysis of power transmission lines using interval mathematics**. Journal of Electrical

Engineering and Technology, v. 10, n. 4, p. 1471-1479, 2015.

[12]. KHANDELWAL, Preet; PACHORI, Arun. **Variation of life cycle cost of overhead transmission line and underground transmission cable.** International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, v. 2, p. 55-64, 2013.

[13]. 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.

[14]. ECI, **Electrical Consultants, Inc. Greater Boston Solutions Study: Cost Reviews.** 2014. Disponível em: <https://www.iso-ne.com/static-assets/documents/2014/12/a4_eci_greater_boston_solution_study_cost_review_redacted.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2021.

[15]. - **Assessment of Technical Alternatives to Strengthen the 400 kV Transmission Grid. Project No 70051622.** 2018. Disponível em: <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/EI/70051622-doc-0001_-_assessment_of_technical_alternatives_to_strengthen_the_400kv_transmission_grid_final.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2021.

[16]. **Power Engineers, Inc. 345 kV Underground Report.** Project No 117910. 2010.

[17]. Ecofys Germany GmbH. **Study on the Comparative Merits of Overhead Electricity Transmission Lines Versus Underground Cables.** 2008.

[18]. EirGrid Group. Cavan-Tyrone and Meath-Cavan **400kV Transmission Circuits - Comparison of High Voltage Transmission Options: alternating current overhead and underground, and direct current underground.** 2009. Disponível em: <<http://www.eirgridgroup.com/site-files/library/EirGrid/09.02.12.Comparison%20of%20high%20voltage%20transmission%20options.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2021.

[19]. Landsnet. High Voltage Underground Cables in Iceland - **Research project concerning options and cost for 132 kV and 220 kV underground cables for different system and ground conditions general discussion and study of three different cases.** 2015. Disponível em: <<https://rafladan.is/handle/10802/18442>>. Acesso em: 07 jan. 2021.

[20]. CAI, Commonwealth Associates, Inc. **Feasibility of Undergrounding a Portion of the Miguel-Mission 230 kV #2 Transmission Line Project.** 2004. Disponível em: <https://www.cpuc.ca.gov/environment/info/aspen/miguel_mission/deir/text/Appx%204%20pt1.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2021.

- [21]. Alberta Energy. **Assessment and Analysis of the State-Of-the-Art Electric Transmission Systems with Specific Focus on High-Voltage Direct Current (HVDC), Underground or Other New or Developing Technologies.** 2009. Disponível em: <<https://open.alberta.ca/publications/4765624>>. Acesso em: 07 jan. 2021.
- [22]. Joint Legislative Audit and Review Commission. **Evaluation of Underground Electric Transmission Lines in Virginia.** 2009 Disponível em: <<http://jlarc.virginia.gov/pdfs/reports/Rpt343.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2021.
- [23]. Connecticut Siting Council. **Life cycle 2007: Connecticut Siting Council Investigation Into the Life-Cycle Cost of Electric Transmission Lines.** 2007. Disponível em: <<https://www.loc.gov/item/2007467633/>>. Acesso em: 07 jan. 2021.
- [24]. NAJAFI, Mohammad. **Tecnologia não destrutiva: planejamento, equipamentos e métodos.** Bookman Editora, 2016.
- [25]. SANZ, Milagros Alvarez. **Comparativo de custos diretos entre perfuração direcional horizontal e abertura de vala para instalação de dutos.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- [26]. CORAL, Danielle De Bona. **Comparativo entre perfuração direcional horizontal (MND) x método destrutivo (vala), para implantação de rede de gás natural urbana: estudo de caso.** 2016.
- [27]. DA SILVA RODRIGUES, Patricio; MOTTA, Sandra Lacouth; OBRACZKA, Marcelo. **Comparação de custos de utilização de métodos não destrutivos – MND e de abertura de vala em obras lineares de saneamento.** Congresso ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental). FENASAN, 2017.
- [28]. 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>>. Acesso em: 10 jan. 2021.
- [29]. SCHELL, Kristen R.; CLARO, João; GUIKEMA, Seth D. **Probabilistic cost prediction for submarine power cable projects.** International Journal of Electrical Power & Energy Systems, v. 90, p. 1-9, 2017.
- [30]. YÜCE, Gülnazi. **Submarine cable projects.** First South East European Regional CIGRÉ Conference. Portoroz, Slovenia. 7-8 June 2016.
- [31]. FLORES, D., AFZAL, A. **345 kV Submarine Cable - Preliminary Cost Estimate.** 2015.
- [32]. FRIDAY, A. LUCKETT, Martin. **Economic Analysis of Large Submarine Cables.** 2016.

- [33]. Power Engineers Inc. **Eastside 230 kV Project - Lake Washington Submarine Cable Alternative Feasibility Study – Final. 2015.**
- [34]. AXELSSON, T. **Submarine cable laying and installation services for the offshore alternative energy industry.** 3U Technologies. Disponível em: <<http://www.3utech.com/sites/3utech.com/files/Energy%20Ocean>>. 2008. Acesso em: 10 jan. 2021.
- [35]. LEE, W. J. et al. **Projeto de linha de transmissão submarina Biguaçu-Desterro em 230 kV.** XIII ERIAC. Argentina–March2009, 2009. (apresentação).
- [36]. LEE, W. J. et al. **Projeto de linha de transmissão submarina Biguaçu-Desterro em 230 kV.** XIII ERIAC. Argentina–March2009, 2009. (artigo técnico).
- [37]. FLAMENT, Aurore et al. **North Sea Grid Annexes to the Final Report.** 2015. Disponível em: <http://northseagrid.info/sites/default/files/NorthSeaGrid_Final_Report.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2021.
- [38]. NIERADZINSKA, K. et al. **Optioneering analysis for connecting Dogger Bank offshore wind farms to the GB electricity network.** Renewable Energy, v. 91, p. 120-129, 2016.
- [39]. ZHAO, Xiaoling et al. **Technical and economic demands of HVDC submarine cable technology for Global Energy Interconnection.** Global Energy Interconnection, v. 3, n. 2, p. 120-127, 2020.
- [40]. ARDELEAN, M.; MINNEBO, P. **HVDC submarine power cables in the world: State-of-the-art knowledge.** Publications. jrc. ec. europa. eu, 2015.
- [41]. TCU, Tribunal de Contas da União. **Estudo sobre taxas referenciais de BDI de obras públicas e de equipamentos e materiais relevantes – Anexo G Acórdão Nº 2622/2013.** TC 036.076/2011-2. Maio, 2013.
- [42]. SINAENCO, Sindicato da Arquitetura e da Engenharia. **Orientação para a composição de preços de estudos e projetos de arquitetura e engenharia.** 2011. Disponível em: <<https://sinaenco.com.br/wp-content/uploads/2016/08/ROTEIROdePRECOSversao2011.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2021.

Anexo A – Consulta a fornecedores de cabos e acessórios



Ofício n. [NÚMERO ou ESPAÇO]/[ANO]/[DIR]/EPE

Rio de Janeiro, [dia] [mês], 2021.

To Mister

[Inserir o nome do destinatário]

[Escolher ou inserir somente o cargo ou o cargo e setor de trabalho do destinatário]

[Inserir o órgão ou entidade de trabalho do destinatário]

[Inserir o endereço do destinatário]

[Inserir o CEP] – [Inserir a cidade] – [Selecionar a UF]

Subject: **Budgetary Quotations for Underground/Underwater Transmission Lines**

Mister [Escolher ou inserir o Vocativo],

1. The Energy Research Office (EPE in its Portuguese acronym) is a Brazilian government agency responsible for expansion planning studies for the national electric power transmission system, as presented in <https://www.epe.gov.br/en/about-epe/who-we-are>.
2. Considering the fact that underground/underwater transmission lines with high and extra-high voltage cable systems are increasingly taking place in the EPE's feasibility planning studies – technical and economical - mainly due to environmental aspects and right-of-way costs, EPE is seeking for improvement on its current cost estimates.
3. In accordance with current planning criteria for the comparison of system expansion alternatives, EPE needs to take into account investment costs and energy loss costs, considering cost estimates as accurate and up-to-date as possible.
4. Therefore, given your company's expertise and potentiality as a supplier, we kindly ask for your collaboration by providing us with budgetary quotations for cables, accessories and services regarding underground/underwater transmission lines at AC voltage levels of 230 kV, 345 kV and 500 kV. General instructions and templates for data sending are shown in Annex A by the end of this document.
5. We thank you in advance and look forward for your response. Please, let us know if any clarifications are in need.

Yours sincerely,

*Praça Pio X, n. 54, 5º andar – Centro
CEP 20091-040 – Rio de Janeiro – RJ
Telefone: (21) 3512-3100*



Ofício n. [NÚMERO ou ESPAÇO]/[ANO]/[DIR]/EPE

[Inserir o nome do remetente (todas as letras maiúsculas)]
[Escolher ou inserir o cargo do remetente (apenas as iniciais maiúsculas)]
Energy Research Office

Cc:

*Praça Pio X, n. 54, 5º andar – Centro
CEP 20091-040 – Rio de Janeiro – RJ
Telefone: (21) 3512-3100*

2



Ofício n. [NÚMERO ou ESPAÇO]/[ANO]/[DIR]/EPE

ANNEX A – TEMPLATES FOR DATA SENDING

- Your company may reply only part of this survey, at your convenience, production capacity etc.
- Preferentially, the quotations should be presented in US dollars (\$) or Euro (€), containing the reference LME (London Metal Exchange) and metals (Cu, Al or Pb) quantities for future prices corrections.
- Trade condition FOB (Incoterms 2020) also should be considered.
- If your company is not able to answer this survey, please let us know.
- Please find template tables in the next pages.

*Praça Pio X, n. 54, 5º andar – Centro
CEP 20091-040 – Rio de Janeiro – RJ
Telefone: (21) 3512-3100*

3



Ofício n. [NÚMERO ou ESPAÇO]/[ANO]/[DIR]/EPE

1. 230 kV XLPE land cables, accessories, and supervision services

The following conditions apply to 230 kV:

- Aluminum conductors.
- Copper or aluminum metallic screen or sheath for 50 kA/0.5 s.
- All cables must have embedded multimode optical fibers for distributed temperature sensing.

Table 1 – 230(242) kV land cables

Item	Cross section [mm ²]	Al weight [kg/m]	Cu weight [kg/m]	Unit price [\$/m or €/m]
C1	800			
C2	1200			
C3	1600			
C4	2000			
C5	2500			

Notes:

- Please attach a cable data sheet with main dimensions.
- Please provide an increase cost factor estimation for short order lengths (for example, < 10 km) as required on partially undergrounded lines.

Table 2 – 230(242) kV accessories

Item	Accessory	Unit price [\$ or €]
A1	Polymeric outdoor sealing end	
A2	SF ₆ immersed sealing end	
A3	Sectionalized pre-molded joint	
A4	Three phase earthing link box	
A5	Single phase earthing link box	
A6	Disconnection link box with sheath voltage limiters	
A7	Concentric bonding lead 240 mm ² Cu	
A8	Underground optical cable 24 single mode OF	
A9	6-channel DTS with thermal rating software	

Table 3 – 230(242) kV associated services

Item	Service	Unit price [\$/* or €/*]
S1	Cable laying supervision	
S2	Outdoor sealing end assembly supervision	
S3	SF ₆ immersed sealing end assembly supervision	
S4	Pre-molded joint assembly supervision	
S5	Variable frequency after laying HV test (120 A load)	

(*) please specify unit (hour, day, complete accessory, etc.)



Ofício n. [NÚMERO ou ESPAÇO]/[ANO]/[DIR]/EPE

2. 345 kV XLPE land cables, accessories, and supervision services

The following conditions apply to 345 kV:

- a) Aluminum conductors
- b) Copper or aluminum metallic screen or sheath for 63 kA/0.4 s
- c) All cables shall have embedded multimode optical fibers for distributed temperature sensing.

Table 4 – 345(362) kV land cables

Item	Cross section [mm ²]	Al weight [kg/m]	Cu weight [kg/m]	Unit price [\$ /m or € /m]
C6	800			
C7	1200			
C8	1600			
C9	2000			
C10	2500			

Notes:

- i. Please attach a cable data sheet with main dimensions.
- ii. Please provide an increase cost factor estimation for short order lengths (for example, < 10 km) as required on partially undergrounded lines.

Table 5 – 345(362) kV accessories

Item	Accessory	Unit price [\$ or €]
A10	Polymeric outdoor sealing end	
A11	SF ₆ immersed sealing end	
A12	Sectionalized pre-molded joint	
A13	Three phase earthing link box	
A14	Single phase earthing link box	
A15	Disconnection link box with sheath voltage limiters	
A16	Concentric bonding lead 300 mm ² Cu	
A8	Underground optical cable 24 single mode OF	
A9	6-channel DTS with thermal rating software	

Table 6 – 345(362) kV associated services

Item	Service	Unit price [\$/* or €/*]
S6	Cable laying supervision	
S7	Outdoor sealing end assembly supervision	
S8	SF ₆ immersed sealing end assembly supervision	
S9	Pre-molded joint assembly supervision	
S5	Variable frequency after laying HV test (120 A load)	

(*) please specify unit (hour, day, complete accessory, etc.)



Ofício n. [NÚMERO ou ESPAÇO]/[ANO]/[DIR]/EPE

3. 500 kV XLPE land cables, accessories, and supervision services

The following conditions apply to 500 kV:

- a) Aluminum conductors
- b) Copper or aluminum metallic screen or sheath for 63 kA/0.4 s
- c) All cables shall have embedded multimode optical fibers for distributed temperature sensing.

Table 7 – 500(525) kV land cables

Item	Cross section (mm ²)	Al weight [kg/m]	Cu weight [kg/m]	Unit price [\$/m or €/m]
C11	800			
C12	1200			
C13	1600			
C14	2000			
C15	2500			

Notes:

- i. Please attach a cable data sheet with main dimensions.
- ii. Please provide an increase cost factor estimation for short order lengths (for example, < 10 km) as required on partially undergrounded lines.

Table 8 – 500(525) kV accessories

Item	Accessory	Unit price [\$/ or €]
A17	Polymeric outdoor sealing end	
A18	SF ₆ immersed sealing end	
A19	Sectionalized pre-molded joint	
A13	Three phase earthing link box	
A14	Single phase earthing link box	
A15	Disconnection link box with sheath voltage limiters	
A20	Concentric bonding lead 300 mm ² Cu	
A8	Underground optical cable 24 single mode OF	
A9	6-channel DTS with thermal rating software	

Table 9 – 500(525) kV associated services

Item	Service	Unit price [\$/* or €/*]
S10	Cable laying supervision	
S11	Outdoor sealing end assembly supervision	
S12	SF ₆ immersed sealing end assembly supervision	
S13	Pre-molded joint assembly supervision	
S5	Variable frequency after laying HV test (120 A load)	

(*) please specify unit (hour, day, complete accessory, etc.)



Ofício n. [NÚMERO ou ESPAÇO]/[ANO]/[DIR]/EPE

4. 230 kV XLPE underwater cables, accessories, and supervision services

The following conditions apply to 230 kV underwater cables:

- Copper conductors
- Lead sheath for 50 kA/0.5 s
- Copper armor
- All cables shall have embedded multimode optical fibers for distributed temperature sensing.

Table 10 – 230(242) kV underwater cables

Item	Cross section [mm ²]	Al weight [kg/m]	Cu weight [kg/m]	Pb weight [kg/m]	Unit price [\$/m or €/m]
C16	800				
C17	1200				
C18	1600				
C19	2000				

Note: please attach a cable data sheet with main dimensions.

Table 11 – 230(242) kV accessories

Item	Accessory	Unit price [\$/ or €]
A1	Polymeric outdoor sealing end	
A21	Repair joint	
A5	Single phase earthing link box	
A9	6-channel DTS with thermal rating software	

Table 12 – 230(242) kV underwater associated services

Item	Service	Unit price [\$/ or €]
S14	Cable laying supervision	
S2	Outdoor sealing end assembly supervision	
S15	Pre-molded joint assembly supervision	
S5	Variable frequency after laying HV test (120 A load)	



Ofício n. [NÚMERO ou ESPAÇO]/[ANO]/[DIR]/EPE

5. 500 kV XLPE underwater cables, accessories, and supervision services

The following conditions apply to 500 kV underwater cables:

- a) Copper conductors
- b) Lead sheath for 63 kA/0.4 s
- c) Copper armor
- d) All cables shall have embedded multimode optical fibers for distributed temperature sensing.

Table 13 – 500(525) kV underwater cables

Item	Cross section [mm ²]	Al weight [kg/m]	Cu weight [kg/m]	Pb weight [kg/m]	Unit price[\$/m or €/m]
C20	800				
C21	1200				
C22	1600				
C23	2000				

Note: please attach a cable data sheet with main dimensions.

Table 14 – 500(525) kV accessories

Item	Accessory	Unit price [\$ or €]
A1	Polymeric outdoor sealing end	
A21	Repair joint	
A5	Single phase earthing link box	
A9	6-channel DTS with thermal rating software	

Table 15 – 500(525) kV underwater associated services

Item	Service	Unit price [\$ or €]
S16	Cable laying supervision	
S2	Outdoor sealing end assembly supervision	
S17	Pre-molded joint assembly supervision	
S5	Variable frequency after laying HV test (120 A load)	

Anexo B – Consulta às transmissoras e distribuidoras



Ofício n. [NÚMERO ou ESPAÇO]/[ANO]/[DIR]/EPE

Rio de Janeiro, [dia] de fevereiro de 2021.

Ao Senhor

[Inserir o nome do destinatário]

[Escolher ou inserir somente o cargo ou o cargo e setor de trabalho do destinatário]

[Inserir o órgão ou entidade de trabalho do destinatário]

[Inserir o CEP] – [Inserir a cidade] – [Selecionar a UF]

Assunto: Consulta Sobre Custos de Linhas de Transmissão Subterrâneas/Subaquáticas

Senhor [Escolher ou inserir o Vocativo],

1. Considerando o fato de que os estudos de viabilidade técnica e econômica para o planejamento da transmissão têm considerado cada vez mais alternativas de expansão com cabos isolados de alta e extra alta tensão, justificados, principalmente, por questões socioambientais e fundiárias, a EPE identificou a necessidade de revisar e aprimorar os seus critérios de custeio de linhas de transmissão subterrâneas e subaquáticas, eventualmente estabelecendo um banco referencial de custos para estudos de planejamento que envolvam este tipo de instalação.
2. Em conformidade com os critérios de planejamento vigentes, para a comparação entre alternativas de expansão, a EPE utiliza o conceito de mínimo custo global – custo de investimento somado ao custo de perdas de energia -, o que reforça a necessidade de se buscar, sempre que possível, maior acurácia quanto aos custos considerados para as instalações de transmissão adotadas nas alternativas de expansão. Como existe uma carência no setor elétrico brasileiro de dados para linhas subterrâneas e subaquáticas, a EPE também está fazendo um levantamento junto às concessionárias de Transmissão e Distribuição.
3. Dessa forma, dada a experiência e *expertise* desta concessionária com esse tipo de instalação - notadamente a LT X kV A – B -, solicitamos a vossa colaboração para que sejam compartilhados valores referenciais de preço obtidos para as linhas subterrâneas e/ou subaquáticas mais recentemente implantadas, conforme estrutura sugerida no Anexo A deste ofício. Não obstante, caso entenda ser mais conveniente ou prático, sinta-se à vontade para enviar os dados da forma como achar mais oportuno.

*Praça Pio X, n. 54, 5º andar – Centro
CEP 20091-040 – Rio de Janeiro – RJ
Telefone: (21) 3512-3100*



Ofício n. [NÚMERO ou ESPAÇO]/[ANO]/[DIR]/EPE

4. Em função da grande variabilidade dos preços dos metais e outros insumos, bem como taxas de câmbio, seria fundamental que essas informações viessem acompanhadas das datas de referência para que possam ser atualizadas pela EPE oportunamente, conforme modelo do Anexo A.
5. Adicionalmente, caso essa concessionária entenda que existem outros itens e/ou aspectos de instalação com impactos relevantes nos custos, e que não estejam previstos no Anexo A, solicitamos gentilmente que eles sejam incluídos na resposta a este ofício.
6. Para manter o cronograma desta atividade dentro do prazo previsto, solicitamos, se possível, que as informações sejam encaminhadas no prazo de 20 dias.
7. No aguardo de vossa imprescindível resposta, e, desde já gratos, ficamos à disposição para quaisquer esclarecimentos que se façam necessários

Atenciosamente,

[Inserir o nome do remetente (todas as letras maiúsculas)]
[Escolher ou inserir o cargo do remetente (apenas as iniciais maiúsculas)]
Empresa de Pesquisa Energética

Cc:



Ofício n. [NÚMERO ou ESPAÇO]/[ANO]/[DIR]/EPE

ANEXO A – MODELO PARA ENVIO DE DADOS

Abaixo encontram-se listas e tabelas modelo para preenchimento dos dados. É importante explicitar para qual tipo de instalação os dados se referem, isto é, subterrânea ou subaquática. Sugerimos ainda que o preenchimento seja realizado por empreendimento. Em caso de dado não disponível, favor preencher com “N/D”.

1. Dados gerais para cada linha de transmissão

Nome da linha de transmissão:

Número de circuitos/fases + reserva (se aplicável):

Extensão total da linha de transmissão [km]:

Extensão do trecho subterrâneo [km]:

Extensão do trecho subaquático [km]:

Número de caixas de emendas:

Curto-fase terra máximo [kA] e duração [s]:

Custo total de investimento da linha de transmissão [R\$ ou R\$/km]:

Custo total de investimento do trecho subterrâneo [R\$ ou R\$/km]:

Custo total de investimento do trecho subaquático [R\$ ou R\$/km]:

Custo das obras civis e instalação do trecho subterrâneo [R\$ ou R\$/km] ou percentual [%] do custo total de investimento do trecho subterrâneo:

Custo das obras civis e instalação do trecho subaquático [R\$ ou R\$/km] ou percentual [%] do custo total de investimento do trecho subaquático:

Ano de início da construção:

Ano de início da operação:

2. Dados para detalhamento dos custos

Tabela 1 – Cabos subterrâneos e/ou subaquáticos

Item	Seção [mm²]	Tensão [kV]	Peso Al [kg/m]	Peso Cu [kg/m]	Peso Pb [kg/m]	LME Cu [US\$/t]	LME Al [US\$/t]	LME Pb [US\$/t]	Preço [\$/m ou €/m]	Taxa de câmbio	Incoterms (se importado)
1											
2											
3											
4											
etc											

Nota: se possível, fornecer um “data sheet” com as principais dimensões do(s) cabo(s) de potência.



Ofício n. [NÚMERO ou ESPAÇO]/[ANO]/[DIR]/EPE

Tabela 2 – Acessórios

Item	Acessório	Preço [\$ ou €]	Taxa de câmbio	Incoterms (se importado)
1	Terminal para uso externo			
2	Terminal para blindada SF ₆			
3	Emenda seccionada			
4	Emenda reta			
5	Link box de aterramento multifásico			
6	Link box de aterramento monofásico			
7	Link box de desconexão com SVL			
8	Cabo concêntrico			
9	Cabo ótico			
10	DTS com software de monitoramento térmico			

