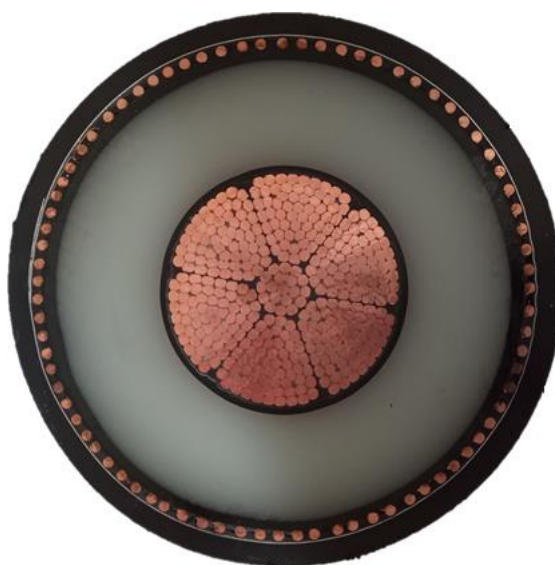


LI.EPE.002/20 - SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA
PRODUZIR ESTIMATIVA DE CUSTOS DE LINHAS DE
TRANSMISSÃO SUBTERRÂNEAS E/OU SUBAQUÁTICAS



DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA DE ORÇAMENTO, MODULAÇÃO
E PRECIFICAÇÃO



SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA PRODUZIR ESTIMATIVA DE CUSTOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO SUBTERRÂNEAS E/OU SUBAQUÁTICAS	
DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA DE ORÇAMENTO, MODULAÇÃO E PRECIFICAÇÃO	
ETAPA II	REVISÃO: 3

Histórico de revisões:

Data	Versão	Descrição	Autor(es)
19/02/24	3	Revisão conforme novos comentários da EPE	Sinapsis/EPE
23/12/21	2	Revisão após finalização do desenvolvimento da ferramenta	Sinapsis/EPE
08/04/21	1	Atendimento a comentários e outras correções	Sinapsis/EPE
15/03/21	0	Emissão inicial	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

1.	Introdução e Objetivos	9
2.	Etapas e Cronograma	11
3.	Descrição geral	16
3.1	Bases e tabelas de dados	17
3.2	Dados de entrada dos modelos de cálculo.....	22
3.3	Relatórios de resultados	31
4.	Resumo dos itens considerados no custeio	33
5.	Serviços.....	34
5.1	Projeto, licenças, suprimentos e logística	34
5.2	Instalação e montagens eletromecânicas de LT subterrâneas	35
5.2.1	Instalação dos dutos	35
5.2.2	Lançamento dos cabos	36
5.2.3	Montagem de terminais para uso externo	37
5.2.4	Montagem de terminais para subestação SF ₆ (GIS)	38
5.2.5	Montagem de emendas	39
5.2.6	Lançamento dos cabos com montagem de ferragens em túneis	40
5.2.7	Lançamento dos cabos óticos e de aterramento	40
5.2.8	Instalação e comissionamento do DTS.....	41
5.2.9	Exemplo de cálculo	41
5.3	Instalação de LT subaquáticas	42
5.4	Ensaio de tipo.....	44
5.5	Ensaio após a instalação	45
5.6	Outros serviços	48
5.7	Total de serviços	48
6.	Metodologia para precificação dos cabos.....	49
6.1	Preços obtidos diretamente no levantamento da Etapa I	49
6.2	Preços estimados a partir de características construtivas	50
7.	Custeio Modular de Acessórios	55
7.1	Terminais para uso externo.....	56
7.2	Terminais para subestações GIS.....	57
7.3	Emendas	57
7.4	DTS.....	58

7.5	Cabos de aterramento.....	58
7.6	Cabos óticos.....	59
7.7	Preço de Cabos e Acessórios	59
8.	Custeio de Obras Civas de Linhas de Transmissão Subterrâneas	61
8.1	Administração local e mobilização	61
8.2	Trechos em valas	62
8.2.1	Remoção do pavimento	64
8.2.2	Escavação.....	65
8.2.3	Regularização do fundo da vala.....	67
8.2.4	Dutos.....	67
8.2.5	Backfill.....	69
8.2.6	Camada de proteção de concreto	71
8.2.7	Reaterro.....	71
8.2.8	Recomposição do pavimento	72
8.2.9	Custo total da vala	73
8.3	Trechos com MND	74
8.4	Túneis.....	75
8.5	Caixas de emendas e abrigos de link boxes	77
8.6	Caixas de injeção de bentonita.....	81
8.7	Fundações para suportes de terminais de uso externo	81
8.8	Preços das obras civis	82
9.	Outros Custos	82
9.1	Componentes menores	82
9.2	Faixas de servidão e CCI	83
10.	Cálculo do Custo Total	84
10.1	Eventuais	84
10.2	Aplicação de fatores aos custos calculados.....	84
10.3	Custo total da linha de transmissão subterrânea	85
10.4	Custo total da linha de transmissão subaquática.....	85
10.4.1	Serviços.....	86
10.4.2	Cabos e acessórios.....	86
10.4.3	Transição.....	86

10.4.4	Custo total para LT subaquáticas com instalação em águas rasas.....	87
10.4.5	Custo total para LT subaquáticas com instalação em alto mar.....	87
10.5	Linhas HVDC.....	87
11.	Operação e Manutenção	89
12.	Conclusões.....	90
13.	Referências bibliográficas.....	91
Anexo A – Análise de Sensibilidade		92
Anexo B – Custo de Materiais de um Cabo de Potência		97
Anexo C – Preços de Dutos.....		105
Anexo D – Custeio do Backfill		107
Anexo E – Custo da Bentonita		109

Acrônimos

ANEEL: Agência nacional de Energia Elétrica

BDI: Benefícios e Despesas Indiretas

CCI: Contrato de Compartilhamento das Instalações

COFINS: Contribuição para Financiamento da Seguridade Social

DP3: *Dynamic Positioning, class 3*

DUP: Declaração de Utilidade Pública

DTS: *Distributed Temperature Sensing*

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

GIS: *Gas Insulated Substation*

HDD: *Horizontal Directional Drilling*

HVAC: *High Voltage Alternating Current*

HVDC: *High Voltage Direct Current*

ICMS: Imposto Sobre Circulação de Mercadorias

II: Imposto de Importação

LT: Linha de Transmissão

MND: Método Não Destrutivo

NATM: *New Austrian Tunnel Method*

NCM: Nomenclatura Comum Mercosul

OTDR: *Optical Time Domain Reflectometer*

PIS: Programa de Integração Social

RAP: Receita Anual Permitida

RB: Rede Básica

REIDI: Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura

ROV: *Remote Operated Vehicle*

SICRO: Sistema de Custos de Obras Rodoviárias

SINAPI: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices

SVL: *Sheath Voltage Limiter*

1. Introdução e Objetivos

Nos termos do edital da EPE [1] que definiu o escopo da consultoria, a presente etapa deve ser dedicada ao desenvolvimento da metodologia de cálculo do custo das linhas de transmissão subterrâneas ou subaquáticas, sendo mencionados “orçamento, modulação e precificação”. Especificamente, no anexo I do edital, define-se:

“Para fins de realização deste trabalho, entende-se por modulação a possibilidade de escolha de diferentes itens para compor os custos de uma LTS, tais como: custos de diversos materiais e custos totais de implantação, conforme descrito no item 4.1.1.”

Onde o item 4.1.1 mencionado diz respeito à primeira etapa do trabalho.

Com relação a orçamento e precificação não foram apresentadas definições particulares, mas a descrição da etapa II (reproduzida no item 2 deste relatório) explicita diversas possibilidades a serem avaliadas e, se relevantes, consideradas.

Fica claro, desse modo, que se pretende dispor de critérios de cálculo de custos de linhas de transmissão subterrâneas e subaquáticas flexíveis, considerando as características de todos os materiais (cabos, acessórios etc.), serviços e montagens, além de obras civis associadas em cada caso.

Por outro lado, o custeio de uma linha de transmissão sem um projeto (pelo menos básico, mas, de preferência, executivo) e cotações de preços associadas a uma possível contratação, incluindo negociações baseadas em quantidades definidas, estará sujeito a alguns erros e incertezas adicionais, além daquelas que também ocorrem em situações reais.

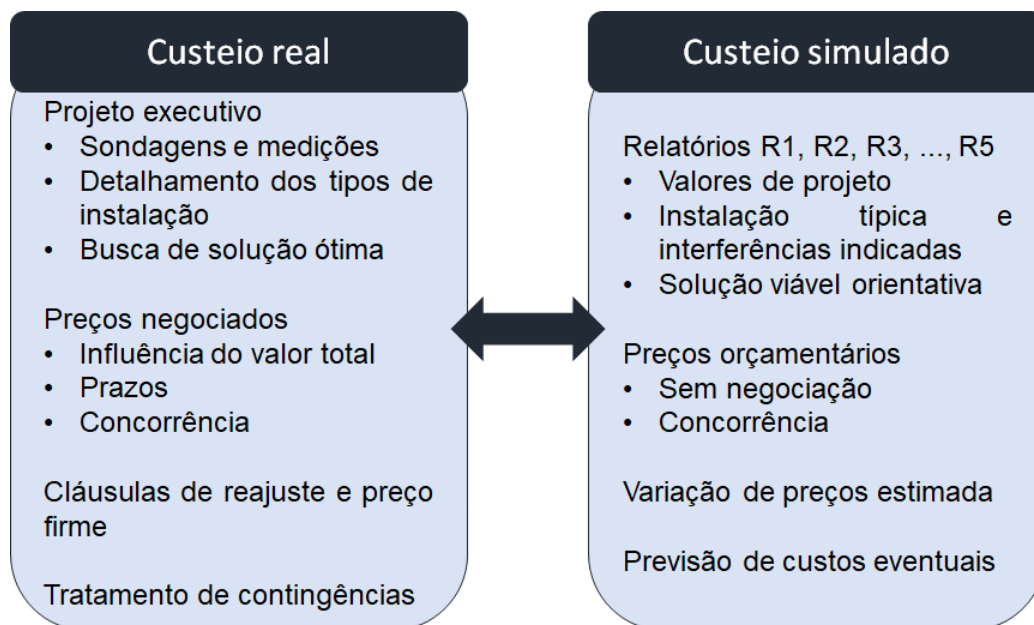


Figura 1 – Comparação simplificada de um processo real e simulado de custeio.

Conforme ilustrado simplificadaamente na Figura 1 existem diferenças entre uma abordagem real e uma simulação, que, invariavelmente, conduzem a resultados diferentes.

Entende-se, contudo, que esse tipo de erro é comum a qualquer processo de simulação e tende a afetar todas as alternativas sob avaliação de maneira uniforme.

Adicionalmente, cumpre destacar que, na definição das metodologias e com as devidas justificativas, algumas hipóteses simplificadoras foram adotadas, por exemplo, devido à limitação de dados obtidos na pesquisa da etapa I e pelas incertezas inerentes à fase de planejamento. Não obstante, para fins de estudos de viabilidade econômica, no âmbito do planejamento, as estimativas obtidas são aceitáveis, a despeito de hipóteses simplificadoras e diferenças entre uma abordagem real e uma simulação, como já mencionado.

Outro aspecto a ser considerado em um processo de custeio é a influência de cada item no valor total obtido. Para isso foram feitas análises de sensibilidade no Anexo A, mostrando a grande incidência dos cabos e obras civis nos resultados. Portanto, outros componentes menos representativos podem ser objeto de algumas aproximações sem tanto impacto no custeio final.

Assim, esta etapa da consultoria tem como objetivos definir e apresentar as premissas e critérios de simulação do custeio de linhas de transmissão subterrâneas e subaquáticas, considerando a disponibilidade restrita de dados, conforme os levantamentos da etapa precedente deste trabalho de consultoria, buscando maneiras práticas e aderentes à realidade para a sua aplicação.

Na definição dos critérios de custeio descritos nos itens subsequentes deste relatório serão explicitadas as lacunas nos dados obtidos até o momento e propostas as formas de superá-las.

Por fim, da forma como este relatório foi estruturado, ele visa contribuir para a especificação da ferramenta de cálculo a ser desenvolvida na etapa IV do projeto.

2. Etapas e Cronograma

A Figura 2 mostra o cronograma do projeto definido pela EPE, bem como o acompanhamento das atividades.

Etapa		Data final de cada semana a partir da reunião de “kick-off”																		
		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																			
III	Desenvolvimento de metodologia para atualização dos preços unitários – predição econômica																			
IV	Desenvolvimento da ferramenta computacional																			
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 das etapas 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.

Etapa		Data final de cada semana a partir da reunião de “kick-off”																							
			Junho						Julho				Agosto					Setembro				Outubro			
		25	01	08	15	22	29	6	13	20	27	3	10	17	24	31	7	14	21	2	5	12	19	26	
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 3: Cronograma previsto inicialmente e acompanhamento (datas em semanas considerando início em 05/01/21) – Parte 2

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 das etapas 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.

Segundo consta do edital da EPE, a etapa II, deveria abordar os seguintes aspectos:

“No desenvolvimento da metodologia é fundamental que se observe e investigue quais as características da LTS que deverão ser levadas em conta. Não deverão ser considerados cabos com isolamento a óleo, mas tão somente os tipos XLPE ou similares. Como referência inicial, os aspectos abaixo deverão ser considerados:

- *Região do Brasil (N, NE, SE, CO e S)*
- *Caraterísticas do traçado (Tipos das vias compartilhadas, travessias, túneis, tráfego, períodos de trabalho permitidos, interferências etc.)*
- *Localidade (zona industrial, zona residencial, áreas de proteção etc.)*
- *Tensão nominal de operação (230, 345, 440 e 500 kV)*
- *Número de circuitos*
- *Configuração de instalação (horizontal, vertical, triangular etc.)*
- *Profundidade das instalações e distância entre circuitos*
- *Seção dos condutores (800 mm² a 3000 mm²)*
- *Material utilizado como condutor (cobre ou alumínio)*
- *Material utilizado como isolante (por exemplo, XLPE ou similar)*
- *Tipo de Blindagem e capa metálica*
- *Nível de curto-circuito fase terra ou dupla fase terra para definição da seção da blindagem ou capa metálica*
- *Esquema de aterramento*
- *Quantidades de acessórios (emendas, terminações, para-raios etc.)*
- *Outros*

Com relação a estrutura orçamentária, deverá ser investigado qual universo de itens que farão parte do orçamento geral e como eles serão discriminados. Nessa estrutura deverão conter as quantidades de bens e serviços (unidade) e seus custos unitários (R\$/unidade). Como referência inicial, os itens abaixo deverão ser considerados. Ressalta-se que a estrutura não deve se limitar a estes itens, mas deverá ser investigada a retirada, inclusão ou maior detalhamento dos mesmos.

- *Terrenos e servidões*
- *Ensaio de tipo e de pré-qualificação*
- *Aquisição de materiais com estimativa de sobressalentes*
 - *Cabos condutores*
 - *Cabos óticos para comunicação e controle e proteção*
 - *Cabos isolados (concêntricos/singelos) para conexão de emendas a*

caixas de desconexão (link box)

- *Entradas de linhas (Disjuntores, chaves, entre outros componentes)*
- *Terminais*
- *Emendas*
- *Caixas de desconexão (link box)*
- *Cabos, hastes e acessórios para aterramento*
- *Sistema de monitoramento e serviços auxiliares*
- *Ferragens para fixação dos cabos, emendas e terminais*
- *Estruturas de suporte para cabos, terminais e emendas*
- *Almoxarifado (incluindo armazenagem de peças sobressalentes)*
- *Vigilância*
- *Serviços de Topologia e Geologia*
 - *Levantamentos de campo para linhas subterrâneas: topografia, interferências, resistividade térmica, sondagens geotécnicas*
 - *Levantamentos de campo para linhas subaquáticas: batimetria, sísmica, sonar de varredura lateral, resistividade térmica do leito subaquático, sondagens geotécnicas*
- *Serviços de construção civil*
 - *Construção de valas (incluindo repavimentação e reconstrução de jardins, ciclovias etc.)*
 - *Construção de banco de dutos*
 - *Construção de perfuração horizontal direcional*
 - *Construção de túneis e galerias*
 - *Construção de fundações para estruturas de suporte para terminais*
 - *Construção de caixas de emenda*
 - *Mão de obra*
 - *Nos casos aplicáveis: material especial para compactação de envoltória (backfill, dutos, canaletas, túneis e galerias, sistemas de ventilação)*
 - *Serviços de apoio diversos*

- *Serviços de instalação e montagem*
 - *Lançamento de cabos condutores e óticos*
 - *Montagem de emendas*
 - *Montagem de terminais*
 - *Montagem das caixas de desconexão*
 - *Montagem do sistema de aterramento*
 - *Comissionamento e testes pós-instalação: tensão aplicada na capa externa, tensão aplicada no isolamento do cabo através de fonte independente de frequência ressonante, medições de descargas parciais*
- *Engenharia*
 - *Projeto básico*
 - *Projeto executivo*
- *Custos ambientais e licenças de construção (instituições públicas)*
- *Custos de gerenciamento de implantação*
- *Custos eventuais*

Dado o nível de detalhamento para os empreendimentos, que se possui na fase de planejamento, os itens que compõe a estrutura orçamentária deverão ser agrupados em módulos de forma a facilitar e viabilizar a estimativa de custos mantendo-se o compromisso entre simplificação do processo e perda de precisão nas estimativas.

Adicionalmente, também deverá ser desenvolvida uma metodologia para a precificação de cada item do orçamento geral visando a composição dos módulos de custos.

Por fim, cumpre ressaltar que o produto desta etapa é a elaboração de um relatório contendo a descrição completa da metodologia e referências utilizadas.”

A descrição do edital [1] é ampla e contempla a maioria dos itens e tipos de obras associadas com linhas de transmissão empregando cabos isolados.

Há também a introdução do conceito de módulos de custo, que consistem em grupos de componentes, cuja utilização ocorre simultaneamente e a pormenorização caso a caso seria desnecessária e cansativa para o usuário.

3. Descrição geral

Como um guia para a simulação de custos, foram consideradas as principais etapas do processo de implantação de uma linha de transmissão subterrânea ou subaquática, como visto na Figura 4.

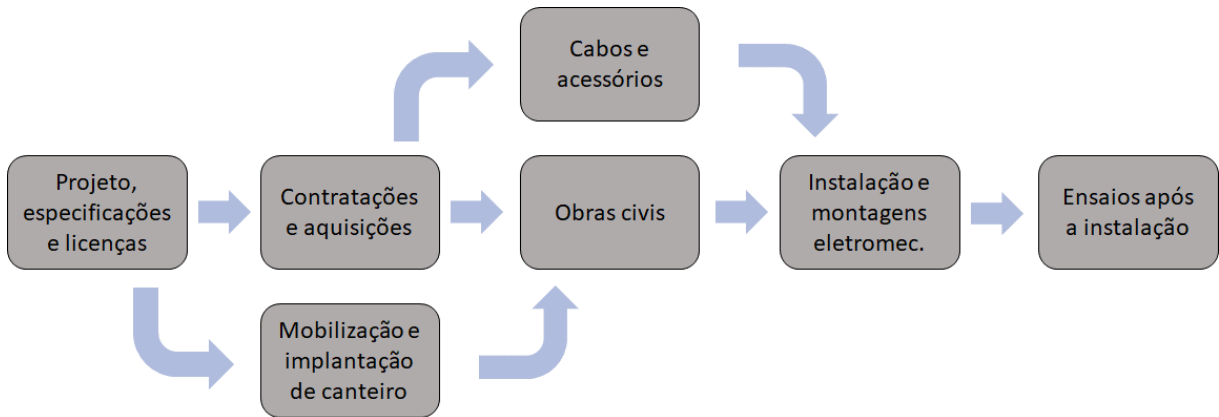


Figura 4 – Principais etapas para a implantação de uma LT com cabos isolados.

Para maior detalhamento e ainda com o intuito de contribuir para a especificação da ferramenta de custeio a ser desenvolvida em etapa posterior da consultoria, a Figura 5 mostra os tipos de bases de dados, entradas e saídas.

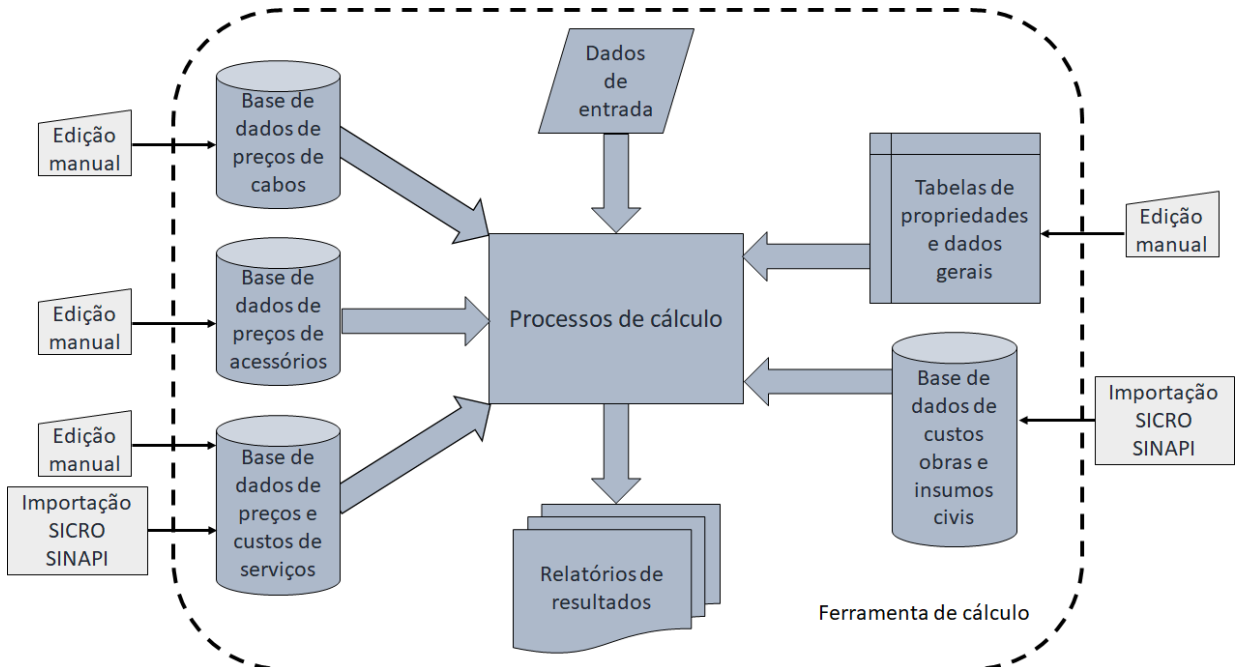


Figura 5 – Esquema da ferramenta de cálculo, com entradas bases de dados, entradas e saídas.

A descrição pormenorizada dos processos de cálculo será apresentada nos itens a partir de 5 até 10 do presente relatório, cada qual dedicado a uma parte das simulações necessárias.

Nos itens seguintes serão descritas as bases de dados, entradas e saídas necessárias para os processos de cálculo e implementação da respectiva ferramenta.

3.1 Bases e tabelas de dados

3.1.1 Tabelas de propriedades e dados gerais

Essas características referem-se a propriedades e valores normativos necessários para os cálculos a serem apresentados nos itens subsequentes.

Pelas suas características são dados permanentes que não requerem atualização periódica, no máximo o cadastro de uma nova propriedade ou valor.

Tabela 1 – Densidades (g/cm³)

Material	Densidade (g/cm³)
Cu	8,89
Al	2,7
Pb	11,4
Blindagens semicondutoras	1,17
XLPE	0,92
Polylam	2,7
PEAD	0,965
Ráfia de PP com composto betuminoso	0,91

Para as fibras óticas protegidas tubos metálicos, utilizadas como sensores de temperatura nos cabos, foi adotado o valor de 9,2 kg/km [3].

Tabela 2 – Resistências em corrente contínua a 20 °C dos condutores [2].

Seção (mm ²)	R ₂₀ (Ω/km)	
	Cu	Al
240	0,0754	0,1250
300	0,0601	0,1000
400	0,0470	0,0778
500	0,0366	0,0605
630	0,0283	0,0469
800	0,0221	0,0367
1000	0,0176	0,0291
1200	0,0151	0,0247
1400	0,0129	0,0212
1600	0,0113	0,0186
1800	0,0101	0,0165
2000	0,0090	0,0149
2500	0,0072	0,0119
3000	0,0060	0,0099

Tabela 3 – Diâmetros de dutos corrugados de PEAD.

Diâmetro nominal		Diâm. ext. (mm)	Diâm. int. (mm)
pol.	mm		
1.1/4	30	41,3	31,5
1.1/2	40	56,0	43,0
2	50	63,4	50,8
3	75	89,5	75,0
4	100	124,5	103,0
5	125	155,0	128,0
6	150	190,0	155,0
7	175	202,0	176,0
8	200	250,0	205,0

Tabela 4 – Dimensões de caixas de emendas e abrigos.

	Largura (m)	Comprimento (m)	Profundidade (m)
Caixa de emendas – 1 circuito	1,6	7,5	2,0
Caixa de emendas – 2 circuitos	3,0	18,0	2,0
Abrigo de <i>link box</i> (um por circuito)	1,0	1,2	1,0

3.1.2 Tabelas de alíquotas de impostos

Nas tabelas seguintes constam os impostos atualmente vigentes. Caso ocorram alterações na legislação, eles precisarão ser revistos para o cálculo correto.

Tabela 5 – Impostos de importação para cabos de alta tensão (NCM 8544.60.00).

Alíquotas (%)	Sem REIDI	Com REIDI
II	16,00	16,00
IPI	5,00	5,00
PIS	2,10	0,00
COFINS	9,65	0,00
Acumulado	33,55	21,80

Tabela 6 – Impostos de importação para acessórios, exceto DTS (NCM 8535.90.00).

Alíquotas (%)	Sem REIDI	Com REIDI
II	16,00	16,00
IPI	5,00	5,00
PIS	2,10	0,00
COFINS	9,65	0,00
Acumulado	33,55	21,80

Tabela 7 – Impostos de importação para DTS (NCM 9027.50.90).

Alíquotas (%)	Sem REIDI	Com REIDI
II	14,00	14,00
IPI	0,00	0,00
PIS	2,10	0,00
COFINS	10,65	0,00
Acumulado	26,75	14,00

O valor acumulado das tabelas considera as bases de cálculo, como indicado a seguir:

- II, PIS e COFINS: valor aduaneiro, isto é, do produto mais despesas de importação
- IPI: incide sobre o valor aduaneiro acrescido do II.

Com relação ao ICMS existe a alíquota base de cada estado, a alíquota interestadual mínima de 4 % e a DIFAL. Porém, podem existir isenções dependendo do enquadramento do produto e do estado da federação.

A alíquota resultante incide sobre o preço de venda (e não sobre os custos), tornando esse imposto significativo.

3.1.3 Tabela de *defaults*

Adicionalmente deve ser também prevista uma tabela de dados *default*, apresentados ao longo desse relatório em itens de custeio de serviços e obras civis, tais como produtividades de lançamento de cabos, dutos, montagens de acessórios, ensaios etc. Essa tabela permite modificações nos cálculos sem editar as fórmulas dos itens subsequentes desse documento, mantendo a praticidade para o usuário que não quiser ou dispor de valores diferentes daqueles *defaults*.

3.1.4 Preços de cabos

As bases de dados de preços de cabos devem contemplar os valores coletados na pesquisa de preços com os identificadores aplicáveis de seção nominal, tensão nominal, além das massas por quilômetro dos metais necessárias para a correção (cobre, alumínio e chumbo).

Os valores originais devem ser divididos por fornecedor. O número máximo de fornecedores previsto na base de dados deve ser pelo menos igual ao número de consultas realizadas na Etapa I, de modo a permitir inserções futuras.

Assim, existem bases parciais com os valores originais coletados, sujeitos à modificação e complementação por novas pesquisas, e bases de preços corrigidos conforme a variação do preço dos metais.

Aplica-se também a correção da taxa de câmbio para colocar todos os valores em uma mesma moeda.

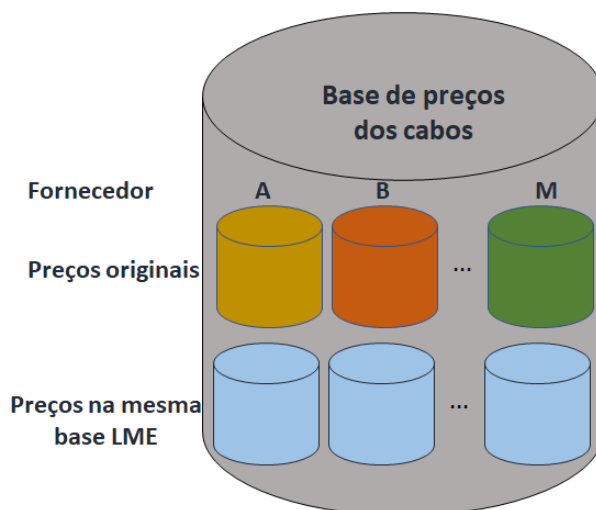


Figura 6 – Representação esquemática da estrutura da base de preços com correções.

3.1.5 Preços de matérias primas não metálicas

Ao contrário dos metais, que são *commodities*, esses preços não são encontrados

facilmente.

Foram utilizadas algumas referências de um sítio com dados de importação (<https://www.zauba.com>), pesquisando-se os nomes comerciais e códigos dos principais fornecedores.

3.1.6 Preços de acessórios

De maneira análoga aos cabos, devem ser armazenados os valores originais coletados na pesquisa de preços, de acordo com o tipo e classe de tensão do acessório.

Entre os acessórios incluem-se os cabos concêntricos e o DTS.

3.1.7 Custos de obras civis

As fontes desses dados são principalmente o SINAPI e o SICRO, com os códigos específicos das atividades ou materiais, mas os valores precisam ser armazenados em um banco local para utilização durante os cálculos.

Como exceções, existe um custo de referência do banco de preços da ANEEL e um código do SEINFRA CE a serem explicitados em itens específicos.

Essa base deve ter valores para cada um dos estados da federação.

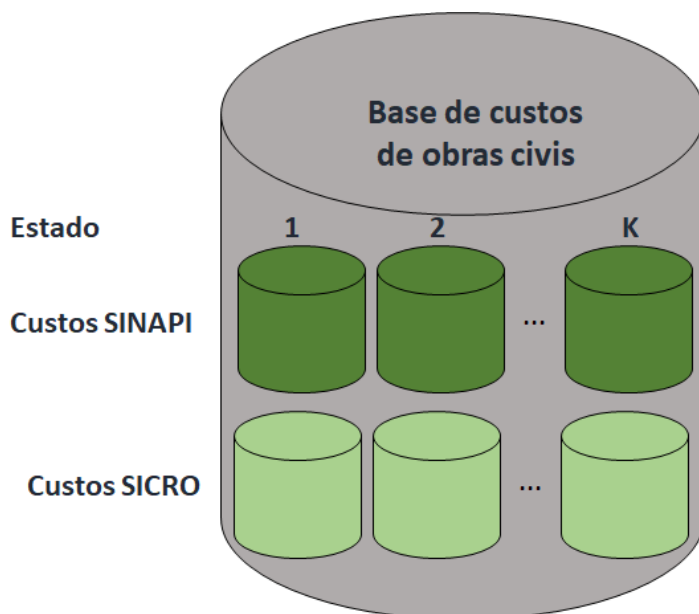


Figura 7 – Representação esquemática da estrutura da base de custos de obras civis.

3.1.8 Serviços

As referências de valores de serviços obtidas no levantamento de preços da Etapa I, desdobradas segundo as atividades de supervisão, montagem, ensaios etc. devem constar dessa base de dados, juntamente com outros serviços do SINAPI e SICRO aplicáveis.

3.2 Dados de entrada dos modelos de cálculo

Antes da definição dos critérios de cálculo é conveniente tornar explícitos os dados de entrada considerados conhecidos, tendo em vista o processo usual do planejamento executado pela EPE.

De fato, para os cálculos de capacidade de condução de corrente, suportabilidade térmica aos curtos-circuitos, transitórios eletromagnéticos, impedâncias de sequência etc., que constam dos relatórios R1 e R2, é necessário definir pelo menos:

- a) As dimensões do cabo potência (230 kV, 345 kV ou 500 kV);
- b) O tipo de aterramento das blindagens, capas e armações metálicas;
- c) O nível da corrente de curto-circuito;
- d) Um corte de vala típico e disposição das fases;
- e) O comprimento total da linha de transmissão.

Adicionalmente, na fase de relatório R2, já em fase posterior ao relatório R1, é necessária uma comparação técnico-econômica entre diferentes seções de cabos, disposições e corte de vala.

Além disso, nos relatórios R3 e R5 devem constar informações complementares sobre interferências, paralelismos e problemas fundiários.

Como o processo de avaliação econômica de alternativas é objeto do relatório R1, será necessário prover estimativas iniciais para os dados faltantes ou realimentar o processo com as novas informações dos relatórios subsequentes.

Os dados supostos conhecidos estão descritos com pormenores nos subitens a seguir.

3.2.1 Taxa de câmbio

Como as linhas de transmissão com cabos isolados têm praticamente todos os seus componentes importados, deve-se dispor das taxas de câmbio consideradas. As moedas das propostas são normalmente dólares dos Estados Unidos da América (US\$) e euros (€).

Optou-se por incluir as taxas de câmbio como dados de entrada e não como uma base de dados por serem dois valores apenas e estarem sujeitos a estimativas futuras ou passadas, isto é, não necessariamente se deseja utilizar a taxa do dia.

3.2.2 Preços de metais

Para as simulações em uma mesma base, devem ser inseridos os preços em US\$/t do cobre, alumínio, chumbo e aço, conforme cotação da bolsa de Londres (<https://www.lme.com>).

As fórmulas de correção aplicáveis, devem ser objeto da etapa III da consultoria, conforme indicado no edital da EPE [1].

3.2.3 Características dos cabos de potência

A partir de um *data sheet* real ou de dimensões aproximadas do cabo (por exemplo, obtidas de um catálogo) podem ser preenchidas as características elencadas na Tabela 8.

As dimensões e materiais serão utilizadas para o cálculo do custo dos materiais conforme Anexo B.

Tabela 8 – Dados do cabo de potência de alta tensão.

	Unipolar		Tripolar	
	Descrição	Sigla	Descrição	Sigla
Conductor	Diâmetro externo (mm)	d_c	Diâmetro externo (mm)	d_c
	Material	Material	Material	Material
	Seção nominal (mm ²)	Seção	Seção nominal (mm ²)	Seção
Blindagem semic. condutor	Diâmetro externo semic. (mm)	d_{smc}	Diâmetro externo semic. (mm)	d_{smc}
Isolação	Diâmetro externo (mm)	d_{iso}	Diâmetro externo (mm)	d_{iso}
	Material	Material	Material	Material
Blindagem semic. da isolação	Diâmetro externo semic. (mm)	d_{smi}	Diâmetro externo semic. (mm)	d_{smi}
Blindagem metálica de fios	Diâmetro externo da blindagem (mm)	$d_{bmédio}$	Diâmetro externo da blindagem (mm)	$d_{bmédio}$
	Diâmetro do fio (mm)	d_{fb}	Diâmetro do fio (mm)	d_{fb}
	Número de fios	n_b	Número de fios	n_b
	Passo/diâm. médio	dp_b	Passo/diâm. médio	dp_b
	Material	Material	Material	Material
	Número de cabos óticos	n_{co}	Número de cabos óticos	n_{co}
Capa metálica	Diâmetro externo (mm)	d_{cm}	Diâmetro externo (mm)	d_{cm}
	Espessura (mm)	e_{cm}	Espessura (mm)	e_{cm}
	Material	Material	Material	Material
Reunião	N/A	-	Passo/diâm. médio	dp_r
Enchimento	N/A	-	Diâmetro externo (mm)	d_e
	N/A	-	Material	Material
Acolchoamento	Diâmetro externo (mm)	d_{ac}	Diâmetro externo (mm)	d_{ac}
	Material	Material	Material	Material
Armação metálica de fios	Diâmetro externo (mm)	$d_{amédio}$	Diâmetro externo (mm)	$d_{amédio}$
	Diâmetro do fio (mm)	d_{fa}	Diâmetro do fio (mm)	d_{fa}
	Número de fios	n_{am}	Número de fios	n_{am}
	Passo/diâm. médio	dp_a	Passo/diâm. médio	dp_a
	Material	Material	Material	Material
Cobertura	Diâmetro externo (mm)	d_{cob}	Diâmetro externo (mm)	d_{cob}
	Material	Material	Material	Material

A tabela a seguir apresenta os possíveis materiais para cada parte do cabo.

Tabela 9 – Materiais por parte do cabo.

Parte do Cabo	Material
Condutor	Cobro, Alumínio
Blindagem semicondutora do condutor	Blindagem semicondutora
Isolação	XLPE
Blindagem semicondutora da isolação	Blindagem semicondutora
Blindagem metálica dos fios	Cobro, Alumínio
Capa metálica	Cobro, Alumínio, Chumbo
Enchimento	PP, PEAD
Acolchoamento	Blindagem semicondutora
Armação metálica dos fios	Cobre
Cobertura	PEAD

Não é comum, embora possível em situações específicas, adotar cabos tripolares nas linhas de transmissão subterrâneas. Ao contrário, para algumas linhas de transmissão subaquáticas pode ser vantajoso adotar a construção tripolar, devido a menores perdas e preço de instalação.

3.2.4 Tipos de instalação

Como os cálculos térmicos e elétricos não são possíveis sem uma forma de instalação associada, admite-se que tenha sido definida ao menos uma disposição típica para os cabos, que se constitui na única ou na mais frequente em todo o trajeto da linha de transmissão.

De uma forma mais geral, pode-se considerar que existem trechos da linha de transmissão que necessitam de outras formas de instalação, como travessias com MND e túneis, as quais também serão consideradas nos critérios de custeio.

Conforme mencionado anteriormente, nem todos os pormenores do trajeto são conhecidos na análise comparativa de alternativas do relatório R1 e a introdução de um tipo de instalação mais caro posteriormente poderá requerer a reavaliação da solução escolhida.

3.2.5 Descrição da rota da linha de transmissão

A definição de um trajeto de referência para a linha de transmissão e, portanto, da sua extensão é sempre conhecida e, de um modo geral, o motivador pela escolha da alternativa subterrânea ou subaquática, ao invés da instalação aérea, em função das características de urbanização local, restrições ambientais etc.

Ao contrário, a definição dos comprimentos de lances dos cabos durante as atividades de planejamento somente é necessária no caso de modelagem para transitórios eletromagnéticos de sistemas de aterramento especiais (*single-point* ou *cross-*

bonding). E, ainda assim, para fins de planejamento, pode-se assumir estimativas iniciais.

A Tabela 10 mostra um modelo preliminar para descrição de todo o trajeto de uma linha de transmissão subterrânea ou subaquática para fins de custeio.

Observa-se neste modelo que, além de terminais, é possível ter emendas no início ou final da LT. Isso ocorre basicamente em duas situações: transição entre trecho subaquático e subterrâneo ou quando se deseja avaliar o custo de um seccionamento de linha de transmissão subterrânea existente.

Para cada trecho de vala, MND ou túnel existem atributos adicionais necessários para a descrição das suas dimensões e custeio.

No modelo faltam parâmetros para indicar se o trecho será instalado em locais com alta ou baixa interferência no subsolo e sobre a categoria do solo. Como essas definições podem não coincidir com os lances propostos, foram deixadas juntamente com a definição das valas.

Tabela 10 – Modelo proposto para descrição completa da linha de transmissão.

Lance		Instalação (%)	Acessório início lance	Aterramento
No.	Comprimento (m)			
1		☐ Vala ____% ☐ MND ____% ☐ Túnel ____%	☐ Terminal externo ☐ Terminal SF ₆ ☐ Emenda	☐ Aterrado ☐ Isolado
2		☐ Vala ____% ☐ MND ____% ☐ Túnel ____%	☐ Emenda	☐ Aterrado ☐ Isolado
3		☐ Vala ____% ☐ MND ____% ☐ Túnel ____%	☐ Emenda	☐ Aterrado ☐ Isolado
...	...	...	...	...
n-1		☐ Vala ____% ☐ MND ____% ☐ Túnel ____%	☐ Emenda	☐ Aterrado ☐ Isolado
n		☐ Vala ____% ☐ MND ____% ☐ Túnel ____%	☐ Emenda	☐ Aterrado ☐ Isolado
Final			☐ Terminal externo ☐ Terminal SF ₆ ☐ Emenda	☐ Aterrado ☐ Isolado

Nota: inicialmente as extensões dos trechos construídos em vala, MND ou túnel foram definidas em percentual do total, mas pode ser mais prático utilizar diretamente em

metros, o que deve ser avaliado na etapa IV durante os testes.

Exemplo 1: linha de transmissão subterrânea de 5 km de extensão, subestação de um lado convencional ao ar livre e do outro GIS, trecho inicial single-point e duas *major sections* com ligação *cross-bonded* pode ser representada como na tabela seguinte.

Tabela 11 – Descrição pormenorizada da linha de transmissão do exemplo 1.

Lance		Instalação (%)	Acessório início lance	Aterramento
No.	Comprimento (m)			
1	350	☒ Vala 100 % ☐ MND ____% ☐ Túnel ____%	☒ Terminal externo ☐ Terminal SF ₆ ☐ Emenda	☐ Aterrado ☒ Isolado
2	730	☒ Vala 90 % ☒ MND 10 % ☐ Túnel ____%	☒ Emenda	☒ Aterrado ☐ Isolado
3	750	☒ Vala 100 % ☐ MND ____% ☐ Túnel ____%	☒ Emenda	☐ Aterrado ☒ Isolado
4	770	☒ Vala 95 % ☒ MND 5 % ☐ Túnel ____%	☒ Emenda	☐ Aterrado ☒ Isolado
5	800	☐ Vala ____ % ☐ MND ____% ☒ Túnel 100 %	☒ Emenda	☒ Aterrado ☐ Isolado
6	800	☐ Vala ____ % ☐ MND ____% ☒ Túnel 100 %	☒ Emenda	☐ Aterrado ☒ Isolado
7	800	☐ Vala ____ % ☐ MND ____% ☒ Túnel 100 %	☒ Emenda	☐ Aterrado ☒ Isolado
Final			☐ Terminal externo ☒ Terminal SF ₆ ☐ Emenda	☒ Aterrado ☐ Isolado

Exemplo 2: linha de transmissão subaquática de 6,5 km de extensão, de um lado transição para linha aérea e, do outro, transição com emenda para linha subterrânea, pode ser representada como na tabela seguinte.

Tabela 12 – Descrição pormenorizada da linha de transmissão do exemplo 2.

Lance		Instalação (%)	Acessório início lance	Aterramento
No.	Comprimento (m)			
1	6500	☐ Vala ____% ☐ MND ____% ☐ Túnel ____%	☒ Terminal externo ☐ Terminal SF ₆ ☐ Emenda	☐ Aterrado ☒ Isolado
Final			☐ Terminal externo ☐ Terminal SF ₆ ☒ Emenda	☒ Aterrado ☐ Isolado

3.2.6 Número e tipos de terminais

Essa definição consiste em associar a cada extremidade da linha de transmissão, que pode ser uma transição para linha aérea ou subestação, se o tipo de terminal é para uso externo ou para subestação blindada SF₆ (GIS).

Existe um terceiro tipo de terminal para entrada em transformadores, o qual, por ser raramente utilizado, não será considerado.

Adicionalmente deve se considerar se o terminal, seja de qualquer tipo, está aterrado ou isolado (isto é, conectado à terra por meio de um SVL).

3.2.7 Número e tipos de emendas

Os tipos de emendas estão associados com o sistema de aterramento da LT.

Para a ligação *cross-bonded* as emendas intermediárias entre os pontos aterrados precisam ser seccionadas para possibilitar a eliminação da transposição das blindagens e capas metálicas. Já as emendas ligadas solidamente à terra poderiam ser retas (isto é, não seccionadas).

Na prática, contudo, utiliza-se muitas vezes sempre emendas seccionadas que, no caso de serem diretamente aterradas, têm ambos os lados do seccionamento ligados ao mesmo ponto de terra.

Essa hipótese será adotada nesse trabalho, de modo que a diferenciação dos preços se dará pelo tipo de *link box* associado com cada emenda.

Evidentemente, quanto menor o número de emendas, menos montagens, obras civis

com caixas e maior produtividade da instalação.

Na prática, a quantificação das emendas de cada tipo está associada com a divisão da extensão total do trajeto em lances de cabos, cujo comprimento máximo está vinculado com algumas restrições:

- a) Peso e dimensões do carretel para transporte em vias urbanas, em se tratando de linhas de transmissão subterrâneas;
- b) Esforços máximos de puxamento;
- c) Sobretensões admissíveis pelas coberturas e emendas, no caso de aterramentos *single point* e *cross-bonding*;
- d) Divisibilidade do comprimento por número múltiplo de 3 no caso de *cross-bonding*;
- e) Espaço para construção de caixas de emendas nos locais correspondentes ao início e final de um lance.

De um modo geral, os lances utilizados podem ter comprimentos entre 500 m até 1200 m, sendo o limite superior viável apenas para cabos menores e mais leves e em condições favoráveis de traçado e para redução das sobretensões induzidas.

Embora existam exceções, para aterramento *cross-bonding* os lances são tipicamente da ordem de 800 m, enquanto para *single-point* utilizam-se extensões menores, de até 500 m. Para aterramento em ambas as extremidades, normalmente utilizados apenas em cabos subaquáticos, não há limitação relevante desde que o acolchoamento seja semicondutor.

Para linhas subaquáticas, tanto quanto possível, evitam-se emendas. Isso é possível para comprimentos da ordem de algumas dezenas de quilômetros, dependendo das características do cabo e do(s) tipo(s) de embarcação(ões) a ser(em) utilizada(s) para o transporte e lançamento.

3.2.8 Partes sobressalentes

Como condição *default* as partes sobressalentes devem ser suficientes para realizar um reparo de defeito em qualquer parte da linha de transmissão e, portanto, compreender:

- a) Um lance de cabo de potência de alta tensão (a regra prática de segurança em linhas subterrâneas é que a reserva seja igual ao maior dos lances, o que permite substituir qualquer um deles, em caso de danos no transporte, erro na instalação, furto etc.);
- b) Duas emendas;
- c) Um terminal de cada tipo.

Sugere-se facultar ao usuário inserir quantidades diferentes, especialmente para o comprimento dos cabos.

3.2.9 Outras opções de entrada para os cálculos

Antes da execução dos cálculos, devem ser avaliadas e previstas algumas opções relativas a:

- a) Informar o estado da federação para associação dos custos civis e ICMS;
- b) ICMS: considerar ou não a alíquota interna estadual, em função de ex tarifários;
- c) Aplicabilidade ou não do REIDI: trata-se de uma forma de prever eventual mudança futura nas regras vigentes;
- d) Incluir ou não ensaios de tipo;
- e) Considerar ou não a realização de ensaios após a instalação para verificação da integridade da isolação devido a possibilidade de realizar energização em vazio por 24 h permitida pela IEC 62067 [4];
- f) BDI: utilização de valores *default* ou calculados;
- g) Fatores sobre os preços de materiais, serviços ou obras civis, de acordo com o item 10.2.

Caso se opte por calcular o BDI caso a caso, a fórmula geral do BDI proposta pelo TCU é:

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

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 (%)

Observa-se que caso se decida calcular o BDI são necessários diversos dados. Por outro lado, é possível também diferenciar o BDI para obras civis e serviços ou introduzir impostos não considerados pelo TCU (IRPJ e CSLL) quando aplicáveis.

Para a utilização de valores padrão, são adotados valores de acordo com o TCU, conforme apresentados pela

Tabela 13.

Tabela 13 – Valores padrão considerados pelo TCU.

Sigla	BDI	BDIS
AC	5,92%	5,92%
R	1,48%	0
S + G	0,51%	0
DF	1,07%	0
L	8,31%	8,31%
T	7,68%	7,68%

3.3 Relatórios de resultados

Seguindo o objetivo de apresentar uma especificação geral da ferramenta de cálculo a ser implementada na etapa IV, uma lista mínima de resultados de saída deveria conter:

- a) Custos unitários e totais, conforme modelo da Tabela 14;
- b) BDI de obras civis e serviços;
- c) Fatores eventuais (item 10.2);
- d) Curva ABC, para identificar o impacto dos itens mais relevantes.

Tabela 14 – Exemplo de desdobramento do custo total em forma de planilha orçamentária.

Tipo	Descrição	Quant.	R\$/un.	R\$	% total
Serviços	Administração e mobilização				
	Montagens eletromecânicas				
	Instalação e comissionam. DTS				
	Ensaaios de tipo				
	Ensaaios após a instalação				
	Subtotal serviços				
	Projeto, licenças, suprimentos e logística				
Materiais	Cabo de potência de alta tensão				
	Terminais para uso externo				
	Terminais para sub. SF ₆ (GIS)				
	Emendas				
	DTS				
	Outros cabos (óticos, aterr.)				
	Subtotal materiais				
Obras civis	Administração e mobilização				
	Valas e MND				
	Túneis				
	Caixas, abrigos e fundações				
	Subtotal obras civis				
Outros	Faixas de servidão				
	CCI				
Total sem eventuais					
Total com eventuais					

4. Resumo dos itens considerados no custeio

Todos os serviços, materiais, obras civis e outros custos considerados nos itens subsequentes deste relatório estão listados a seguir.

Tabela 15 – Itens considerados de serviços, materiais, obras civis e outros.

Tipo	Descrição	Item
Serviços	Administração e mobilização	5.7
	Projeto, licenças, suprimentos e logística	5.1
	Instalação dos dutos	5.2.1
	Lançamento dos cabos	5.2.2
	Montagem de terminais para uso externo	5.2.3
	Montagem de terminais para subestação SF ₆ (GIS)	5.2.4
	Montagem de emendas	5.2.5
	Lançamento dos cabos com montagem de ferragens em túneis	5.2.6
	Lançamento dos cabos óticos e de aterramento	5.2.7
	Instalação e comissionamento do DTS	5.2.8
	Instalação de cabos subaquáticos	5.3
	Ensaio de tipo	5.4
	Ensaio após a instalação	5.5
Materiais	Cabo de potência de alta tensão	6.1 e 6.2
	Módulo de terminais para uso externo	7.1
	Módulo de terminais para subestação SF ₆ (GIS)	7.2
	Módulo de emendas	7.3
	DTS	7.4
	Cabo de aterramento (<i>single-point</i>)	7.6
	Cabo ótico	7.6
Obras civis	Administração e mobilização	8.1
	Valas	8.2
	MND	8.3
	Túneis	8.4
	Caixas de emendas	8.5
	Abrigos de <i>link boxes</i>	8.5
	Caixas de injeção de bentonita	8.6
	Fundações de base suporte de terminais externos	8.7
	Dutos	8.2.4
Outros	Faixas de servidão	9.2
	CCI	9.2
	Fatores de custos eventuais	10.2

5. Serviços

Este item contempla os principais serviços necessários para a construção de uma LT subterrânea ou subaquática.

5.1 Projeto, licenças, suprimentos e logística

Por simplicidade foram englobadas em um único item todas as atividades de projeto básico, obtenção de licenças ambientais, do IPHAN e permissões municipais e projeto executivo.

Devido à dificuldade de estimação mais precisa, será adotada a fórmula já apresentada no relatório da etapa I [4], como representativa de preços reais, porém com uma adaptação, que considera o custo total e não apenas o valor das obras civis.

Resulta:

$$P_{projeto_licenças} = \left[-0,0060709 \cdot \ln \left(\frac{CSUB}{tx} \right) + \frac{15,9964}{100} \right] CSUB \quad (2)$$

Onde:

CSUB: custo total calculado da LT, excluindo-se o valor de projeto e licenças (R\$), com valor calculado no Capítulo 10, sendo $CSUB = CSUBT$ para linhas de transmissão subterrâneas e $CSUB = CSUBA$ para linhas de transmissão subaquáticas.

tx: taxa de câmbio (US\$/R\$)

Essa fórmula tem percentuais decrescentes quanto maior for a obra, o que é razoável e aderente a práticas de mercado.

Ao contrário, no documento da ANEEL sobre LT aéreas [6] o valor do projeto básico é 1,0 %, projeto executivo 2,0 % e os custos ambientais 3,0 % do custo direto básico, ou seja, os percentuais são fixos.

Comparativamente com LT com cabos isolados, espera-se que o projeto básico seja da mesma ordem de grandeza, enquanto o projeto executivo e aspectos ambientais sejam menores.

Além disso, verifica-se que a base utilizada pela ANEEL é maior, pois o custo direto básico inclui todos os componentes e obras da LT.

Assim, preferiu-se adotar a fórmula adaptada para o custo total, ao invés dos percentuais fixos da ANEEL.

As atividades de suprimentos e logística podem ser consideradas, pelo menos em parte, como um custo fixo do empreendedor. Ou seja, admite-se que possam ser

absorvidas em grande parte pela própria estrutura da empresa e que somente representam despesas adicionais itens específicos como a contratação de um despachante aduaneiro e o transporte e armazenagem dos materiais adquiridos até a sua instalação na linha de transmissão. Dessa forma, estes custos não serão considerados.

5.2 Instalação e montagens eletromecânicas de LT subterrâneas

Esses serviços consistem no puxamento dos cabos nos dutos, ou na vala quando diretamente enterrados, ou, ainda, em túneis e travessias MND, montagem de emendas, terminais e instalação e comissionamento do DTS.

Essas atividades envolvem a mobilização de alguns equipamentos como guinchos, dinamômetro, talhas, guindastes, roletes para cabos, máquinas de solda ou de compressão de conectores, ferramentas várias e especializadas para remoção da blindagem semicondutora da isolação, inserção de corpo de emendas ou cone defletor de terminais, montagem de andaimes e recintos limpos etc. não consideradas explicitamente nas fórmulas que serão apresentadas a seguir, mas tratados no item 5.7.

5.2.1 Instalação dos dutos

Os dutos são relativamente leves, por outro lado vêm em comprimentos curtos e precisam ser bem alinhados, o que reduz a produtividade de instalação. Assim, na composição deste preço admitiu-se:

- a) Um valor conhecido de produtividade de instalação para as atividades de posicionamento com gabaritos, esticamento dos dutos, emendas etc.;
- b) Equipe local, precificada em R\$/h, com três auxiliares de serviços gerais e um auxiliar técnico de engenharia;
- c) O mesmo preço para lançamento em trechos com MND.

Resulta:

$$SID = 8(1 + BDIS)(UAT + 3USG) \frac{L_{LT1}}{PID} (N_{fases} + N_{outros}) \quad (3)$$

Onde:

SID: serviços de instalação dos dutos (R\$)

UAT: custo unitário do auxiliar técnico de engenharia (código SINAPI 88255)

USG: custo unitário dos auxiliares de serviços gerais (código SINAPI 88252)

L_{LT1}: comprimento total dos trechos instalados em vala e MND da linha de transmissão (m)

PID: produtividade média de instalação dos dutos (*default*: 200 m/turno de 8 h)

N_{fases}: número de fases

N_{outros}: número de outros cabos, ou seja, quantidade de cabos óticos e de aterramento

BDIS: BDI para serviços

O valor do BDI para serviços pode ser estimado pela fórmula (1), eliminando os itens não aplicáveis como seguros, garantias etc. e supondo uma empresa no regime fiscal de lucro presumido (4,80 % de IRPJ e 2,88 % de CSLL) com benefício do REIDI, conforme a Tabela 13, como:

$$BDIS = \frac{(1 + 0,0592 + 0 + 0)(1 + 0)(1 + 0,0831)}{1 - 0,0768} - 1 = 0,2427$$

5.2.2 Lançamento dos cabos

Para compor este preço admitiu-se:

- a) Produtividade de conhecida, definida em número de lances médios por dia (turno de 8 h), para as atividades de posicionamento e colocação dos carretéis sobre cavaletes, passagem de mandril, para verificação de que o duto não apresenta interrupções ou esmagamentos, seguida do puxamento controlado do cabo;
- b) Supervisão do fabricante;
- c) Equipe local, precificada em R\$/h, com 3 auxiliares de serviços gerais e um auxiliar técnico de engenharia;
- d) O mesmo preço para lançamento em trechos com MND do que em valas.

Obtém-se a fórmula:

$$SLC = [USL \times txe + 8(1 + BDIS)(UAT + 3USG)] \frac{L_{LT1} N_{fases}}{PLC \times L_{médio}} \quad (4)$$

Onde:

SLC: serviços de lançamento dos cabos (R\$)

USL: custo unitário de supervisão de lançamento pelo fabricante

txe: taxa de câmbio aplicável, de acordo com a unidade de USL (€/R\$)

PLC: produtividade média de lançamento dos cabos (*default*: 2 lances)

L_{médio}: lance médio, obtido da entrada de dados descrita no item 3.2.5 (m)

O valor de *USL* adotado foi de 1.330 €/dia, correspondente à única resposta recebida na etapa I [4], mas que pode ser atualizado na base de dados de serviços, caso novas cotações sejam disponibilizadas.

No SINAPI existem alguns custos específicos para ajudantes de mecânicos ou eletricitas, porém, devido à pequena diferença de valores e com intuito de simplificação, preferiu-se adotar sempre o valor referente a auxiliar de serviços gerais, nesse e nos próximos subitens, independentemente da especialidade requerida.

5.2.3 Montagem de terminais para uso externo

Neste caso admitiu-se:

- a) Produtividade conhecida de montagem de um terminal para uso externo, compreendendo as atividades de montagem do andaime com recinto limpo, montagem de base, preparação de condutor, remoção de blindagem semicondutora da isolação, inserção de cone defletor, colocação do isolador, preenchimento com óleo, conexões e montagem das *link boxes* associadas;
- b) Supervisão do fabricante;
- c) Equipe local, precificada em R\$/h, com dois auxiliares de serviços gerais e um auxiliar técnico de engenharia.

A fórmula, nesse caso, se torna:

$$SMTE = [USTE \times tx + 8PM1(1 + BDIS)(UAT + 2USG)]N_{TE} \quad (5)$$

Onde:

SMTE: serviços de montagem de terminais para uso externo (R\$)

USTE: custo unitário de supervisão de montagem de terminais para uso externo, conforme Tabela 16

tx: taxa de câmbio aplicável, de acordo com a unidade de USTE (US\$/R\$ ou €/R\$)

PM1: produtividade média de montagem de terminais para uso externo (*default*: 5 dias, com turno de 8 h)

N_{TE} : número de terminais para uso externo

Para definir o valor recorreu-se, novamente, às cotações recebidas na etapa I. Como uma das respostas não contemplou acessórios 500 kV adotou-se a hipótese da mesma proporção de preços entre 345 kV e 230 kV, isto é: $P_{500kV} = \frac{P_{345kV}^2}{P_{230kV}}$.

O preço final adotado foi a mediana de todos os valores recebidos e convertidos para US\$.

Tabela 16 – Valores USTE (US\$/terminal).

230 kV	345 kV	500 kV
9.568,66	12.286,00	14.077,33

5.2.4 Montagem de terminais para subestação SF₆ (GIS)

Trata-se de caso análogo ao precedente, considerando:

- Produtividade conhecida de montagem de um terminal para GIS, compreendendo as atividades de montagem do andaime e recinto limpo, preparação de condutor, remoção de blindagem semicondutora da isolação, inserção de cone defletor, colocação do isolador de epóxi, conexões, aperto torquimétrico dos parafusos e montagem das *link boxes* associadas;
- Supervisão do fabricante;
- Equipe local, precificada em R\$/h, com dois auxiliares de serviços gerais e um auxiliar técnico de engenharia.

A fórmula, nesse caso, se torna:

$$SMTG = [USTG \times tx + 8PM2(1 + BDIS)(UAT + 2USG)]N_{TG} \quad (6)$$

Onde:

SMTG: serviços de montagem de terminais para subestações GIS (R\$)

USTG: custo unitário de supervisão de montagem de terminais para uso externo, conforme Tabela 17

tx: taxa de câmbio aplicável, de acordo com a unidade de USTG (US\$/R\$ ou €/R\$)

PM2: produtividade média de montagem de terminais para GIS (*default*: 4 dias, com turno de 8 h)

N_{TG} : número de terminais para entrada em subestação GIS (SF₆)

Nesse caso, para uma das cotações recebidas na etapa I, a resposta foi limitada a 345 kV. Dessa maneira, os preços para 230 kV foram considerados na mesma proporção dos terminais para uso externo e para 500 kV com o mesmo critério do item precedente.

O preço final adotado foi a mediana de todos os valores recebidos e convertidos para US\$.

Tabela 17 – Valores USTG (US\$/terminal).

230 kV	345 kV	500 kV
9.154,96	11.780,07	13.458,63

5.2.5 Montagem de emendas

Foram consideradas as seguintes hipóteses:

- Produtividade conhecida de montagem de uma emenda, compreendendo as atividades de montagem do recinto limpo, posicionamento dos cabos, preparação e conexão do condutor, remoção de blindagem semicondutora da isolamento, inserção de cone defletor, colocação do corpo isolante, carcaça, preenchimento com resina, montagem e conexões das *link boxes* e cabos concêntricos associados;
- Supervisão do fabricante;
- Equipe local, precificada em R\$/h, com dois auxiliares de serviços gerais e dois auxiliares técnicos de engenharia.

A fórmula, nesse caso, se torna:

$$SME = [USE \times tx + 8PM3(1 + BDIS)(2UAT + 2USG)]N_E \quad (7)$$

Sendo:

SME: serviços de montagem de emendas (R\$)

USE: custo unitário de supervisão de montagem de emendas, conforme Tabela 18

tx: taxa de câmbio aplicável, de acordo com a unidade de *USE* (US\$/R\$ ou €/R\$)

PM3: produtividade média de montagem de emendas (*default*: 4 dias, com turno de 8 h)

N_E: número de emendas.

O tratamento das cotações orçamentárias recebidas na etapa I foi o mesmo descrito para os terminais para GIS.

O preço final adotado foi a mediana de todos os valores recebidos e convertidos para US\$.

Tabela 18 – Valores USE (US\$/emenda).

230 kV	345 kV	500 kV
9.445,12	12.197,75	13.020,96

5.2.6 Lançamento dos cabos com montagem de ferragens em túneis

Essa situação é particular, pois, por um lado o puxamento é facilitado e, por outro, existem muitas montagens de ferragens. As hipóteses adotadas são:

- Um valor conhecido de produtividade de instalação para as atividades de puxamento controlado do cabo e montagem de ferragens, incluindo aperto torquimétrico de parafusos;
- Supervisão do fabricante com mesmo preço do lançamento em dutos;
- Equipe local, precificada em R\$/h, com três auxiliares de serviços gerais e um auxiliar técnico de engenharia.

A fórmula adotada é, então:

$$SICT = [USL \times txe + 8(1 + BDIS)(UAT + 3USG)] \frac{L_{LTT}}{PLT} N_{fases} \quad (8)$$

Sendo:

SICT: serviço de instalação de cabos em túneis (R\$)

txe: taxa de câmbio aplicável, de acordo com a unidade de USL (US\$/R\$ ou €/R\$)

L_{LTT}: comprimento dos trechos instalados em túnel da linha de transmissão (m)

PLT: produtividade média de instalação dos cabos em túnel (*default*: 200 m/turno de 8 h)

5.2.7 Lançamento dos cabos óticos e de aterramento

Nesse caso admite-se que o custo de supervisão do fabricante já está incluído no lançamento dos cabos de potência. Assim, fica:

Assim:

$$SLOC = 8(1 + BDIS)(UAT + USG) \frac{L_{LT1}}{PLC \times L_{médio}} N_{outros} \quad (9)$$

Onde:

SLOC: serviço de lançamento de outros cabos (R\$)

N_{outros}: número de outros cabos - cabos óticos e de aterramento.

5.2.8 Instalação e comissionamento do DTS

A instalação e comissionamento do DTS independe da classe de tensão e considerou:

- a) Produtividade conhecida para as atividades de conexões óticas e elétricas;
- b) Supervisão do fabricante;
- c) Equipe local, precificada em R\$/h, com um auxiliar de serviços gerais e um auxiliar técnico de engenharia.

Consequentemente, adota-se a fórmula:

$$SDTS = UDTs \times txe + 8PM4(1 + BDIS)(UAT + USG) \quad (10)$$

Sendo:

SDTS: serviços de instalação e comissionamento do DTS (R\$)

UDTS: custo unitário de supervisão de instalação (€ 18.500, segundo a única cotação orçamentária recebida na etapa I)

PM4: produtividade média de montagem do DTS (*default*: 3 dias, com turno de 8 h)

5.2.9 Exemplo de cálculo

A partir das fórmulas dos subitens anteriores, calcula-se o preço dos serviços de instalação eletromecânica de LT subterrânea, circuito duplo, 230 kV, com 9 lances de 760 m, totalmente em vala, terminais para uso externo em ambas as extremidades e um cabo ótico. Utilizada taxa de câmbio de 6,6 R\$/€.

$$SID = 8 \times 1,2427(36,19 + 3 \times 21,72) \frac{6.840}{200} (6 + 1) = R\$ 241.214,93$$

$$SLC = [1.330 \times 6,6 + 8 \times 1,2427(36,19 + 3 \times 21,72)] \frac{6.840}{2 \times 760} 6 = R\$ 264.210,67$$

$$SMTE = [11.170 \times 6,6 + 40 \times 1,2427(36,19 + 2 \times 21,72)] 12 = R\$ 932.162,98$$

$$SME = [10.960 \times 6,6 + 40 \times 1,2427(2 \times 36,19 + 2 \times 21,72)]48 = R\$ 3.748.472,67$$

$$SLOC = 8 \times 1,2427(36,19 + 21,72) \frac{6.840}{2 \times 760} 1 = R\$ 2.590,73$$

$$SDTS = 18.500 \times 6,6 + 24 \times 1,2427(36,19 + 21,72) = R\$ 123.827,15$$

Somado as parcelas e acrescentando 3,0 % (R\$ 159.374,37) de mobilização resulta o preço total de serviços de montagem eletromecânica de R\$ 5.471.853,52.

5.3 Instalação de LT subaquáticas

Esses serviços consistem no lançamento dos cabos, com ou sem vala, ancoragem nas margens e montagem de emendas, normalmente de transição para o trecho terrestre, mas que em LT muito longas podem ser necessárias ao longo do trecho lançado no mar.

As linhas já instaladas no Brasil, considerando inclusive aquelas de tensões abaixo de 230 kV, são curtas para os padrões internacionais e estão em águas rasas (por vezes muito rasas para permitir a navegação com um navio).

Consequentemente, os métodos de instalação diferem daqueles encontrados nos artigos técnicos e catálogos de fabricantes que tratam de LT em alto mar, tendo-se empregado nas instalações já realizadas no Brasil carretéis sobre *skid rollers* (base sobre a qual o carretel gira, apoiado nos flanges) ao invés de *baskets* fixos ou *turn tables* (plataformas giratórias) e, como embarcações, utilizaram-se balsas e rebocadores.

Algumas instalações são superficiais, sem abertura de vala no leito dos rios ou lagos, em função do tipo de navegação local ou aproveitando efeitos de auto enterramento pelas características do solo e correntezas.

Essas diferenças são fundamentais para não se adotarem custos excessivos aplicáveis a instalações em alto mar, com navios dotados de sistemas DP3 e abertura de valas no fundo do mar com veículos de operação remota (ROV).

Dessa forma, para o estabelecimento de referências de custo propõem-se três situações de instalação:

- Superficial em águas rasas, com lances até 5 km, na qual o cabo é simplesmente lançado no leito do rio, lago ou mar;
- Com enterramento em águas rasas, lances de até 15 km, usando arado e mergulhadores;
- Alto mar com lances maiores que 15 km, abertura de vala e emprego de ROV.

No caso de **instalação superficial**, a instalação pode ser feita com maior velocidade.

Admite-se, ainda, 8 h/dia e que é possível, no máximo transportar três lances em uma embarcação, que é a única necessária para a instalação. Resulta:

$$SIS1 = DIS + tx(EMB + COMB) \left(\frac{L_{LTSUBA} N_{fases}}{8 \times V1} + TD \frac{N_{fases}}{3} \right) \quad (11)$$

Onde:

L_{LTSUBA} : comprimento da instalação subaquática (km)

DIS : despesas totais da instalação subaquática, incluindo mão de obra, deslocamento, equipamentos etc.

$V1$: velocidade de instalação superficial (default: 5 nós, equivalente a 9,26 km/h [7])

EMB : preço da embarcação, US\$ 65.000/dia [7]

$COMB$: preço do combustível da embarcação, US\$ 25.000/dia [7]

TD : tempo de deslocamento da embarcação até o local de instalação, ida e volta (dias)

O montante de despesas de instalação é muito variável com a localidade, duração da obra etc. Como ordem de grandeza dessas despesas, estima-se que seja tão alto quanto os custos da embarcação, mas não foi possível identificar uma fórmula aplicável.

A situação b) corresponde àquela das respostas recebidas no levantamento da etapa I. Infelizmente, as respostas são discrepantes. Uma transmissora declarou como valor total (cabo e instalação) R\$ 52.738.084 para 4,2 km e um circuito, ou seja, $52.738.084/4,2/1,76/3 = 2.378.160$ US\$/km/fase.

A segunda transmissora declarou apenas para a instalação R\$ 51.408.459,83 para 13,01 km e dois circuitos, mas com cotação do dólar maior, ou seja, $51.408.459,83/13,01/5,45/6 = 120.840$ US\$/km/fase.

Mesmo admitindo-se que o custo de instalação da primeira resposta seja um percentual de, por exemplo, 25 % do total, ainda se teria uma instalação seis vezes mais cara, em dólares, que aquela da segunda resposta.

Por outro lado, o valor da segunda resposta se beneficia da diluição do custo de mobilização por se tratar de LT circuito duplo, mas também pode se tratar de uma estimativa inicial ou do valor dispendido até a data da resposta, pois a linha ainda não foi totalmente instalada (a previsão é de conclusão em 2022).

Para verificar a consistência do segundo valor recebido como resposta, utilizou-se a fórmula de instalação superficial, mas com velocidade bem menor, de 0,2 km/h [8], para considerar a abertura de vala e considerando-se 10 dias de tempo de deslocamento. Nessas condições obtém-se R\$ 33.721.875,00 apenas com preço da embarcação (79.326,92 US\$/km/fase).

Portanto, o valor parece ser factível e será adotado como referência para o segundo caso:

$$SIS2 = tx120.840L_{LTS}N_{fases} \quad (12)$$

Para o último caso, em alto mar, admite-se a equação extraída da literatura técnica e já apresentada no produto da etapa I [5], que engloba o custo total da LT subaquática em função do seu comprimento e potência e não apenas o preço dos serviços de instalação. Essa equação está reapresentada no item 10.4.

As estimativas precedentes não consideram contingências longas por mau tempo, abandono do cabo com posterior recuperação, danos e reparos no próprio local etc. Tais situações devem ser tratadas por meio do fator proposto no item 10.3.

5.4 Ensaios de tipo

Dependendo do tratamento comercial, os ensaios de tipo podem ter seu valor incorporado no preço do cabo ou cobrados separadamente. Existe, ainda, a possibilidade de o cliente aceitar relatórios existentes de cabos similares, conforme prescrito pela IEC 62067 [4]. Portanto, trata-se de item optativo na simulação.

A estimativa do preço do ensaio de tipo envolve serviços do laboratório e materiais (um trecho de cabo, uma emenda e um terminal para uso externo, se aplicável, e dois terminais para blindada SF₆ ligados *back to back*).

Para os serviços de laboratório e montagens foi estimado um valor médio diário por 50 dias. Resulta, então:

$$PET = tx(0,05PV + PE + 2PMT + 50PMDL) \quad (13)$$

Onde:

PET: preço dos ensaios de tipo (R\$)

PV: preço de venda do cabo (US\$/km)

PE: preço de venda de uma emenda (US\$)

PMT: preço de venda médio de um terminal (US\$), com *PTE* e *PTG* para a atenção adotada:

$$PMT = \frac{PTE+PTG}{2} \quad (14)$$

PMDL: preço médio da diária do laboratório para ensaios de tipo (*default*: US\$ 3.000/dia)

No caso do PMT, o coeficiente 2 é uma aproximação média, pois são dois terminais SF₆ e um para uso externo no caso de ambos serem ensaiados ou um terminal para uso externo apenas (o segundo pode ser provido pelo laboratório).

5.5 Ensaios após a instalação

Conforme prescrito pela IEC 62067 [4], os ensaios após a instalação consistem em:

- a) Ensaio de tensão contínua na cobertura;
- b) Ensaio de tensão alternada na isolação.

A execução do ensaio com tensão contínua não requer equipamentos de alta potência, apresenta boa disponibilidade no mercado, podendo ser realizada com fontes próprias ou como serviço contratado por várias empresas locais.

A maior dificuldade desse ensaio é a desconexão dos SVL. Dessa maneira, seu custo é uma função do número e distância entre as caixas de emendas.

Apesar de não cobertos pela norma, são necessárias verificações com OTDR da atenuação dos enlaces óticos, tanto do cabo ótico para proteção, quanto dos sensores internos dos cabos.

Além disso, é boa prática realizar verificações da ligação *cross-bonded*, faseamento etc.

Dessa maneira, a estimativa proposta a seguir engloba todas essas verificações em um único preço.

$$POE = (1 + BDIS)(UAT + 2USG) \left(8N_{fases} + 4 \frac{N_E}{N_{fases}} + 8 \right) \quad (15)$$

Onde:

POE: preço dos outros ensaios (R\$)

Estritamente sob o ponto de vista normativo, sem levar em conta riscos operacionais, o ensaio de alta tensão na isolação pode ser substituído pela energização em vazio por 24 h. Para atender a essa condição, a inclusão ou não desse preço no custeio deve ser opcional.

Considerando o caso da realização da verificação da integridade da isolação, o critério adotado para estabelecimento do preço desse serviço tem como base inicial o número de fontes requeridas.

Admitindo-se as características comuns de equipamentos móveis do mercado, tem-se as características da Tabela 19.

Tabela 19 – Número de reatores em função da corrente e tensão de ensaio.

Configuração	Corrente máxima (A)	Tensão máxima (kV)
1 reator	80	250
2 reatores em paralelo	160	250
3 reatores em paralelo	240	250
2 reatores em série	80	500
4 reatores, 2 em série em paralelo	160	500
6 reatores, 2 em série em paralelo	240	500

Dessa forma calcula-se a corrente no equipamento como:

$$I_c = 2\pi f_{ensaio} \times 1 \times 10^{-6} \left[\frac{\varepsilon L_{LT}}{18 \ln \left(\frac{D_{isol}}{d_{smc}} \right)} + 10 \right] V_{ensaio} \quad (16)$$

Onde:

I_c : corrente capacitiva (A)

f_{ensaio} : frequência de ensaio (adotar 20 Hz para comprimentos longos)

ε : permitividade relativa do XLPE (tipicamente igual a 2,3)

L_{LT} : comprimento da linha de transmissão (m)

D_{iso} : diâmetro externo da isolação (mm)

d_{smc} : diâmetro da blindagem semicondutora do condutor (mm)

V_{ensaio} : tensão de ensaio da tabela 4 da IEC 62067 [4], correspondente a 180 kV para 230/245 kV, 250 kV para 345/362 kV e 320 kV para 500/550 kV

Nota 1: a norma também permite um acordo para a flexibilização da tensão, com o intuito de viabilizar a execução.

Nota 2: na fórmula o termo “+ 10” entre parênteses corresponde às capacitâncias típicas de acoplamento e do divisor de tensão, adotadas como sendo 10 nF, independentemente da tensão de ensaio (hipótese simplificadora para evitar iterações).

Dispondo da corrente capacitiva e da tensão de ensaio determina-se o número de reatores conforme a Tabela 19 e se admite um preço de ensaio por módulo, incluindo a importação temporária e equipe de operação.

Além disso, há o custo de um grupo gerador utilizado como fonte independente.

No relatório sintético de equipamentos do SICRO, o código E9021, apresenta os preços produtivo e improdutivo de um gerador 456 kVA em R\$/h. O SINAPI também tem preço de aluguel de um gerador de 550 kVA (código 00039835) mas o valor muito baixo indica que os custos operacionais (diesel, principalmente) não estão inclusos.

Recomenda-se adotar o triplo do preço de referência do SICRO, pois normalmente são necessários geradores maiores (1000 kVA) e deve-se incluir um adicional para o transporte, manutenção e remuneração da empresa que aluga o equipamento.

Em condições ideais, é possível ensaiar até duas fases por turno de trabalho, mas como há ajustes iniciais, montagens e desmontagens, interrupções por mau tempo etc., adotou-se um tempo médio maior como *default*. Além disso, há um tempo improdutivo para transportes e montagens. Logo:

$$PEAT = 3T1(P_{prod} + P_{impr})N_{fases} + 3T2 \times P_{impr} + PMR \times tx \times N_{reator} \quad (17)$$

Onde:

PEAT: preço total do ensaio de alta tensão após a instalação (R\$)

PMR: preço do módulo ressonante (*default*: US\$ 100.000)

T1: tempo de ensaio por fase (*default*: 12 h)

T2: tempo de montagens e transporte (*default*: 48 h)

P_{prod}: preço produtivo da tabela de equipamentos do SICRO, código E9021 (R\$/h)

P_{impr}: preço improdutivo da tabela de equipamentos do SICRO, código E9021 (R\$/h)

N_{fases}: número de fases da LT

tx: taxa de câmbio (R\$/US\$)

N_{reator}: número de reatores (a partir da definição da corrente capacitiva por (16) e da Tabela 19).

Exemplo: linha de transmissão 230 kV, circuito duplo, com extensão de 8.400 m, cabo com $\frac{D_{iso}}{d_{smc}} = 1,8$ e 5,35 R\$/US\$.

Resulta $I_c = 41,5$ A. Sendo $V_{ensaio} = 180$ kV, é possível fazer o ensaio com apenas um reator.

Para $P_{prod} = 211,9455$ R\$/h e $P_{impr} = 9,8394$ R\$/h (São Paulo, 07/2020) resulta um total de R\$ 584.322,41.

5.6 Outros serviços

Os demais serviços podem ser de diversos tipos como vigilância dos cabos e acessórios durante a obra, consultorias específicas não demandadas para a aprovação do projeto básico, análise de contaminação do solo etc.

Devido a sua natureza variada e difícil de quantificar, será adotado, quando julgado relevante para a avaliação em questão, um fator de correção, cujo valor deve ser limitado para evitar distorções e inserido pelo usuário da simulação (vide 10.2).

5.7 Total de serviços

O valor total dos serviços é calculado pela soma dos itens precedentes aplicáveis, acrescidos da administração e mobilização:

$$SERV = (1 + AMS\%) \sum \text{Preços serviços aplicáveis} \quad (18)$$

Onde:

AMS%: percentual de administração e mobilização de serviços, embora a ANEEL adote 2% [6], sugere-se adotar 3%, devido à especificidade das LT com cabos isolados.

6. Metodologia para precificação dos cabos

Este item será dividido em duas partes.

A primeira maneira de precificação é baseada nos preços coletados pelos levantamentos junto aos fornecedores, concessionárias e ANEEL (6.1).

Considerando que, por mais ampla que seja a pesquisa e resultados obtidos, pode vir a ser necessário dispor de valores para cabos diferentes, a segunda parte consiste em estimar os preços a partir das características construtivas dos cabos (6.2).

As duas partes da metodologia de precificação são cooperativas, isto é, a parte um serve como balizador da parte dois e essa última permite uma avaliação das respostas obtidas na primeira parte.

6.1 Preços obtidos diretamente no levantamento da Etapa I

Os dados obtidos no levantamento (Etapa I) estão sujeitos a variações que podem ser intrínsecas ou a vieses introduzidos na cotação devido ao fato de ser orçamentária.

De fato, de um modo geral, há uma tendência de que cotações orçamentárias tenham valores bem mais elevados, por não estarem vinculados com um fornecimento específico, preservar margens para negociações futuras etc.

No caso de cotações para estre trabalho, o fornecedor sabe *a priori* que não haverá a contratação e tende a ser conservador.

Por outro lado, é impossível estimar o quanto cada fornecedor aumenta os preços orçamentários.

Conceitualmente, a comparação entre preços reais pagos por empresas transmissoras de energia elétrica para a construção de LT com cabos subterrâneos ou subaquáticos serviria para estabelecer coeficientes de correção dos preços orçamentários.

Entretanto, a insuficiência de dados é um aspecto que dificulta um processo de estimativa de custeio, considerando uma necessária variedade de seções de condutor e de blindagens/capas metálicas, além de classes de tensão a serem levadas em conta. Conforme relatório da etapa I [4], não foram obtidas tantas respostas e tampouco expressiva consistência entre aquelas recebidas.

Outra abordagem possível, mas também sujeita a uma suficiente disponibilidade de dados, é adotar o valor mediano ou do primeiro quartil das cotações recebidas de cada tipo de cabo, dependendo da dispersão de valores.

As respostas recebidas de distribuidoras, referentes a LT subterrâneas 138 kV, permitiriam balizar se essa hipótese não é excessivamente otimista. Observou-se que a dispersão e algumas inconsistências observadas no relatório da etapa I [4] da

consultoria impõem algumas restrições a esta abordagem.

6.2 Preços estimados a partir de características construtivas

Essa abordagem somente foi introduzida pelo fato de não se terem obtido suficientes cotações na etapa I.

O método de cálculo apresentado a seguir consiste em uma estimativa, que devidamente calibrada com alguns preços reais, pode ser útil para generalizar os preços a qualquer seção, classe de tensão, nível de curto-circuito etc.

O método consiste no cálculo das quantidades de materiais de um cabo definido pelas suas características construtivas como mostrados no item 3.2.3 e hipóteses adicionais para os custos de fabricação e alguns materiais.

Inicia-se definindo o custo variável de fabricação de um produto industrializado como:

$$CVF = MP + MOD + DVF \quad (19)$$

Onde:

CVF: custo variável de fabricação (u.m./km)

MP: custo das matérias primas (u.m./km) calculados conforme Anexo B

MOD: custo da mão de obra direta (u.m./km)

DVF: despesas variáveis de fabricação como energia elétrica, nitrogênio super seco, materiais de consumo, manutenção de maquinário etc. (u.m./km)

u.m.: representa a unidade monetária utilizada, US\$ ou €.

Consequentemente o preço industrial é:

$$PI = CVF + MC = CVF + PI \times MC\% \quad (20)$$

Logo:

$$PI = \frac{CVF}{1 - MC\%} \quad (21)$$

Sendo:

PI: preço industrial do cabo, sem frete, seguro e impostos (u.m./km)

MC: margem de contribuição total (em unidades monetárias) que deve cobrir os custos fixos da empresa, despesas variáveis de venda e o lucro (u.m./km)

MC%: margem de contribuição percentual.

A margem de contribuição aqui considerada é a total e não deve ser confundida com lucro. Ela inclui as despesas de venda (negociações, comissão a um representante ou filial local e tratativas técnicas com o cliente) e deve cobrir também os custos fixos, tais como administração, pesquisa e desenvolvimento, *marketing*, ensaios de pré-qualificação etc. O restante se constitui no lucro.

Em se tratando de produtos com maior conteúdo tecnológico e, não menos relevante, cujas penalidades incorridas em eventos como uma falha, se imputadas ao fornecedor, podem ser elevadas, devem ser esperadas margens elevadas (entre 40 % e 60 %, dependendo da aplicação, classe de tensão, quantidades, número de competidores, riscos etc.).

Por sua vez, a soma $MOD + DVF$ representa o custo de produção, que pode ser considerado como uma porcentagem do custo variável:

$$CVF = \frac{MP}{1 - CP\%} \quad (22)$$

Onde:

$CP\%$: custo de produção percentual

E, portanto:

$$PI = \frac{MP}{(1 - MC\%)(1 - CP\%)} \quad (23)$$

Apesar de não estar explicitado na equação precedente, considera-se que o preço industrial contempla também as despesas com a embalagem (normalmente um carretel de aço).

Enquanto o custo das matérias primas pode ser estimado com razoável aproximação pela quantidade de cada material nos cabos, quebras de produção e custos unitários, que, pelo menos para os metais são bem conhecidos, os valores de custo de produção e margem de contribuição dependem do país de origem, características da planta de produção, custos fixos, condições comerciais etc.

A proposta é estimá-los conjuntamente, ao invés de separadamente, em função de alguma característica do cabo.

Conceitualmente o custo de transformação dos insumos em produto acabado, depende dos tempos de produção (inverso das velocidades). Quanto maiores são as espessuras de isolamento ou cobertura, maior a seção extrudada e menores são velocidades de extrusão, maior o consumo de mão de obra e maior é o tempo de tratamento térmico da isolamento.

Por outro lado, cabos que utilizem cobre (no condutor e ou na blindagem) têm maior

massa e maior incidência do valor das matérias primas em seu custo e, conseqüentemente, preço final.

Como a massa total do cabo, calculada por considerações geométricas no Anexo B, também é consequência dos maiores diâmetros e espessuras ela será utilizada como parâmetro para relacionar os preços aos custos de matérias primas.

Para verificar a aderência da proposta e obter valores foram analisados preços recebidos na etapa I, conforme consta da Tabela 20.

Nessa tabela os valores das matérias primas foram calculados com dimensões aproximadas para os cabos 230 kV e 345 kV, pois o fabricante não forneceu *data sheets*, enquanto no caso dos cabos 138 kV utilizaram-se as dimensões fornecidas. A discrepância das massas calculadas e informadas foi menor que 4 % no pior caso.

Adicionalmente, os preços dos cabos 138 kV foram corrigidos com o mesmo valor declarado para os cabos 230 kV e 345 kV (2,2757 US\$/kg) para se dispor de dados comparáveis (idealmente seria necessário corrigir o preço do cobre das blindagens também, mas não foram fornecidas informações suficientes para isso).

Tabela 20 – Estimativa custos de produção a partir das cotações

Cabo	PI (Preço FOB) (US\$/m)	MP (US\$/m)	Massa total (kg/km)	Preço FOB / MP
2500 mm ² Al/Cu 345 kV	225,02	70,6093	21.610,35	3,1868
1600 mm ² Al/Cu 345 kV	187,07	60,4829	17.952,65	3,0929
2000 mm ² Al/Cu 230 kV	165,76	56,9047	17.795,11	2,9130
2000 mm ² Al/Cu 138 kV	127,62	40,4510	13.239,51	3,1549
1200 mm ² Al/Cu 138 kV	73,10	29,1833	9.307,60	2,5049

Na tentativa inicial de regressão dos dados obteve-se um coeficiente $R^2 = 0,545$, que é razoável, mas estava claramente influenciado pelo preço destoante do cabo 2000 mm² Al/Cu 138 kV. Removendo-o, obteve-se a curva Figura 8. Ou seja:

$$PI = (5,6285 \times 10^{-5} m_{total} + 1,9863) MP \quad (24)$$

Onde:

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

A discrepância entre o resultado fornecido por essa equação e o preço do cabo 2000 mm² Al/Cu 138 kV, retirado da regressão, foi de -13,4 % (110,49 US\$/km contra 127,62 US\$/km informados).

Os coeficientes da equação devem ser vistos com cautela, pois estão sujeitos ao viés

das cotações orçamentárias que provavelmente aumenta a inclinação da curva. Além disso, foram obtidos com apenas quatro pontos, utilizadas dimensões aproximadas e considerados somente cabos com condutor de alumínio.

Entretanto, o que se quer demonstrar é o processo de estimação, que pode ser aprimorado a partir de uma amostra com mais dados em pesquisas futuras.

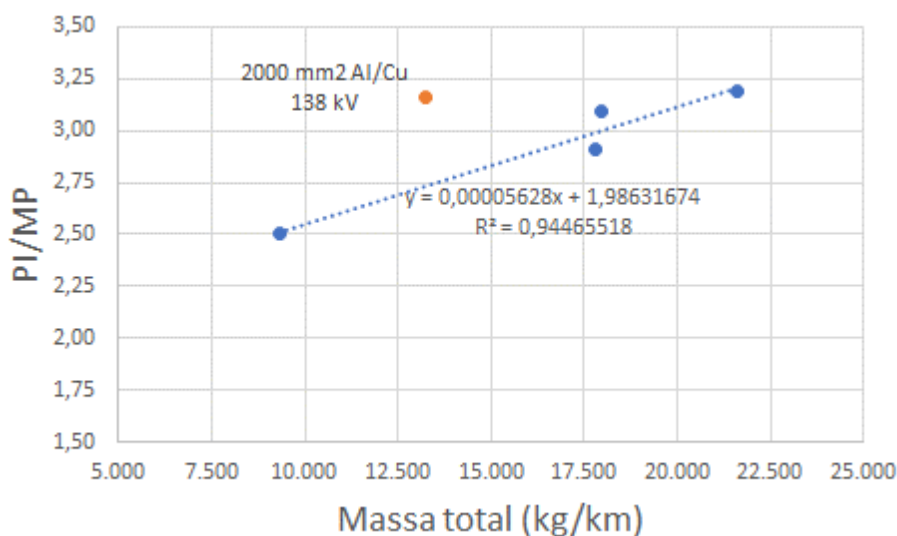


Figura 8 – Representação gráfica dos resultados da Tabela 20.

Ao preço industrial devem ser acrescidas as despesas de importação e os impostos para se obter o preço de venda. Logo:

$$PV = \frac{PI(1 + DI\%)(1 + IMP\%)}{1 - ICMS\%} \quad (25)$$

Sendo:

PV: preço de venda dos cabos de potência

DI%: despesas de importação, incluindo frete e seguro (simplicadamente pode-se adotar 5 % para cabos oriundos da Europa e 10 % para aqueles oriundos da Ásia)

IMP%: carga tributária total de importação, conforme Tabela 5 (referente ao “Acumulado”)

ICMS%: alíquota do ICMS.

Como exemplo de verificação, para fins de comparação com as cotações recebidas, na fórmula precedente, tem-se que:

- a) *PI* corresponde a estimativa de preço *ex works* (suposto praticamente igual ao

preço FOB)

b) $PI(1 + DI\%)$ equivale à estimativa do preço CIF.

Obviamente para se obter o preço em R\$ aplica-se a taxa de conversão cambial.

Foram disponibilizados por uma transmissora o preço e *data sheet* de um cabo 1200 mm² Al/Cu 230 kV, que não foi utilizado na regressão pelo fato do preço de 891,27 R\$/m estar sujeito a incertezas como não ter referência de valores de metais, dólar utilizado e origem.

Utilizando-se a equação (23), com impostos e dólar estimado de R\$ 3,8 na ocasião, tem-se:

$$\frac{891,27}{3,8} = \frac{PI \times 1,05 \times 1,218}{1 - 0,18 - 0,04}$$

Resulta, portanto, $PI = 143,05$ US\$/m.

Aplicando agora a equação preditiva (24) calculou-se uma massa de 13.297,5 kg/km e custo dos materiais de US\$ 46,476 US\$/m, resultando 127,10 US\$/m, discrepância de 11,1 % em relação ao preço estimado pela cotação.

7. Custeio Modular de Acessórios

Embora conceitualmente também seja possível estimar o preço dos acessórios a partir dos valores de matérias primas e dimensões, isso não será feito. Os motivos se devem à geometria mais complexa dos acessórios, que precisa ser descrita tridimensionalmente em alguns casos, e aos projetos muito variáveis entre fabricantes diferentes, fatores que não permitem um cálculo simples.

Assim, serão adotados os resultados do levantamento de preços descrito no relatório da etapa I [4].

O critério geral para tratar a eventual dispersão de valores é adotar a mediana das respostas recebidas em cada caso.

Tabela 21 – Preços dos acessórios adotados (valores em US\$).

Sigla	Descrição	230 kV	345 kV	500 kV
PTE	Terminal para uso externo	12.937,44	26.205,10	34.340,06
PSTE	Base suporte para terminal para uso externo	8.063,45	8.063,45	8.063,45
PTG	Terminal para SF ₆ (GIS)	10.084,82	18.110,78	22.341,41
PE	Emenda seccionada	14.403,61	17.645,47	22.040,73
PLB3A	Link box trifásico aterramento	4.023,46	4.023,46	4.023,46
PLB3I	Link box trifásico SVL	4.833,79	4.833,79	4.833,79
PLB1A	Link box monofásico aterramento	1.832,46	1.832,46	1.832,46
PLB1I	Link box monofásico SVL	2.809,47	2.809,47	2.809,47
PCON	Cabo concêntrico	102,91	111,25	111,25
PCCA	Cabo de aterramento	43,01	47,18	47,18
PDS	DTS	219.336,82	219.336,82	219.336,82

Para o preenchimento da Tabela 21 foi necessário adotar algumas hipóteses, como descrito a seguir.

Para suprir a falta de informação de um fornecedor, o preço dos terminais para subestação GIS 230 kV foi calculado a partir da mesma proporção dos terminais para uso externo 345 kV e 230 kV.

Para as emendas e os terminais 500 kV, do mesmo fornecedor citado, o critério foi considerar que o acréscimo de preço é o mesmo que o apurado entre acessórios 345

kV e 230 kV, isto é: $P_{500\text{ kV}} = \frac{P_{345\text{ kV}}^2}{P_{230\text{ kV}}}$.

Esses critérios se mostraram consistentes com os preços recebidos de um segundo fabricante.

No caso das *link boxes* foi adotado o preço médio da cotação 230 kV e 345 kV, uma

vez que a descrição informada desse acessório era igual. Na prática, LT 230 kV normalmente têm nível de curto-circuito menor, o que reduziria o preço, mas isso foi desprezado.

No caso dos cabos concêntricos e de aterramento essa diferença foi considerada tendo sido estimado o preço do cabo 240 mm², mais adequado para 230 kV pela substituição do condutor 300 mm² pelo 240 mm² no preço.

Como os preços informados normalmente são FOB ou CIF, para o custeio de uma LT os valores a serem considerados precisam incluir despesas e impostos. Logo:

$$PVA = \frac{P_{\text{mediano}}(1 + DI\%)(1 + IMP\%)}{1 - ICMS\%} \quad (26)$$

Onde:

PVA: preço de venda de um acessório genérico, aplicável a cada dos itens

P_{mediano}: preço mediano de cada acessório, conforme mostrado na Tabela 21.

7.1 Terminais para uso externo

Os itens associados com um conjunto trifásico de terminais para uso externo, que compõem o seu custo, estão elencados na Tabela 22. A diferenciação entre aterrado ou isolado consiste no tipo de *link box*.

Tabela 22 – Componentes do módulo trifásico de terminal para uso externo.

	Módulo terminal isolado	Módulo terminal aterrado
Terminal para uso externo	3	3
Base suporte	3	3
<i>Link box</i> monofásica com SVL	3	0
<i>Link box</i> monofásica de aterramento	0	3
Cabo de conexão à terra (m)	4	4

Resultam as fórmulas:

$$MTEI = 3(PTE + PSTE + PLB1I) + 4PCCA \quad (27)$$

$$MTEA = 3(PTE + PSTE + PLB1A) + 4PCCA \quad (28)$$

Onde:

MTEI: preço do módulo trifásico de terminais para uso externo isolados

MTEA: preço do módulo trifásico de terminais para uso externo aterrados

PTE: preço do terminal para uso externo

PSTE: preço da base suporte do terminal para uso externo

PLB1I: preço do *link box* monofásica com SVL

PLB1A: preço do *link box* monofásica aterrada

PCCA: preço unitário do cabo de conexão de aterramento (US\$/m)

7.2 Terminais para subestações GIS

De maneira inteiramente análoga aos terminais para uso externo tem-se as seguintes quantidades e fórmulas.

Tabela 23 – Componentes do módulo trifásico de terminal para subestações SF₆.

	Módulo terminal isolado	Módulo terminal aterrado
Terminal para SF ₆	3	3
<i>Link box</i> monofásica com SVL	3	0
<i>Link box</i> monofásica de aterramento	0	3
Cabo de conexão à terra (m)	4	4

$$MTGI = 3(PTG + PLB1I) + 4PCCA \quad (29)$$

$$MTGA = 3(PTG + PLB1A) + 4PCCA \quad (30)$$

Onde:

MTGI: preço do módulo trifásico de terminais para GIS isolados

MTGA: preço do módulo trifásico de terminais para GIS aterrados

PTG: preço do terminal para GIS, se aplicável (não do módulo)

7.3 Emendas

Para fim de limitação de sobretensões transitórias nas emendas, os cabos concêntricos devem ser curtos. Porém, como o abrigo das *link boxes* fica ao lado da caixa de emendas, existem comprimentos diferentes entre a emenda mais próxima e a mais distante.

Assim, na Tabela 24 adotou-se um comprimento médio de 10 m para os cabos concêntricos.

Tabela 24 – Componentes do módulo emenda para *cross-bonding* (em unidades, exceto cabo concêntrico).

	Módulo emenda <i>cross-bonding</i> isolada	Módulo emenda <i>cross-bonding</i> aterrada
Emendas	3	3
<i>Link box</i> trifásica com SVL	1	0
<i>Link box</i> trifásica de aterramento	0	1
Cabos concêntricos (m)	30	30
Cabo de conexão à terra (m)	1	1

Adotam-se as fórmulas

$$MEI = 3PE + PLB3I + 30PCON + PCCA \quad (31)$$

$$MEA = 3PE + PLB3A + 30PCON + PCCA \quad (32)$$

Onde:

MEI: preço do módulo trifásico de emendas isoladas

MEA: preço do módulo trifásico de emendas aterradas

PE: preço de uma emenda

PLB3I: preço da *link box* trifásica com SVL

PLB3A: preço da *link box* trifásica aterrada

PCON: preço unitário do cabo concêntrico (US\$/m)

7.4 DTS

Os preços de um equipamento DTS variam conforme o seu alcance máximo e número de canais.

Essa variação será desprezada e adotado o valor mediano das cotações obtidas na etapa I, que consta da Tabela 21.

7.5 Cabos de aterramento

No caso de aterramento das blindagens e capas metálicas em um ponto (*single-point bonding*) é necessário prover um caminho de retorno para as correntes de curtos-circuitos à terra com pelo menos um cabo de aterramento.

Similarmente, o preço desse cabo consta da Tabela 21.

7.6 Cabos óticos

O cabo ótico usual nas LT é de 24 fibras monomodo.

Para instalação subterrânea, conforme informações de distribuidoras da etapa I [5], foi obtida uma mediana no valor de 3,13 US\$/m, mas para as transmissoras o valor mediano foi maior, de 4,62 US\$/m. Assim, sugere-se adotar esse último.

No caso de instalações subaquáticas, existem cabos óticos lançados de forma independente, que devem ser armados para resistir aos esforços, cabos óticos incorporados dentro do cabo de potência (em geral com fibras óticas diferentes e em maior quantidade que aquelas dos sensores para DTS) e, ainda, e algumas situações é possível utilizar um cabo mais leve lançado simultaneamente com o cabo de potência por meio de amarração externa. Considerando essas variações, o preço pode ser muito distinto a cada caso.

Não foram obtidas referências de preço para cabos óticos subaquáticos e o erro incorrido nessa estimativa é pouco importante, uma vez que os cabos de potência subaquáticos são caros, sugere-se adotar simplesmente 4,62 US\$/m em qualquer caso. Notar que esse valor já é o preço de venda, logo não se faz necessário o uso da equação (26).

7.7 Preço de Cabos e Acessórios

Resta calcular o preço dos cabos e acessórios, incluindo as folgas necessárias no comprimento dos cabos para montagens e as partes sobressalentes.

$$\begin{aligned}
 PCeA = & \left[(L_{\text{médio}} + F)N_{\text{lances}}(PV + PVO) + PCCA \times L_{LTat} \right. \\
 & + \frac{N_{\text{fases}}}{3} (N_{EI}MEI + N_{EA}MEA + N_{TEI}MTEI + N_{TEA}MTEA \\
 & + N_{TGI}MTGI + N_{TGA}MTGA) + PDTS + L_S PV + N_{ES} PE \\
 & \left. + N_{TS} PTE + N_{TS} PTG \right] tx
 \end{aligned} \quad (33)$$

Onde:

$PCeA$: preço cabos e acessórios (R\$)

F : folga para emendas, danos nas extremidades, transposições, curvaturas etc., adotada como 15 m por lance de cabo

N_{lances} : número de lances, numericamente igual a $\frac{L_{LT} N_{\text{fases}}}{L_{\text{médio}}}$

PVO : preço de venda do cabo ótico (4,62 US\$/m)

$PCCA$: preço de venda do cabo de aterramento, se aplicável (US\$/m)

L_{LTat} : comprimento da LT com cabos de aterramento, normalmente somente o(s) trecho(s) com a configuração *single-point* (m)

N_{EI} : número de módulos trifásicos de emendas isoladas

N_{EA} : número de módulos trifásicos de emendas aterradas

N_{TEI} : número de módulos trifásicos de terminais para uso externo isolados

N_{TEA} : número de módulos trifásicos de terminais para uso externo aterrados

N_{TGI} : número de módulos trifásicos de terminais para GIS isolados

N_{TGA} : número de módulos trifásicos de terminais para GIS aterrados

P_{DTS} : preço do DTS, incluindo *software*.

L_S : lance sobressalente (m)

PE : preço de uma emenda sobressalente (não do módulo)

PTE : preço do terminal para uso externo sobressalente, se aplicável (não do módulo)

PTG : preço do terminal para GIS sobressalente, se aplicável (não do módulo)

N_{ES} : número de emendas sobressalentes

N_{TS} : número de terminais sobressalentes

tx : taxa de câmbio (US\$/R\$)

8. Custeio de Obras Cíveis de Linhas de Transmissão Subterrâneas

Nesse item serão consideradas três possibilidades para as obras cíveis de LT subterrâneas:

- a) Valas a céu aberto;
- b) Com métodos não destrutivos (MND);
- c) Túneis.

Deve ser observado que, para um mesmo tipo de obra civil e mesma configuração dos cabos, podem ser calculados custos diferentes em função de outros atributos, como profundidade e tipo de solo, que requerem escoras ou valas com taludes inclinados (trapezoidais).

É notório também que as interferências no subsolo podem criar maior dificuldades para as obras cíveis, com consequente impacto nos custos. Esse aspecto pode ser levado em conta da seguinte forma:

- a) Por meio da própria escolha do tipo obra (por exemplo, MND ao invés de vala no trecho);
- b) Seleção do código de custo unitário correspondente à condição local esperada.

Foi dada preferência aos custos do SINAPI, pois eles apresentam uma divisão entre locais de baixa e alta interferência que não existe no SICRO.

Com relação à essas bases de dados, neste relatório, diferentemente daquela da etapa I, no qual foram levantadas diversas possibilidades de códigos, definem-se quais serão aplicados em cada caso.

8.1 Administração local e mobilização

Este item envolve uma estimativa dos custos para instalação de canteiro de obras, fiscalização, mobilização de maquinário e equipamentos.

O seu montante depende do porte da obra, quantidade de frentes de trabalho, duração prevista da implantação etc.

Por ser um item difícil de se estimar por meio de cálculo que leve em conta as características específicas de cada LT com cabos isolados, foi adotado o percentual de 2,0 % sobre o valor das obras cíveis. Esse percentual é o mesmo que consta da Nota Técnica nº 099/2008–SRT/ANEEL [6].

8.2 Trechos em valas

O preço dos trechos instalados em valas consiste na composição dos valores parciais de cada uma das etapas da Figura 9. Note-se que o *backfill* e dutos foram considerados como atividades em paralelo, que se constitui no caso mais geral. Não obstante, é possível simular instalações diretamente enterradas impondo número de dutos igual a zero.

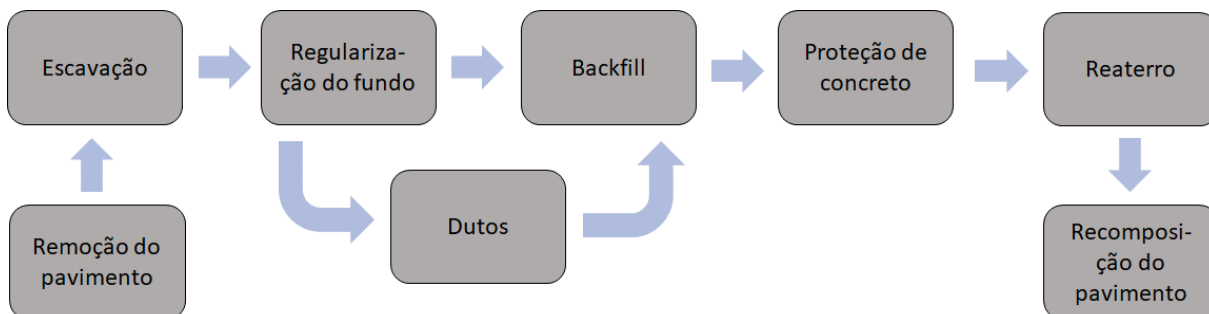


Figura 9 – Etapas básicas para a construção de valas.

Como o cálculo dos custos depende do corte de vala considerado, para maior clareza, os símbolos adotados estão mostrados na Figura 10. A vala com talude inclinado (trapezoidal) é uma alternativa para evitar escoramento em alguns tipos de terreno. Mesmo não sendo usualmente utilizada, devido às suas maiores dimensões, foi incluída para maior generalização.

Apesar de as ilustrações mostrarem uma instalação plana horizontal, a disposição dos cabos ou dutos não têm restrições em geral, podendo-se adotar outras formas como triangular, vertical etc.

No item 3.2 admitiu-se o corte de vala com geometria conhecida. O que pode ocorrer é a falta de alguns pormenores desnecessários para as simulações térmicas e elétricas, como, por exemplo, diâmetro dos dutos e consideração dos cabos óticos. Esses dados deverão ser complementados para custeio e não representam uma grande dificuldade.

Em todas as fórmulas admite-se uma seção constante ao longo de um trecho de comprimento L_{vala} , em metros.

L_{vala} : comprimento da vala (m)

X : largura da vala (m)

Δx : diferença na largura da vala (m)

Y : profundidade da vala (m)

H : profundidade do *backfill* (m)

C : profundidade da camada de concreto (m)

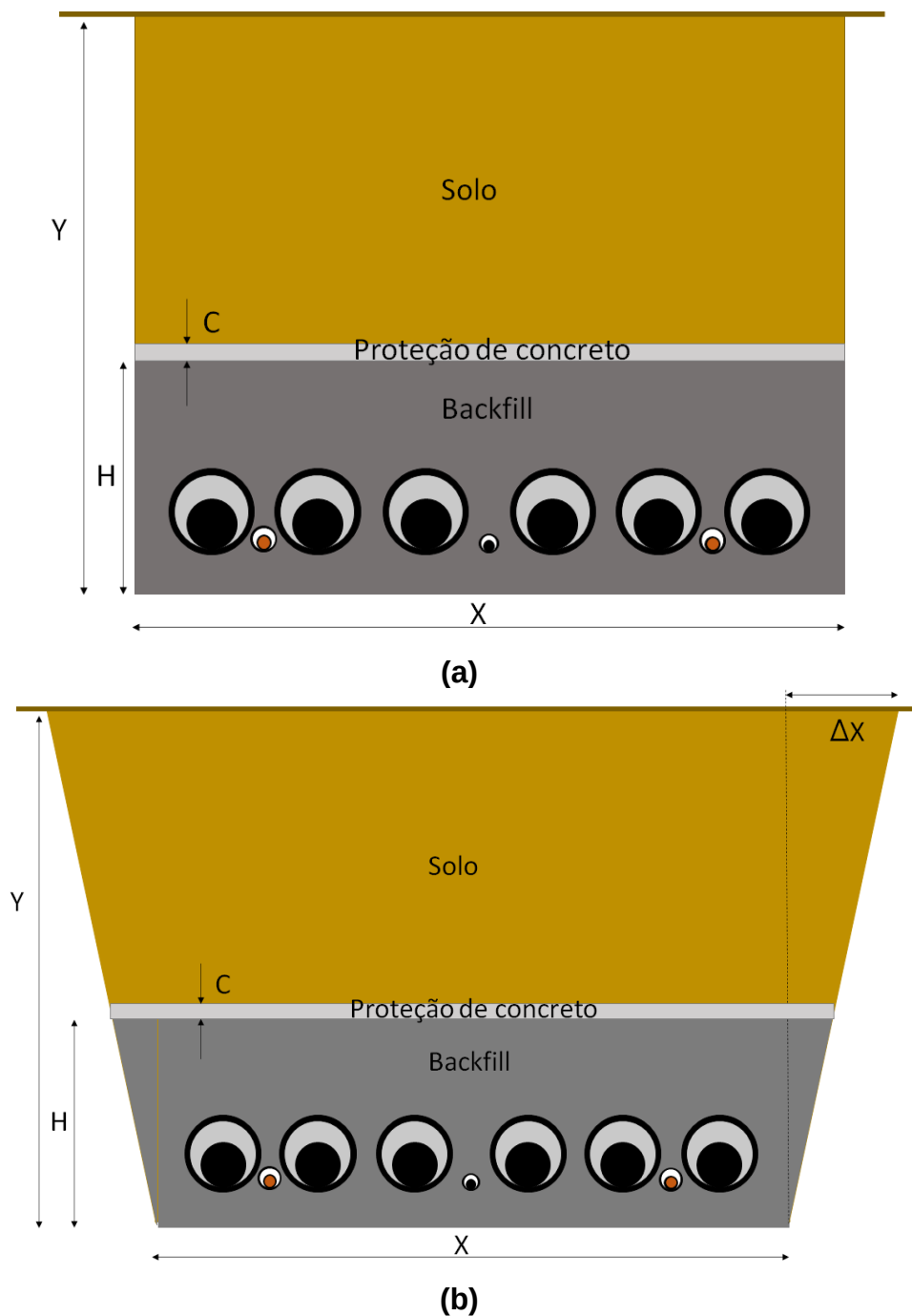


Figura 10 – Cortes de vala genéricos, com seção retangular (a) e trapezoidal (b).

8.2.1 Remoção do pavimento

As linhas de transmissão subterrâneas são sempre instaladas em locais acessíveis para as obras e manutenção futura evitando-se, tanto quanto possível, vias com grande volume de tráfego e locais com grandes interferências no subsolo.

Assim, pode ser vantajoso aproveitar canteiros centrais de ruas ou avenidas e faixas de passagem de LT aéreas, quando possível.

Conforme o local, os tipos de pavimentação variam (asfalto, concreto, terra, ciclovias etc.) e, conseqüentemente, a dificuldade de removê-lo.

A hipótese simplificadora adotada aqui é sempre considerar que o pavimento seja de asfalto. Com isso, o erro cometido no total dos custos é a favor da segurança e evita a necessidade de uma série de dados adicionais, tanto no uso como na manutenção das bases de dados da ferramenta.

Além disso, é prática comum das prefeituras exigir que a largura recomposta seja igual àquela de uma pista de rolagem, em geral 3,5 m. Ou seja, se a largura da vala for menor que 3,5 m a recomposição deve ser calculada, no mínimo, para essa largura, o que afeta a remoção também.

Portanto, calculam-se:

$$ARP = 3,5L_{vala} \quad (34)$$

$$CRP = URP \times ARP \quad (35)$$

Onde:

ARP: área de pavimento removido (m²)

URP: custo unitário de remoção do pavimento código SINAPI 97636 (R\$/m²)

CRP: custo de remoção do pavimento (R\$)

8.2.2 Escavação

Para a escavação adota-se a fórmula a seguir.

$$VE = L_{vala}Y(X + \Delta X) \quad (36)$$

Parte do material escavado deve transportado para um aterro, conforme estimado a seguir:

$$VTR = (VE - VBE - VPC)FE1 \quad (37)$$

$$VBE = \left[\left(X + H \frac{\Delta X}{Y} \right) H \right] L_{vala} \quad (38)$$

Onde:

VE: volume escavado (m³)

VTR: volume transportado (m³)

VBE: volumes do *backfill* escavado (m³)

VPC: volumes da proteção de concreto (m³), definido nos subitens seguintes

FE1: fator de expansão do solo, adotado como 1,25 para solos de 1^a. categoria e 1,39 para 2^a. categoria (valores obtidos do SICRO)

$$CE = UE \times VE + 2UESC \times L_{vala}Y + (DMA \times UTR + UCD)VTR \quad (39)$$

Sendo:

CE: custo da escavação (R\$)

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

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

UTR: custo unitário de transporte (R\$/(km.m³)), código SINAPI 95876

UCD: custo unitário de carga e descarga do material (R\$/m³), código SINAPI 100979

DMA: distância média do aterro à obra (*default*: 25 km, pois admitem-se distâncias grandes entre um local de implantação de LT subterrâneas, urbanizados ou com restrições ambientais, e áreas de aterro)

Os códigos de custos unitários de escavação devem ser escolhidos conforme a profundidade, largura, tipo de terreno e nível de interferência no subsolo (Tabela 25 e Tabela 26).

Tabela 25 – Códigos SINAPI para escavação solo 1ª. categoria.

Profundidade	Alto nível de interferência - UE_{alta_interf}		Baixo nível de interferência - UE_{baixa_interf}	
	$0,8 < \text{Larg. (m)} \leq 1,5$	$1,5 < \text{Larg. (m)} \leq 2,5$	$0,8 < \text{Larg. (m)} \leq 1,5$	$1,5 < \text{Larg. (m)} \leq 2,5$
Até 1,5 m	90100	90082	90106	90091
1,5 m a 3,0 m	90102	90085	90108	90093
3,0 m a 4,5 m	N/A	90087	90094	90095

Caso haja diferentes níveis de interferência no solo, deve-se considerar:

P_{alta_interf} : porcentagem de alta interferência.

P_{baixa_interf} : porcentagem de baixa interferência.

$$UE = P_{alta_interf} \times UE_{alta_interf} + P_{baixa_interf} \times UE_{baixa_interf} \quad (40)$$

Tabela 26 – Códigos SINAPI para escavação solo 2ª. categoria.

Profundidade	Qualquer largura e nível de interferência
Até 2,0 m	72915
2,0 m a 4,0 m	72917

Para solos de 3ª. categoria, a escavação requer ruptura de rochas e somente há códigos disponíveis no SICRO. Eles não foram considerados, por serem uma condição a ser evitada.

Para solos moles pode-se adotar os custos de 1ª. categoria como aproximação.

No que tange ao escoramento de valas, há várias possibilidades de execução, sem escoramento para baixas profundidades, com escoramento contínuo ou descontínuo com madeira e, mais recentemente, com placas de aço. Adotou-se a opção sem escoramento até 1,5 m e contínua para as demais profundidades como sendo representativas da maior parte dos casos.

Tabela 27 – Códigos SINAPI para escoramento.

Profundidade	Larg. (m) $\leq 1,5$	$1,5 < \text{Larg. (m)} \leq 2,5$
Até 1,5 m	N/A	N/A
1,5 m a 3,0 m	101584	101585
3,0 m a 4,5 m	101586	101587

No caso de valas com talude inclinado, desde que corretamente dimensionadas considerando as características do solo, não se utiliza o escoramento.

8.2.3 Regularização do fundo da vala

A próxima etapa considerada consiste na regularização do fundo da vala, com a compactação do solo. Calculam-se:

$$ARV = X \times L_{vala} \quad (41)$$

$$CRV = URV \times ARV \quad (42)$$

Onde:

ARV: área regularizada do fundo da vala (m²)

URV: custo unitário de regularização do fundo da vala (R\$/m²), códigos conforme Tabela 28

CRV: custo de regularização do fundo da vala (R\$).

Tabela 28 – Códigos SINAPI para regularização de fundo de valas.

Larg. (m) ≤ 1,5	1,5 < Larg. (m) ≤ 2,5
101616	101617

8.2.4 Dutos

Para LT com cabos diretamente enterrados este item não é aplicável. No entanto, a prática mais comum é o emprego de instalação com dutos, visando facilitar a execução da obra, entre outros aspectos, como já descrito no produto da etapa I.

Para a definição do diâmetro aplicável do duto, utiliza-se o critério do fator de preenchimento. Empiricamente, admitem-se fatores de até 54 % para um cabo dentro do duto e de 44 % para um trifólio.

Para um cabo único, como fator de segurança, utiliza-se o multiplicador 1,5 como arredondamento para cima.

$$D_{id} \geq \begin{cases} 1,5D_{ext} \text{ (único cabo)} \\ \frac{2\sqrt{3}}{3} + 1 \\ \frac{1}{\sqrt{0,44}} D_{ext} \cong 3,25D_{ext} \text{ (trifólio)} \end{cases} \quad (43)$$

Onde:

D_{id} : diâmetro interno do duto, conforme Tabela 3, convertido para metros (m)

D_{ext} : diâmetro externo máximo do cabo, convertido para metros (m)

Os valores de diâmetro interno do duto para cada um dos tipos de cabos (aterramento, alta tensão e ótico) são definidos pela fórmula (43) a partir dos diâmetros externos do cabo.

D_{id_DA} : diâmetro interno do duto para cabo de aterramento (m)

D_{id_DAT} : diâmetro interno do duto para cabo de alta tensão (m)

D_{id_DO} : diâmetro interno do duto para cabo ótico (m)

A partir do diâmetro interno D_{id} , encontra-se o diâmetro nominal do duto na Tabela 3, para então buscar o preço do duto na Tabela 37.

Para dutos corrugados, como usual no Brasil, faltam dados nos catálogos sobre a corrugação e espessuras. Em substituição adota-se o diâmetro médio.

$$D = \frac{D_{id_DAT} + D_{ed}}{2} \quad (44)$$

D_{ed} : diâmetro externo do duto, correspondente ao valor D_{id} adotado, conforme Tabela 3 e convertido para metros (m)

Resta, ainda, o preenchimento com bentonita dos dutos sujeitos a dissipação de calor.

$$CPD = L_{vala} N_{AT} \frac{\pi}{4} (D^2 - k D_{ext_DAT}^2) P_{bentonita} \quad (45)$$

Onde:

N_{AT} : número de dutos com cabos de potência de alta tensão

k : 1,0 ou 3,0, respectivamente, para um cabo ou trifólio

$P_{bentonita}$: preço da bentonita, de acordo com Anexo E (R\$/m³)

CPD : custo de preenchimento dos dutos.

Uma vez definidos os tipos de dutos pelas suas dimensões, o custo é simplesmente a soma de cada um dos diâmetros utilizados (vide Tabela 3) e do preenchimento.

$$CD = L_{vala}(N_{AT}P_{dAT} + N_oP_{do} + N_aP_{da}) + CPD \quad (46)$$

Sendo:

P_{dAT} : preço do duto dos cabos de potência de alta tensão (R\$/m)

P_{do} : preço dos dutos para os cabos óticos (R\$/m)

N_o : número de cabos óticos

P_{da} : preço do duto dos cabos de aterramento (R\$/m)

N_a : número de cabos de aterramento

CD : custo total dos dutos, incluindo preenchimento (R\$)

Na etapa I foram obtidos poucos preços de dutos, conseqüentemente foram utilizados os dados disponíveis no TCPOweb, limitados até 6 pol., e feita uma extrapolação para os dutos maiores. Os valores obtidos estão no anexo C.

Os preços dos dutos apresentados pela Tabela 37 são adotados como referência para os cálculos descritos. Tais preços poderão ser atualizados pelo usuário.

É discutível que o custo dos dutos conste das obras civis. Em alguns orçamentos, são parte da obra eletromecânica, pois, de fato, a sua instalação requer cuidados específicos (alinhamento, controle de curvaturas, emendas, mandrilhamento antes do uso etc.) feita sob supervisão especializada. Não obstante, o critério adotado nesse trabalho foi considerar os dutos e seu preenchimento como obras civis e as atividades para sua instalação como serviços.

8.2.5 Backfill

O volume necessário de *backfill* pode ser calculado como a seguir.

$$VB = \left[\left(X + H \frac{\Delta X}{Y} \right) H - \frac{\pi}{4} (N_{AT}D_{AT}^2 + N_oD_o^2 + N_aD_a^2) \right] L_{vala} FEB \quad (47)$$

$$CB = UB \times VB \quad (48)$$

Onde:

VB : volume de material do *backfill* (m³)

N_{AT} : número de cabos ou dutos de alta tensão

N_o : número de cabos ou dutos óticos

N_a : número de cabos ou dutos de aterramento

D_{AT} : diâmetro externo equivalente de alta tensão, do cabo ou duto, conforme instalação diretamente enterrada ou com dutos (m)

D_o : diâmetro externo equivalente ótico, do cabo ou duto, conforme instalação diretamente enterrada ou com dutos (m)

D_a : diâmetro externo equivalente de aterramento, do cabo ou duto, conforme instalação diretamente enterrada ou com dutos (m)

FEB : fator de expansão do *backfill*, adotado como 1,45, para considerar o volume maior necessário antes da compactação

UB : custo unitário do *backfill*, de acordo com o anexo D (R\$/ m³)

CB : custo do *backfill* (R\$).

Para casos com instalação diretamente enterrada, os diâmetros D_{AT} , D_A e D_o adotados na fórmula (47) serão iguais ao diâmetro externo do cabo, ou seja:

$$D_A = D_{ext_DA} \quad (49)$$

$$D_{AT} = D_{ext_DAT} \quad (50)$$

$$D_o = D_{ext_DO} \quad (51)$$

Onde:

D_{ext_DA} : diâmetro externo máximo do cabo de aterramento, convertido para metros (m)

D_{ext_DAT} : diâmetro externo máximo dos cabos de alta tensão, convertido para metros (m)

D_{ext_DO} : Diâmetro externo máximo dos cabos óticos, convertido para metros (m)

Para instalação com dutos, os diâmetros D_{AT} , D_A e D_o serão iguais aos diâmetros externos do duto, que são calculados a partir da fórmula (43) e Tabela 3, a partir dos dados de cabos utilizados, sendo então:

$$D_A = D_{ed_DA} \quad (52)$$

$$D_{AT} = D_{ed_DAT} \quad (53)$$

$$D_O = D_{ed_DO} \quad (54)$$

Onde:

D_{ed_DA} : diâmetro externo do duto para cabo de aterramento (m)

D_{ed_DAT} : diâmetro externo do duto para cabo de alta tensão (m)

D_{ed_DO} : diâmetro externo do duto para cabo ótico (m)

8.2.6 Camada de proteção de concreto

A proteção contra agressões externas pode ser feita com lajotas de concreto colocadas lado a lado ou com uma camada contínua de concreto aplicada sobre o *backfill*. Adota-se como referência a segunda situação.

$$VPC = \left[X + (C + 2H) \frac{\Delta X}{Y} \right] C \times L_{vala} \quad (55)$$

$$CPC = UPC1 \times VPC \quad (56)$$

Onde:

VPC : volume de concreto para proteção (m³)

$UPC1$: custo unitário de concreto para proteção (R\$/ m³), código 94971 do SINAPI

CPC : custo da proteção de concreto (R\$).

8.2.7 Reaterro

Para o cálculo do custo do reaterro assume-se que se possa utilizar parte do solo removido armazenado próximo do local da vala, isto é, que não seja necessário comprar “material de empréstimo” (isto é, adquirir e transportar terra de outro local). Dessa maneira, o custo do reaterro resume-se à movimentação e compactação do material disponível.

Isso certamente é um objetivo do empreendedor para redução de custos, mas pode ser inviável em algumas localidades. Mesmo assim foi adotada como hipótese viável.

$$VR = \left\{ (Y - H - C) \left[X + (Y - H - C) \frac{\Delta X}{Y} \right] \right\} L_{vala} FE1 \quad (57)$$

$$CR = UR \times VR \quad (58)$$

Onde:

VR: volume de reaterro (m³)

UR: custo unitário da atividade de reaterro, uma vez que não foi considerado material empréstimo (R\$/ m³), conforme Tabela 29, para a cota superior da camada de concreto ($Y - H - C$)

CR: custo do reaterro (R\$)

FE1: fator de expansão do solo, adotado como 1,25 para solos de 1^a. categoria e 1,39 para 2^a. categoria (valores obtidos do SICRO).

Tabela 29 – Códigos SINAPI para reaterro solo 1^a. categoria.

Profundidade	Alto nível de interferência		Baixo nível de interferência	
	0,8 < Larg. (m) ≤ 1,5	1,5 < Larg. (m) ≤ 2,5	0,8 < Larg. (m) ≤ 1,5	1,5 < Larg. (m) ≤ 2,5
Até 1,5 m	93375	93360	93381	93367
1,5 m a 3,0 m	93377	93362	93368	93369
3,0 m a 4,5 m	93363	93364	93370	93371

8.2.8 Recomposição do pavimento

Para a recomposição do pavimento adota-se a mesma hipótese da remoção, isto é, considera-se que seja asfalto em qualquer localidade.

Além disso, é prática comum das prefeituras exigir que a largura recomposta seja igual àquela de uma pista de rolagem, em geral 3,5 m. Ou seja, se a largura da vala for menor que 3,5 m a recomposição deve ser calculada, no mínimo, para essa largura.

Para as espessuras das camadas do pavimento foram adotados os valores de via para tráfego leve (que são as mais indicadas para a instalação de LT subterrâneas) de acordo com o documento da Prefeitura de São Paulo [9][7].

$$AREC = 3,5L_{vala} \quad (59)$$

$$CREC = AREC(0,035UREC1 + 0,05UREC2 + 0,1UREC3) \quad (60)$$

Onde:

AREC: área de recomposição do pavimento (m²)

UREC1: custo unitário de recomposição do pavimento de rolagem, espessura de 3,5 cm, código SINAPI 95995 (R\$/m³)

UREC2: custo unitário de recomposição do *binder* do pavimento, espessura de 5,0 cm, código SINAPI 95996 (R\$/m³)

UREC3: custo unitário de recomposição da sub-base do pavimento, espessura de 10,0 cm, código SINAPI 96397 (R\$/m³)

CREC: custo de recomposição do pavimento (R\$)

8.2.9 Custo total da vala

Para os fins de implementação da ferramenta, prevista para a etapa IV, deve ser prevista uma forma de copiar ou caracterizar como típico os dados descritivos de um mesmo corte de vala que venha a ser utilizado muitas vezes.

Finalmente, o custo de um trecho de vala com seção constante é obtido somando-se os componentes:

$$CV_i = (CRP + CE + CRV + CD + CB + CPC + CR + CREC) \quad (61)$$

Evidentemente, o processo deve ser repetido para todos os trechos e o preço final obtido pela sua soma.

Exemplo: trecho de 1000 m em solo de 1^a. categoria, sendo 60 % com alta interferência e 40 % com baixa interferência no subsolo, com o corte de vala conforme figura a seguir, utilizando dutos de 8 polegadas para cabos de potência e um duto de 4 polegadas para o cabo ótico. Adotada proteção de concreto de 6 cm e diâmetro do cabo de alta tensão 120 mm.

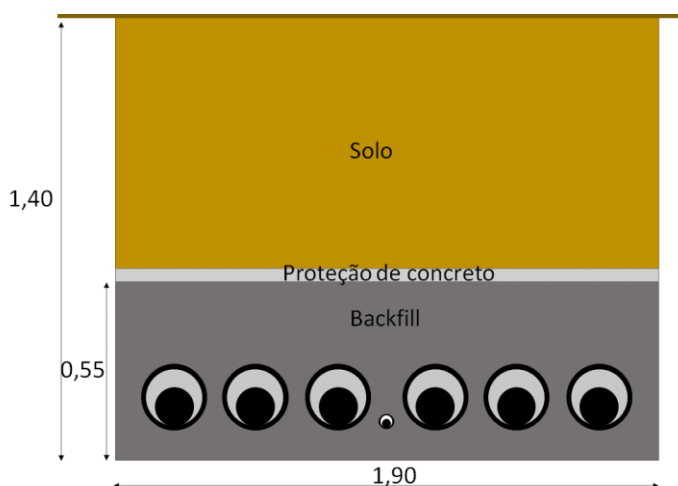


Figura 11 – Corte de vala para exemplo de cálculo.

$$CRP = 14,43 \times 3500 = R\$ 50.505,00$$

$$CE = (0,6 \times 9,28 + 0,4 \times 5,53) \times 2660 + 2 \times 0 \times 1000 \times 1,4 \\ + (25 \times 1,33 + 4,18) \times 1876,25 = R\$ 90.922,84$$

$$CRV = 2,90 \times 1900 = R\$ 5.510,00$$

$$CD = 1000(6 \times 67,42 + 1 \times 28,25) + 1000 \times 6 \frac{\pi}{4} (0,2275^2 - 0,120^2) 177,59 \\ = R\$ 464.032,44$$

$$CB = 130,30 \times 1.146,87 = R\$ 149.436,65$$

$$CPC = 330,98 \times 114 = R\$ 37.731,72$$

$$CR = (0,6 \times 8,86 + 0,4 \times 12,80) \times (1501 \times 1,25) = R\$ 19.580,55$$

$$CREC = 3500(0,035 \times 923,05 + 0,05 \times 873,08 + 0,1 \times 143,52) = R\$ 316.094,60$$

A somatória das parcelas resulta no custo total da vala de R\$ 1.133.813,82.

8.3 Trechos com MND

Neste item propõe-se utilizar dados da composição de custos do SEINFRA CE como referência para o custo do equipamento. O custo completo do SEINFRA CE não foi adotado por se referir ao método de cravação de tubos aço, que difere do HDD.

Existem duas situações, dependendo das limitações impostas pelo cálculo da capacidade de condução de corrente:

- a) Um furo com três cabos em dutos separados (um circuito);
- b) Furos individuais para cada cabo e duto, reduzindo o aquecimento mútuo.

Resulta a estimativa da fórmula a seguir, referente ao custo de um furo:

$$CMND = (PROD \times UMAQ + N_{CF} P_{dAT}) L_{MND} \frac{N_{fases}}{3} \quad (62)$$

Sendo:

CMND: custo de trechos em MND (R\$)

UMAQ: custo de máquina para cravação (R\$/h), código I6169 do SEINFRA CE, adotado como representativo do método HDD

PROD: coeficiente de produtividade, igual 2 para um cabo por furo e 4 para três cabos por furo (h/m) conforme composições do SEINFRA CE

N_{CF}: número de dutos por furo

P_{dAT} : preço do duto dos cabos de potência de alta tensão (R\$/m)

L_{MND} : comprimento do MND, adotado para cada lance (m)

O preço dos dutos para travessias MND, por simplicidade, foi adotado igual àquele utilizado para valas, embora utilizem-se dutos lisos nesse caso.

Alguns custos foram desprezados, como o de abertura e reconstituição dos *pits* de entrada e saída.

Exemplo: travessia MND de 120 m, LT circuito duplo, com três cabos por furo.

$$CMND = (4 \times 214,00 + 3 \times 67,42) \times 120 \times \frac{6}{3} = R\$ 253.982,40$$

8.4 Túneis

A referência de custos adotada nesse caso é o SICRO e o processo é de construção de túnel *liner*, muito embora o método mais usual seja o NATM. Trata-se, portanto, da melhor aproximação possível para um tipo de construção bastante especializada.

Admite-se que se tenha um túnel de seção constante e comprimento $L_{túnel}$ (m) e pelo menos dois poços de acesso, de entrada e saída, com praticamente a mesma seção, logo custo de construção similar. Para túneis longos devem ser previstos mais poços, com distância máxima de 1 km.

Considerando uma profundidade média de um túnel $h_{túnel}$ (m) resultam os volumes das fórmulas a seguir.

$$VT = (L_{túnel} + n_{poços} h_{túnel}) \frac{\pi}{4} (D_{túnel} + 0,2)^2 \quad (63)$$

$$ARI = (L_{túnel} + n_{poços} h_{túnel}) \pi (D_{túnel} + 0,1) \quad (64)$$

Onde:

$D_{túnel}$: diâmetro livre do túnel equivalente à circunferência de mesmo perímetro quando a seção não for circular (m)

$n_{poços}$: número de poços, no mínimo dois

VT : volume de escavação, admitindo uma espessura de 0,1 m para revestimento e impermeabilização (m³)

ARI: área de revestimento e impermeabilização com espessura adotada de 0,1 m (m²)

L_{túnel}: comprimento do túnel, adotado para cada lance (m)

h_{túnel}: profundidade média do túnel (m)

O volume de terra escavado nesse caso deve ser retirado por equipamento menor que o considerado para o custo unitário de carga e descarga. No entanto, foi mantido o código SINAPI de abertura de vala, por falta de outro melhor.

Para a construção civil devem ser considerados ainda iluminação e ventilação provisória e escoramento (excluindo-se os poços, nesse caso):

$$CCT = VT(UE\!T + UE\!S) + ARI \times URI + L_{t\acute{u}nel}(UIP + UVP) + (25UTR + UCD)VT \times FE2 \quad (65)$$

Sendo:

UE\!T: custo de escavação do túnel (R\$/ m³), códigos 4816000 (1^a. categoria), 4816001 (2^a. categoria) e 4816002 (3^a. categoria) do SICRO

UE\!S: custo de escoramento (R\$/ m³), código 0605606 do SICRO

URI: custo de revestimento e impermeabilização (R\$/ m³), código SINAPI 91072

UIP: custo de iluminação provisória (R\$/m), código 4816003 do SICRO

UVP: custo de ventilação provisória (R\$/m), código 4816004 do SICRO

UTR: custo unitário de transporte (R\$/(km.m³)), código SINAPI 95876

UCD: custo unitário de carga e descarga do material (R\$/m³), código SINAPI 100979

CCT: custo de construção do túnel (R\$)

FE2: fator de expansão do solo, adotado como 1,25 para solos de 1^a. categoria e 1,39 para 2^a. categoria e 3^a categoria (valores obtidos do SICRO).

Exemplo: túnel de 900 m de comprimento, com profundidade média de 7,5 m, diâmetro 2,1 m, em solo de 2^a. categoria

$$CCT = 3801,60(670,90 + 7,66) + 6324,03 \times 149,2 + 900(33,22 + 30,29) + (25 \times 1,33 + 4,18) \times 3801,60 \times 1,39$$

$$CCT = R\$ 3.778.107,34$$

Além disso, existem as ferragens de fixação dos cabos, cujos custos não são

desprezíveis.

As abraçadeiras utilizadas são especiais, feitas sob medida, de alumínio fundido, utilizam parafusos de aço inoxidável (não ferromagnético), têm revestimento de neoprene e molas para dilatação. Por sua vez, as abraçadeiras são fixadas em suportes presos às paredes do túnel. Todo esse conjunto deve ser resistente aos esforços de dilatação e de curtos-circuitos.

Para uma estimativa, admite-se que os cabos são fixados tipicamente a cada 1,5 m e o custo por fase seja de US\$ 100. Portanto:

$$CFER = 100tx \frac{L_{túnel} + 2h_{túnel}}{1,5} N_{fases} \quad (66)$$

Onde:

CFER: custo das ferragens de fixação (R\$)

Exemplo: túnel de 900 m de comprimento, com profundidade média de 7,5 m, para dois circuitos e taxa de câmbio 5,3 R\$/US\$. Resulta $CFER = 5,3 \times 100 \frac{900+15}{1,5} 6 = \text{R\$ } 1.939.800,00$.

Outros sistemas necessários para a operação do túnel, como iluminação permanente, alarmes e ventilação forçada são difíceis de estimar. Em alguns túneis de pequena extensão eles podem inclusive não ser implantados.

Sugere-se prever na ferramenta de cálculo um acréscimo para esses sistemas a ser inserido pelo usuário (*COS*: custo de outros sistemas). Ressalta-se, porém, que as parcelas *CCT* e *CFER* correspondem à maior parte do custo de uma instalação em túnel, de forma que o custo dos outros sistemas representa um percentual menor (máximo 20 % do total).

Resulta o custo total do túnel (*CTT*):

$$CTT = CCT + CFER + COS \quad (67)$$

8.5 Caixas de emendas e abrigos de *link boxes*

Existem algumas variações construtivas para o projeto e construção de emendas, incluindo uso de alvenaria ou pré-moldados e utilização de espaço vazio (para acesso) ou preenchido (evitando acessos indevidos e com melhor troca de calor).

Para fins de custeio optou-se por caixas de alvenaria preenchidas com *backfill*, que são a tendência atual.

As atividades para construção dessas caixas de emendas, incluindo os abrigos de *link boxes* estão mostradas na Figura 12.

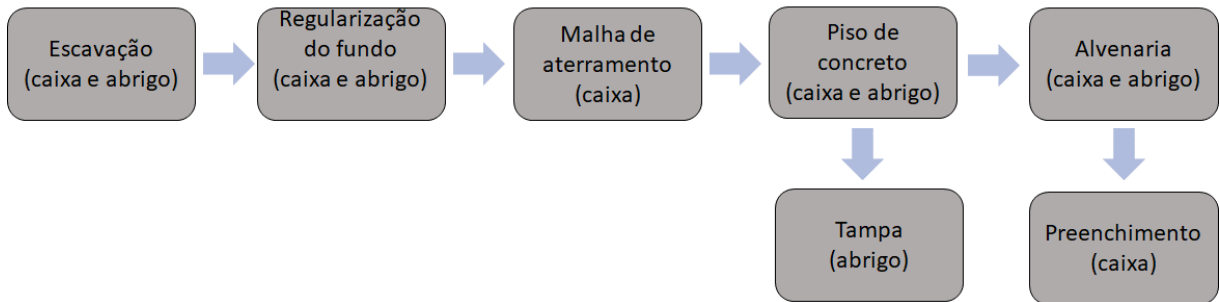


Figura 12 – Fluxograma de atividades para construção de caixas de emendas.

Considerou-se que os custos de remoção e reconstituição do pavimento sobre a caixa de emendas já constam do trecho em valas.

Como premissa serão adotadas as dimensões da Tabela 4, com as dimensões a partir do tipo de circuito – simples ou duplo. Consequentemente, tem-se:

$$AA = 2Z(L + W) \quad (68)$$

$$AP = L \times W \quad (69)$$

$$VE_{CE} = Z \times L \times W \quad (70)$$

Sendo:

AA : área de alvenaria (m^2) da caixa de emendas

AP : área do piso (m^2) da caixa de emendas

VE_{CE} : volume escavado (m^3) da caixa de emendas

Z : profundidade da caixa de emendas (m)

L : comprimento da caixa de emendas (m)

W : largura da caixa de emendas (m)

O volume de preenchimento é impreciso, pois é difícil calcular os volumes ocupados pelas emendas, cabos de potência de alta tensão, cabos concêntricos etc. Dessa maneira, admite-se que 90 % do volume tenha que ser preenchido, sendo que desse restante 50 % com *backfill* e 50 % com material de reaterro (ou seja, 45 % do volume total para cada material).

Outro item variável é a malha de aterramento, cujo projeto depende dos níveis de curto-circuito e características do solo. Assim, com o intuito de ter um custeio padrão considerou-se uma malha como vista na Figura 13.

Desprezando-se o custo das soldas, essa malha necessita de 5 hastes e $3(L + W)$ metros de cabo nu, além de mão de obra.

$$CMA = 3(L + W)P_{ca} + 5P_{ha} + 6MOAE \quad (71)$$

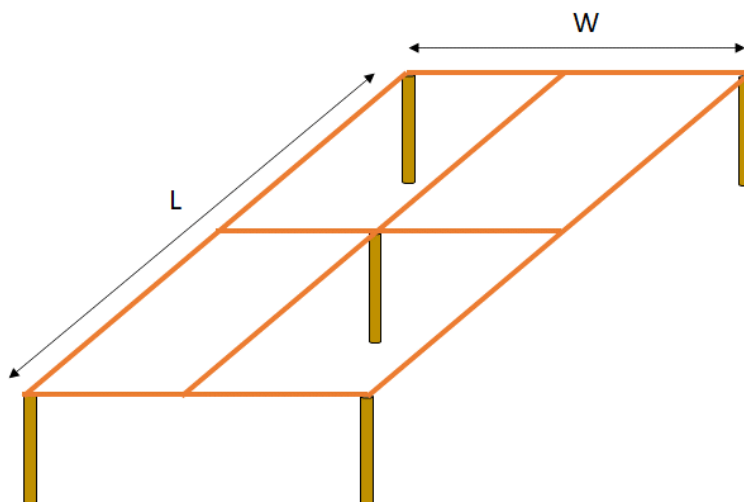


Figura 13 – Malha de aterramento considerada para as caixas de emendas.

Sendo:

P_{ca} : preço cabo de cobre nu meio duro 50 mm² (R\$/m) código SINAPI 000867

P_{ha} : preço haste de aterramento (R\$) código SINAPI 96985, que já inclui mão de obra de instalação

$MOAE$: custo horário de auxiliar de eletricista com encargos (R\$/h) código SINAPI 88247

CMA : custo da malha de aterramento (R\$).

Com essas condições o custo da caixa de emendas completa resulta:

$$CCE = UE \times VE_{CE} + CMA + UPA \times AA + AP(UPC2 + URV) + 0,45VE_{CE}(UB \times FEB + UR \times FE) \quad (72)$$

Onde:

UPA : custo unitário de parede de alvenaria com blocos de concreto (R\$/m²), conforme

códigos SINAPI 89483 (maior ou igual a 6 m²) e 89487 (menor que 6 m²).

UPC2: custo unitário de concreto magro (R\$/m³), conforme código SINAPI 94968

UE, URV, UB e UR: definidos previamente no custeio das valas

CCE: custo de construção da caixa de emendas (R\$)

O cálculo de CCE é feito para lances em que há emenda como acessório de início.

Exemplo: caixa para seis emendas de uma LT com profundidade 2 m.

$$CCE = 6,16 \times 108 + 600,03 + 113,56 \times 84 + 54(263,11 + 2,90) \\ + 0,45 \times 108(130,30 \times 1,45 + 12,80 \times 1,25)$$

$$CCE = R\$ 35.128,73$$

Para os abrigos de *link box* as dimensões são fixas

$$CALB = \frac{N_{fases}}{3} [1,32UE + 4,4UPA + 1,2(UPC2 + URV + UTC)] \quad (73)$$

Onde:

UTC: custo unitário (R\$/m²) de tampa de concreto armado com espessura de 0,1 m, código SINAPI 94997

CALB: custo de construção de um abrigo para *link box* (R\$)

Notas:

- a) O coeficiente 1,32 considera a espessura da tampa;
- b) É possível economizar uma parede lateral no caso de dois abrigos contíguos, nesse caso se subtrai 1,0UPA do total.

Exemplo: custo de um abrigo de *link box*

$$CALB = \frac{3}{3} [1,32 \times 6,16 + 4,4 \times 113,56 + 1,2(263,11 + 2,90 + 90,4)]$$

$$CALB = R\$ 935,49$$

8.6 Caixas de injeção de bentonita

As caixas para aplicação de bentonita por bombeamento podem ser realizadas de diversas formas, com pré-moldados, estruturas modulares de fibra de vidro, alvenaria etc.

Na construção de linhas de transmissão subterrâneas reais elas são necessárias a cada 150 m a 200 m para permitir o bombeamento da bentonita dentro dos dutos, isto é:

$$\frac{L_{trecho}}{200} - 1 \leq N_{ib} \leq \frac{L_{trecho}}{150} - 1 \quad (74)$$

Onde:

N_{ib} : número de pontos de injeção de bentonita, arredondado um valor inteiro (acima no caso do limite inferior e abaixo para o limite superior da faixa)

L_{trecho} : comprimento do trecho (m)

Para o custeio aproxima-se essa construção a de um poço de visita e considera-se que seja necessário um por circuito, ou seja:

$$CCIB = UPV \times N_{ib} \frac{N_{fases}}{3} \quad (75)$$

Sendo:

UPV : custo unitário (R\$) de um poço de visita pré-moldado de 1,0 m de diâmetro com tampão, códigos SINAPI 98420 (até 1,5 m), 98421 (de 1,5 até 2,0 m), 98422 (de 2,0 até 2,5 m), 98423 (de 2,5 até 3,0 m) e 98424 (de 3,0 até 3,5 m).

$CCIB$: custo das caixas de passagem para injeção de bentonita (R\$)

Exemplo: trecho de LT circuito duplo, com 827 m de extensão e profundidade 1,8 m (com referência na cidade de São Paulo). Resulta:

$$CCIB = 1.393,09 \times 4 \times 2 = R\$ 11.144,72$$

Esse valor é reduzido em relação aos demais (equivalente a 13,47 R\$/m nesse exemplo), mas foi mantido por se repetir muitas vezes.

8.7 Fundações para suportes de terminais de uso externo

Este custo foi aproximado pelo mesmo preço da fundação de um isolador pedestal de um módulo de infraestrutura geral que consta do banco de preços da ANEEL [6].

A base desse custo é o valor do concreto estrutural equivalente (entre R\$/m³ 3.584,78 e R\$/m³ 3.783,35 na versão de 06/2020 do banco de preços da ANEEL) e a quantidade é aquela constante da tabela a seguir.

Tabela 30 – Quantidades de concreto equivalente (m³) para bases.

230 kV	345 kV	500 kV
5,22	5,25	5,25

Como a diferença é pequena entre as tensões, adota-se simplesmente

$$CFTE = 5,25 \times UCE \times \frac{N_{fases}}{3} \quad (76)$$

Onde:

UCE: custo unitário do concreto estrutural equivalente (R\$/m³) (3.584,78 R\$/m³ para 230kV, e 3.783,35 R\$/m³ para 345kV e 500kV).

CFTE: custo da fundação de um conjunto trifásico de terminal para uso externo (R\$)

8.8 Preços das obras civis

Ressalta-se que os itens anteriores apresentaram fórmulas para estimativas de custos. Para a obtenção dos preços é necessário acrescentar o BDI aos valores calculados, bem como o percentual de administração e mobilização.

$$OC = (1 + AM\%)(1 + BDI) \sum \text{Custos obras aplicáveis} \quad (77)$$

9. Outros Custos

9.1 Componentes menores

Foram desprezados diversos componentes menores de custos de materiais, obras civis e serviços, tais como: emendas de dutos, vedações de dutos, tapumes, sinalização de interrupção de vias, placas de aço para circulação de veículos, esgotamento de valas inundadas, furos para dutos e cabos nas caixas de emendas e abrigos, fitas de advertência, lubrificante de puxamento dos cabos, emendas óticas etc.

Os custos desses componentes são irrisórios em comparação com os demais, seja pelo seu valor em si, seja pela sua reutilização em muitos locais ou obras.

9.2 Faixas de servidão e CCI

Considerando que o trajeto prevê a utilização de vias públicas sem nenhuma limitação de suas funções normais por veículos, pedestres etc., além de faixas de passagem de LT aéreas já remuneradas e as DUP emitidas pela ANEEL, esse não foi considerado um custo relevante.

Com relação ao valor de CCI, que pode ser aplicável em caso de utilização de faixa de passagem de LT aérea existente, também é difícil estimar valores *a priori*.

Assim, para os fins de especificação da ferramenta de cálculo sugere-se que estes sejam dados de entrada a serem inseridos pelo usuário.

10. Cálculo do Custo Total

No cálculo do custo total da LT existem ainda alguns itens a serem considerados, como descrito a seguir.

10.1 Eventuais

É praxe considerar um valor adicional para despesas imprevistas, modificações pontuais no projeto, erros, incertezas etc.

O valor dos custos eventuais para orçamentos é normalmente adotado como 15 % do total das obras civis.

No entanto, nada impede que se utilizem valores diferenciados para os componentes principais do custo total objeto de cálculo. Essa é a abordagem que será utilizada no subitem a seguir.

10.2 Aplicação de fatores aos custos calculados

A utilização de alguns fatores pode ser muito útil para introduzir coeficientes de segurança, realizar análises de sensibilidade rapidamente, corrigir a falta de custos de alguns itens menores etc.

Por outro lado, se não forem utilizados com parcimônia, corre-se o risco de introduzir modificações significativas nos cálculos realizados.

A seguir serão propostos alguns fatores e sua utilidade.

F_1 : fator de correção do preço dos cabos e acessórios, útil para estimativa rápida do efeito de cotações orçamentárias com valor mais elevado em confronto com preços de mercado negociados (neste caso se utilizaria um fator menor que um)

F_2 : fator de correção do preço das obras civis, que permite análises de sensibilidade e estimativas rápidas para situações não contempladas nos critérios de cálculo

F_3 : fator de correção do preço dos serviços

F_4 : fator de correção do preço da instalação de cabos subaquáticos

Como esses fatores substituem o uso de custos eventuais, discutido no subitem imediatamente anterior, pode-se pensar em estabelecer um valor máximo como indicado a seguir.

$$\frac{F_1 + F_2 + F_3}{3} \leq \text{total eventuais} \quad (78)$$

$$\frac{F_1 + F_4}{2} \leq total\ eventuais \quad (79)$$

Essa proposta deve ser objeto de discussão antes de se introduzirem restrições na ferramenta de cálculo a ser desenvolvida.

10.3 Custo total da linha de transmissão subterrânea

Considerando-se os cálculos precedentes e aplicando-se os fatores propostos tem-se:

$$CSUBT = F_1 txPCeA + F_2 OC + F_3 SERV + OUTROS \quad (80)$$

Onde:

PCeA: preço cabos e acessórios (R\$)

OC: preço total calculado das obras civis (R\$)

SERV: preço total calculado dos serviços (R\$)

OUTROS: outros custos, particularmente de servidão (se aplicável) e CCI (R\$)

CSUBT: custo total da linha de transmissão subterrânea (R\$)

FS: faixa de servidão (se aplicável) (R\$)

CCI: CCI (R\$)

10.4 Custo total da linha de transmissão subaquática

São três os tipos de instalação possíveis para uma linha subaquática: superficial em águas rasas, enterrada em águas rasa, e alto mar.

A instalação subaquática é feita em lance único e pode haver um trecho subterrâneo de transição, conforme a Tabela 31.

Tabela 31 – Rota para linha de transmissão subaquática.

Rota Subaquática					
No.	Comprimento(m)	Acessório Início	L _{Aterramento}	Seção(mn)	diâmetro (m)
Trecho subaquático	L _{suba}				
Trecho subterrâneo	L _{transição}				
Final	N/A				

Para instalações em águas rasas, o custo total da linha é dividido em serviços, cabos e acessórios, e trecho de transição, com especificações a seguir.

10.4.1 Serviços

Como descrito pelo item 5.3, há diferenciação no cálculo dos custos de serviços de lançamento de cabos para instalações em águas rasas, sendo a instalação superficial dada por (11), e a instalação enterrada por (12).

Deve-se considerar ainda custo do serviço de instalação e comissionamento de DTS, conforme o item 5.2.8.

Os custos de ensaios de tipo e ensaios após instalação são calculados conforme descrito pelo item 5.5 deste relatório para instalações em águas rasas caso sejam selecionados pelo usuário.

O valor total dos serviços é calculado pela soma dos itens aplicáveis, acrescidos da administração e mobilização.

10.4.2 Cabos e acessórios

Os preços de cabos e acessórios são calculados do mesmo modo como descrito no capítulo 7 deste relatório, considerando o comprimento da linha subterrânea e os acessórios utilizados nos trechos de transição e final.

10.4.3 Transição

Para o trecho subterrâneo de transição é feito o cálculo do mesmo modo que para uma linha subterrânea comum, ou seja:

$$CSUBT_{transição} = F_1 txPCeA + F_2 OC + F_3 SERV + OUTROS \quad (81)$$

Em relação ao custo da obra civil do trecho de transição, foi adotado o método MND com um cabo por furo e um duto por furo, com o comprimento total da obra sendo o comprimento total do trecho de transição, ou seja:

$$CMND = \frac{N_{fases}}{3} (PROD \times UMAQ + N_{CF} P_{dAT}) L_{transição} \quad (82)$$

Para este trecho também é calculado o custo de caixa de emenda e caixa de abrigo de link box, conforme o item 8.5 deste relatório.

Para o cálculo do custo total de serviços, consideram-se lançamento de cabos, montagem de emendas e lançamento de outros cabos.

10.4.4 Custo total para LT subaquáticas com instalação em águas rasas

Considerando-se os cálculos precedentes e aplicando-se os fatores propostos, o custo total para LT subaquáticas com instalação em águas rasas é definido pela equação a seguir:

$$CSUBA = F_1 txPCeA + F_4 SERV + CSUBT_{transição} \quad (83)$$

Onde:

$CSUBT_{transição}$: custo dos trechos subterrâneos, calculado com os mesmos critérios de linhas subterrâneas.

10.4.5 Custo total para LT subaquáticas com instalação em alto mar

Para LT subaquáticas com instalação em alto mar, o custo total é definido pela equação a seguir:

$$CSUBA = tx1,35(Lam + 8,5)max\{3,1081S + 383; 5,725S - 2059\} \quad (84)$$

Onde:

S : potência aparente da linha de transmissão em MVA

Lam : comprimento da linha de transmissão em km

10.5 Linhas HVDC

As LT HVDC podem ser custeadas pelos mesmos critérios apresentados, excetuando-se que, ao invés de circuitos trifásicos, normalmente serão bipolos.

Isso altera a quantidade de cabos e acessórios a serem consideradas.

Em muitas fórmulas basta considerar duas fases para HVDC.

Porém, como os módulos de acessórios são trifásicos (devido às *link boxes* de

aterramento, que pouco afetam o total) eles precisam ter um valor menor para LT HVDC, da ordem de 2/3 do valor para LT HVAC.

Considerando a maior importância das LT HVAC na concepção do projeto, admite-se que o erro introduzido pelas aproximações propostas são aceitáveis.

11. Operação e Manutenção

A estimativa de operação e manutenção foi objeto de pesquisa na etapa I [4], tendo sido obtidos valores de (a base é o comprimento da LT e não de cabos):

- a) 1,4 k€/km/ano para LT subterrâneas
- b) 0,15 k€/km/ano para LT subaquáticas

A outra forma de se estimar esse custo seria pelo desdobramento das atividades envolvidas. Isso incluiria a definição de um plano de inspeção e de armazenagem de partes sobressalentes como descrito nos documentos [10] e [11], o que não se consegue precificar facilmente.

De qualquer forma, a inclusão ou não do custeio de operação e manutenção deve ser opcional, inclusive na ferramenta a ser desenvolvida na etapa IV.

12. Conclusões

Neste relatório foram apresentadas as premissas e sequências de cálculo que definem a metodologia para a obtenção dos custos de linhas de transmissão com cabos isolados.

Para suprir dados não obtidos na etapa I, difíceis de obter ou muito variáveis com as condições de projeto, foi necessário adotar hipóteses de simulação e, em alguns casos, recorreu-se a percentuais de outros preços.

Ao mesmo tempo que define a metodologia, neste relatório foram incluídos comentários e sugestões para uma especificação preliminar da ferramenta de cálculo, indicando algumas opções para o usuário que devem ser objeto de validação pela EPE antes do desenvolvimento previsto na etapa IV da consultoria.

O modelo preditivo de preços de cabos de alta tensão proposto para suprir a falta de valores não obtidos por pesquisa carece de mais dados para validação, mas define uma abordagem possível para a solução desse problema.

No caso de obras civis foi dada preferência ao SINAPI como fonte, por algumas vantagens, como considerar níveis de interferência no subsolo, acessibilidade dos dados em MS-Excel e ter atualização mensal.

Devido às especificidades das atividades para construção de LT subterrâneas e subaquáticas, alguns códigos foram escolhidos por similaridade e não por representação exata das características dessas obras.

Observou-se durante a análise e seleção de códigos do SINAPI que alguns deles foram modificados, isto é, em arquivo de 07/2020 o código era um e na versão de 01/2021 passou a ser outro para a mesma descrição. Isso pode ocorrer novamente, devido a reorganizações na base e impõe uma dificuldade adicional, embora superável, na manutenção futura da ferramenta de cálculo a ser desenvolvida.

O custeio de instalações subaquáticas foi modelado por critérios aproximados, seja pela falta de dados suficientes, seja pela grande diversidade dos projetos e condições de instalação esperadas em situações reais.

As fórmulas apresentadas neste relatório ainda requerem testes e simulações de casos para a sua validação ou introdução de modificações, o que está previsto na etapa IV do trabalho. No entanto, os valores calculados nos exemplos dos itens referentes a serviços e obras civis se mostram coerentes entre si e com valores esperados.

13. Referências bibliográficas

- [1]. EPE, **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
- [2]. IEC 60228, **Conductors of insulated cables**, 3rd edition, 2004
- [3]. -, **Sensor Cable stainless steel tubes with integrated fibers**, LIOS Technology, sem data.
- [4]. IEC 62067, **Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 kV (Um = 170 kV) up to 500 kV (Um = 550 kV) – Test methods and requirements**, 2nd edition, 2011.
- [5]. Sinapsis/EPE, **Pesquisa para levantamento de dados e melhores práticas internacionais**, relatório da Etapa I, revisão 2, mar./21.
- [6]. ANEEL, **Estabelecimento da metodologia de definição do Banco de Preços de Referência ANEEL a ser utilizado nos processos de autorização, licitação e revisão tarifária das concessionárias de transmissão de energia elétrica**, Nota Técnica nº 099/2008–SRT, ANEEL, 2008.
- [7]. 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.
- [8]. ARDELEAN, M.; MINNEBO, P. **HVDC submarine power cables in the world: State-of-the-art knowledge**. Publications. JRC. ec. Europa. eu, 2015.
- [9]. PMSP, **Dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio**, Instrução de Projeto IP-04/2004, Prefeitura Municipal de São Paulo, 2004.
- [10]. CIGRÉ, **Guia Referencial do estado da arte para Manutenção de Linhas de Transmissão Subterrâneas acima de 69 kV no Brasil**, CIGRÉ Grupo de Trabalho B1.04, Jan/2016.
- [11]. CIGRÉ, **Maintenance of HV Cable Systems, Technical Brochure 825**, CIGRÉ WG B1.60, 2020.

Anexo A – Análise de Sensibilidade

Com o intuito de avaliar o impacto dos erros e aproximações introduzidos na metodologia de cálculo, neste item será apresentada uma análise de sensibilidade da influência de cada fator no total.

Para isso, propõe-se fazer algumas curvas ABC, que contemplem limites extremos de valores, conforme Tabela 32 (valores em US\$).

Foi considerada, ainda, uma LT circuito duplo de 8,1 km de extensão, com nove trechos de 900 m, ou seja, 8 caixas de emendas. Não foi adotada uma classe de tensão específica, uma vez que se exploraram mínimos e máximos.

Tabela 32 – Aplicabilidade dos componentes por tipo de linha de transmissão.

Tipo	Componente	Custo	Mínimo	Máximo
Materiais	Cabos (US\$/m)	Variável	110	250
	Conj. trifásico de emendas (US\$)	Variável	24.000	36.000
	Terminais (US\$)	Fixo	12.000	
	DTS (US\$)	Fixo	250.000	
Obras civis	Valas e MND (US\$/km)	Variável	250.000	600.000
	Outras	Vinculado	20% valas e MND	
Serviços	Projeto, licenças	Vinculado	8% valas e MND	
	Instalação eletromecânicas	Fixo	1.120.000	

Consequentemente, existem 2³ combinações das três variáveis indicadas na tabela, cujas curvas ABC estão mostradas a seguir.

Em todos os oito casos, as obras civis e os cabos respondem pela parte A da curva (aproximadamente 80 % do total). Consequentemente, uma boa estimativa desses itens é fundamental.

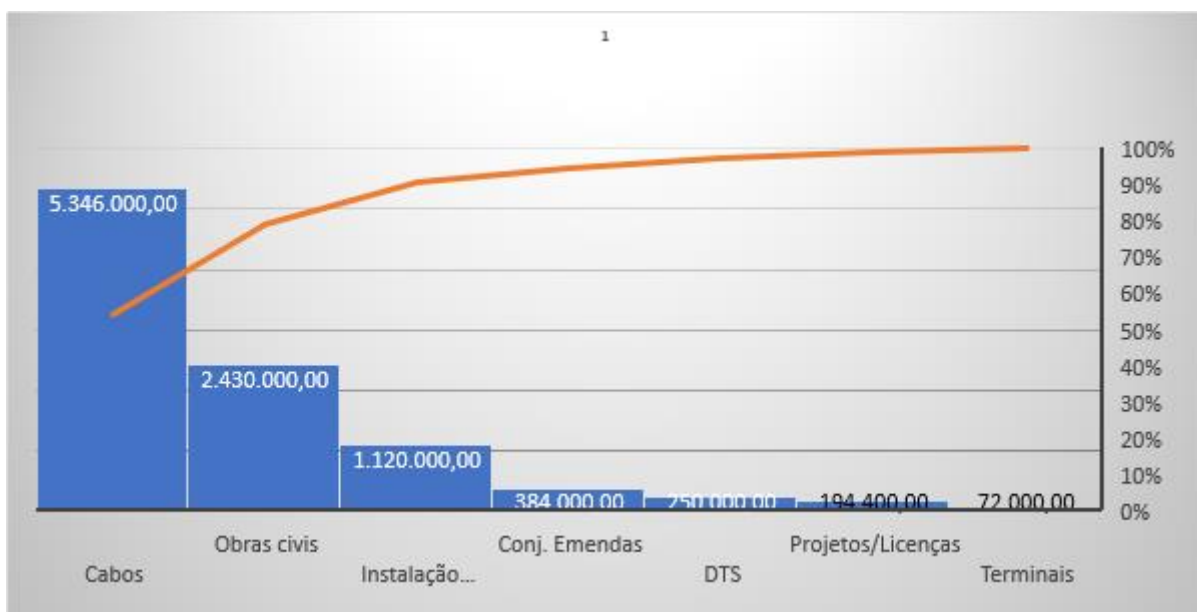


Figura 14 – Curva ABC caso 1 (cabos: mínimo, emendas: mínimo, obras civis: mínimo).

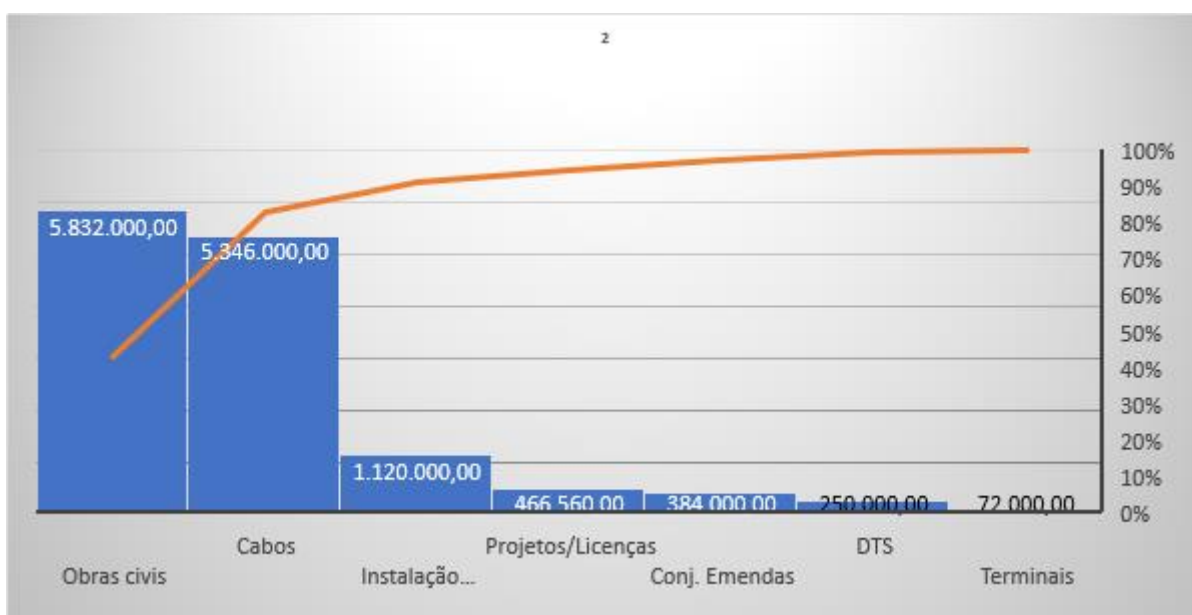


Figura 15 – Curva ABC caso 2 (cabos: mínimo, emendas: mínimo, obras civis: máximo).

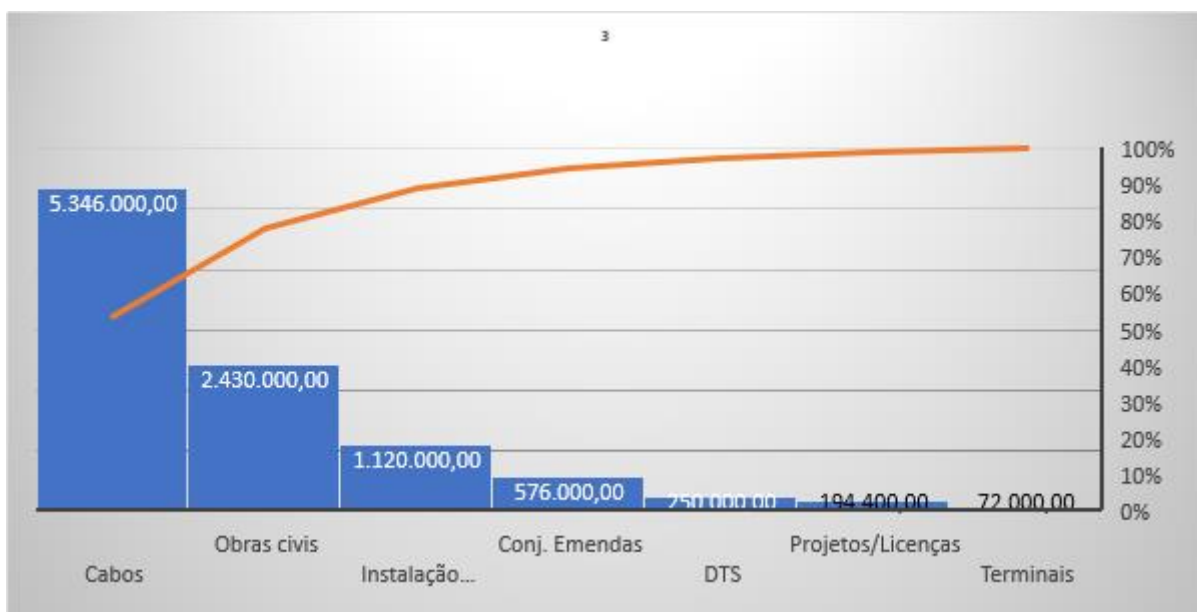


Figura 16 – Curva ABC caso 3 (cabos: mínimo, emendas: máximo, obras civis: mínimo).

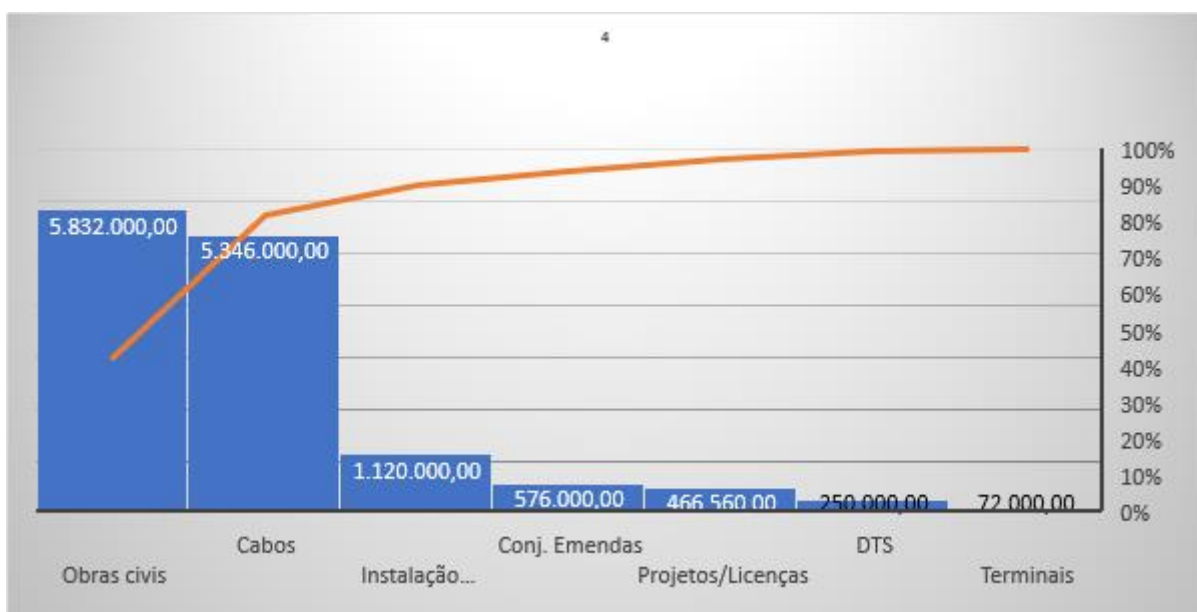


Figura 17 – Curva ABC caso 4 (cabos: mínimo, emendas: máximo, obras civis: máximo).

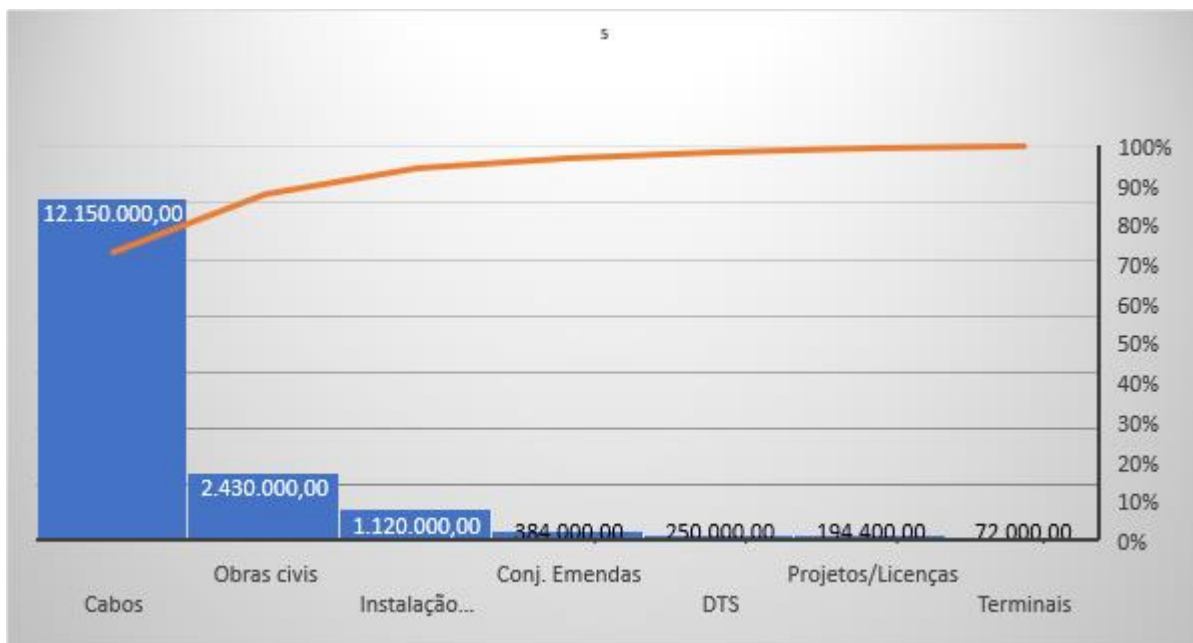


Figura 18 – Curva ABC caso 5 (cabos: máximo, emendas: mínimo, obras civis: mínimo).

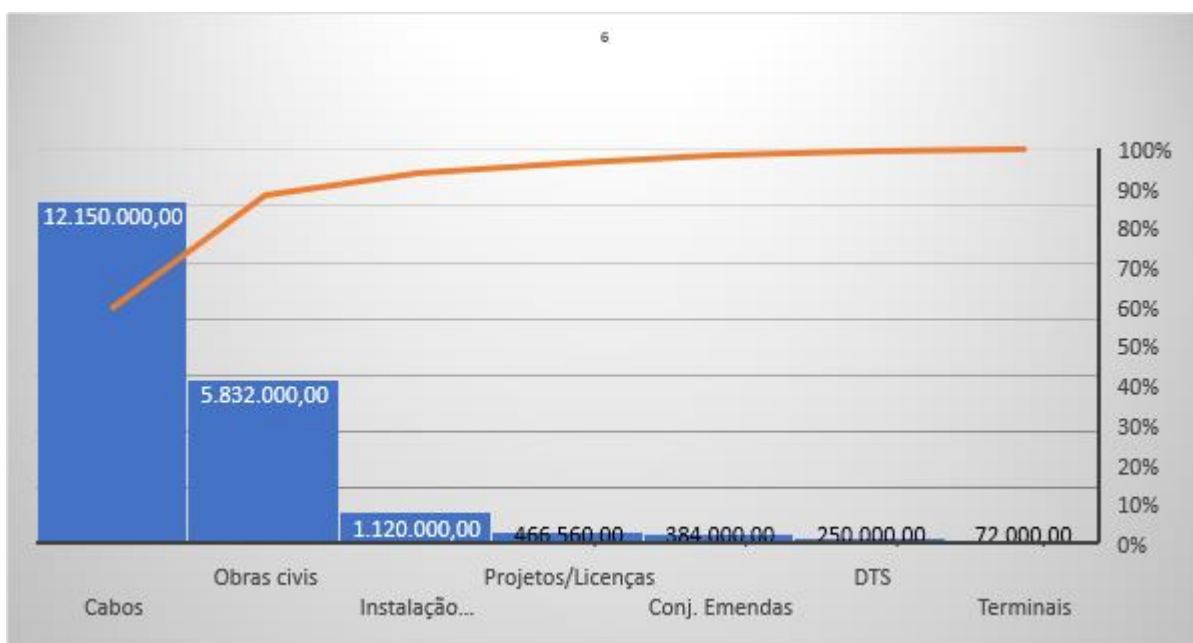


Figura 19 – Curva ABC caso 6 (cabos: máximo, emendas: mínimo, obras civis: máximo).

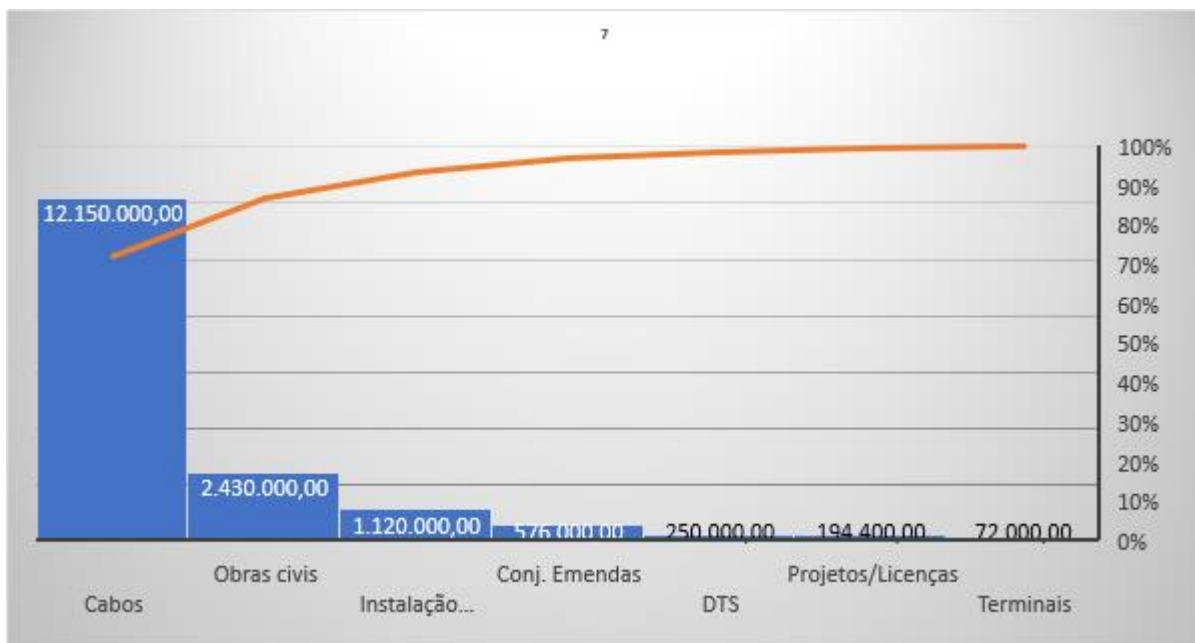


Figura 20 – Curva ABC caso 7 (cabos: máximo, emendas: máximo, obras civis: mínimo).

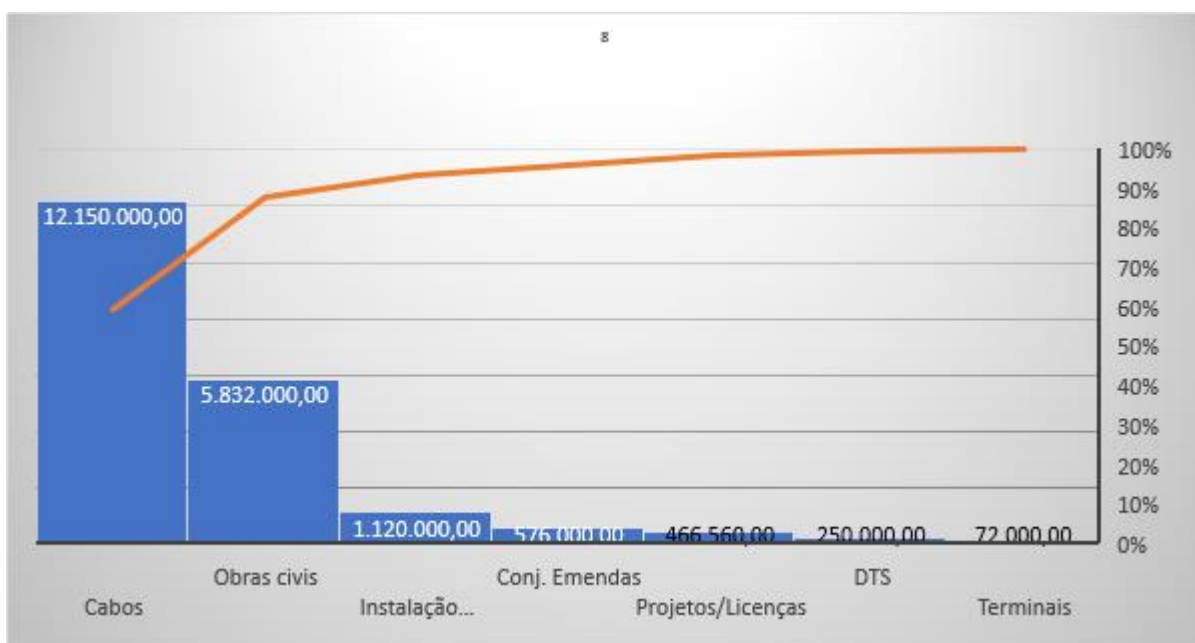


Figura 21 – Curva ABC caso 7 (cabos: máximo, emendas: máximo, obras civis: máximo).

Anexo B – Custo de Materiais de um Cabo de Potência

A estimativa do custo dos materiais de um cabo de potência cujo *data sheet* seja conhecido pode ser feita por cálculos geométricos e algumas considerações sobre o processo produtivo.

A quantidade de cada camada constituinte do cabo, em kg/km, pode ser obtida multiplicando-se a área (em mm², o que equivale ao volume por unidade de comprimento) pela densidade do material em g/cm³.

Esses cálculos estão indicados na Tabela 34 e três próximas tabelas, com algumas hipóteses simplificadoras:

- a) Foram omitidas algumas fitas, utilizadas para bloqueio longitudinal de água no condutor, blindagem e armação, cujos diâmetros foram considerados nos materiais adjacentes;
- b) Somente foi considerada isolação de XLPE;
- c) Somente três tipos construtivos de cabo que, no entanto, cobrem a maior parte das situações:
 - i. unipolar subterrâneo com as seguintes camadas: condutor – sistema isolante – blindagem metálica opcional – capa metálica – cobertura;
 - ii. unipolar subaquático com as seguintes camadas: condutor – sistema isolante – capa metálica – acolchoamento – armação metálica – cobertura;
 - iii. tripolar subaquático com as seguintes camadas: condutor – sistema isolante – capa metálica – reunião - enchimentos – acolchoamento – armação metálica – cobertura.

O significado dos símbolos está descrito a seguir.

R_c : resistividade elétrica do material do condutor (17,241 $\Omega\text{mm}^2/\text{km}$ para cobre e 28,264 $\Omega\text{mm}^2/\text{km}$ para alumínio)

R_{20} : resistência elétrica em CC a 20 °C, conforme Tabela 2 (Ω/km). Definida a partir da Seção nominal do cabo e do material.

d_c , d_{smc} , d_{iso} , d_{smi} , $d_{bmédio}$, d_{cm} , d_e , d_{ac} , $d_{amédio}$, d_{cob} diâmetros do condutor, da blindagem semicondutora do condutor, da isolação, da blindagem semicondutora da isolação, da blindagem metálica (médio), da capa metálica, do enchimento, do acolchoamento, da armação metálica (médio) e da cobertura, respectivamente (mm). Os diâmetros são definidos pelo usuário, como apresentado pela Tabela 8.

m_{cond} , m_{smc} , m_i , m_{smi} , m_b , m_{cm} , m_{co} , m_e , m_{ac} , m_a e m_{cob} : massas do condutor, blindagem semicondutora do condutor, isolação, blindagem semicondutora da isolação, blindagem metálica, capa metálica, cabos óticos, enchimentos, acolchoamento, armação metálica e cobertura, respectivamente (kg/km). Calculada.

$\mu_c, \mu_{smc}, \mu_i, \mu_{smi}, \mu_b, \mu_{cm}, \mu_{co}, \mu_e, \mu_{ac}, \mu_a$ e μ_{cob} : densidades dos materiais do condutor, blindagem semicondutora do condutor, isolamento, blindagem semicondutora da isolamento, blindagem metálica, capa metálica, cabos óticos, enchimentos, acolchoamento, armação metálica e cobertura, respectivamente (g/cm³). Com a definição do tipo de material da Tabela 8, a densidade de cada material é dada pela Tabela 1.

$P_c, P_{smc}, P_i, P_{smi}, P_b, P_{cm}, P_{co}, P_{en}, P_{ac}, P_a$ e P_{cob} : preços dos materiais do condutor, blindagem semicondutora do condutor, isolamento, blindagem semicondutora da isolamento, blindagem metálica de fios, capa metálica, cabos óticos, enchimentos, acolchoamento, armação metálica e cobertura, respectivamente (US\$/kg). A partir das cotações para cada material, conforme tabela seguinte, e pode ser atualizado.

Tabela 33 – Preços

Preços (US\$/kg)	
Cu	6,8488
Al	2,2757
Pb	1,9765
Aço	1,0000
Blindagens Semicondutoras	6,1000
XLPE	1,8500
EPR	2,0000
Polylam	3,5000
PEAD	1,2000
Outro	46,0000

Nas tabelas que se seguem, os cálculos das massas por unidade de comprimento, de cada elemento constituinte do cabo, correspondem ao produto da densidade pela área do elemento. Consequentemente, o custo é simplesmente o produto da massa linear pelo preço por kg de cada material. As unidades são consistentes com a obtenção dos preços em US\$/km.

No processo de produção, além do comprimento entregue de um determinado cabo, é necessário produzir uma quantidade adicional, basicamente para preparações de máquinas e ensaios de produção, o que é parte dos custos de fabricação.

Para esses cálculos deve ser considerado um lance médio ($L_{médio}$) compatível com a rota da LT e um número de lances em uma largada da linha de extrusão da isolamento (N_l).

$$N_l = \text{inteiro} \left[\frac{15.000.000}{L_{médio} m_i} \right] \quad (B1)$$

N_l : número de lances em uma largada;

m_i : massa da isolação;

$L_{médio}$: lance médio – comprimento médio de todos os lances (m).

$$L_{médio} = \frac{\text{soma dos comprimentos do } n \text{ lances}}{n} \quad (B2)$$

Na fórmula precedente $L_{médio}$ está em metros.

O valor de 15.000 kg corresponde à quantidade de total extrudada máxima a partir da qual é necessário realizar uma parada para limpeza das extrusoras e troca do sistema de filtragem.

A partir desse valor calculam-se os acréscimos de comprimento, aplicáveis a algumas etapas:

$$\Delta_1 = \frac{\Delta L_{largada}}{N_l L_{médio}} = \frac{150}{N_l L_{médio}} \quad (B3)$$

$$\Delta_2 = \frac{\Delta L_{prep}}{N_l L_{médio}} = \frac{3}{N_l L_{médio}} \quad (B4)$$

$$\Delta_3 = \frac{\Delta L_{ensaios}}{N_l L_{médio}} = \frac{12}{N_l L_{médio}} \quad (B5)$$

$\Delta L_{largada}$, ΔL_{prep} e ΔL_{prep} são os comprimentos adicionais de partida de linha de extrusão do sistema isolante, outras preparações de máquina e necessários para a realização de ensaios, respectivamente (m).

Δ_1 = delta1: acréscimos de comprimento, aplicáveis a algumas etapas;

Δ_2 = delta2: acréscimos de comprimento, aplicáveis a algumas etapas;

Δ_3 = delta3: acréscimos de comprimento, aplicáveis a algumas etapas.

Para as equações (B3), (B4) e (B5) pode-se adotar a forma apresentada pelo segundo membro da igualdade, ou seja, os valores apresentados para $\Delta L_{largada}$, ΔL_{prep} e ΔL_{prep} .

Adicionalmente para cabos tripolares existe um acréscimo devido à reunião helicoidal das veias, que faz que a cada metro de cabo completo elas tenham um comprimento maior, isto é:

$$\Delta_4 = \frac{\sqrt{\left(\frac{\pi D_{reunião}}{passo_{reunião}}\right)^2 + 1} - 1}{N_l L_{médio}} = \frac{\sqrt{(\pi dp_r)^2 + 1} - 1}{N_l L_{médio}} \quad (B6)$$

Quando não disponíveis, adotar para as relações $dp = \frac{d_{médio}}{passo}$:

- a) Blindagem metálica: $1/8 = dp_b$
- b) Armação: $1/12 = dp_a$
- c) Reunião: $1/25 = dp_r$

d_{fb} : diâmetro do fio da blindagem metálica

n_b : número de fios da blindagem metálica

n_{co} número de cabos óticos na blindagem metálica de fios

m_o : massa do cabo ótico na blindagem metálica, igual a 9,2 kg/km.

e_{cm} : espessura da capa metálica (mm)

n_{am} : número de fios da armação metálica

d_{fa} : diâmetro do fio da armação metálica

Tabela 34 – Custo de materiais para cabos unipolares subterrâneos.

	Massa (kg/km)	Custo materiais (US\$/km)
Condutor	$m_{cond} = 1,01\mu_c \frac{R_c}{R_{20}}$	$(1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{cond}P_c$
Blindagem semicondutora do condutor	$m_{smc} = 1,05\frac{\pi}{4}\mu_{smc}(d_{smc}^2 - d_c^2)$	$(1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{smc}P_{smc}$
Isolação	$m_i = \frac{\pi}{4}\mu_i[(1,03d_{iso})^2 - d_{smc}^2]$	$(1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_iP_i$
Blindagem semicondutora da isolação	$m_{smi} = \frac{\pi}{4}\mu_{smi}(d_{smi}^2 - d_{iso}^2)$	$(1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{smi}P_{smi}$
Blindagem metálica (opcional)	$m_b = \mu_b \frac{\pi n_b d_{fb}^2}{4} \sqrt{(\pi dp_b)^2 + 1}$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_bP_b$
Cabos óticos sensores	$m_{co} = n_{co}m_o\sqrt{(\pi dp_r)^2 + 1}$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{co}P_{co}$
Capa metálica	$m_{cm} = \pi\mu_{cm}(d_{cm} + e_{cm})e_{cm}$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{cm}P_{cm}$
Cobertura	$m_{cob} = \frac{\pi}{4}\mu_{cob}(d_{cob}^2 - d_{cm}^2)$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{cob}P_{cob}$

Tabela 35 – Custo de materiais para cabos unipolares subaquáticos.

	Massa (kg/km)	Custo materiais (U\$/km)
Condutor	$m_{cond} = 1,01\mu_c \frac{R_c}{R_{20}}$	$(1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{cond}P_c$
Blindagem semicondutora do condutor	$m_{smc} = 1,05\frac{\pi}{4}\mu_{smc}(d_{smc}^2 - d_c^2)$	$(1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{smc}P_{smc}$
Isolação	$m_i = \frac{\pi}{4}\mu_i[(1,03d_{iso})^2 - d_{smc}^2]$	$(1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_iP_i$
Blindagem semicondutora da isolação	$m_{smi} = \frac{\pi}{4}\mu_{smi}(d_{smi}^2 - d_{iso}^2)$	$(1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{smi}P_{smi}$
Capa metálica	$m_{cm} = \pi\mu_{cm}(d_{cm} + e_{cm})e_{cm}$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{cm}P_{cm}$
Cabos óticos sensores	$m_{co} = n_{oc}m_o$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{co}P_{co}$
Acolchoamento	$m_{ac} = \frac{\pi}{4}\mu_{ac}(d_{ac}^2 - d_{cm}^2)$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{ac}P_{ac}$
Armação metálica	$m_a = \mu_a \frac{\pi n_{am} d_{fa}^2}{4} \sqrt{(\pi dp_a)^2 + 1}$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_aP_a$
Cobertura	$m_{cob} = \frac{\pi}{4}\mu_{cob}(d_{cob}^2 - d_{amedio}^2)$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{cob}P_{cob}$

Tabela 36 – Custo de materiais para cabos tripolares.

	Massa (kg/km)	Custo materiais (US\$/km)
Condutor	$m_{cond} = 1,01\mu_c \frac{R_c}{R_{20}}$	$(1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4)m_{cond}P_c$
Blindagem semicondutora do condutor	$m_{smc} = \frac{\pi}{4}\mu_{smc}(d_{smc}^2 - d_c^2)$	$(1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4)m_{smc}P_{smc}$
Isolação	$m_i = \frac{\pi}{4}\mu_i[(1,03d_{iso})^2 - d_{smc}^2]$	$(1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4)m_iP_i$
Blindagem semicondutora da isolação	$m_{smi} = \frac{\pi}{4}\mu_{smi}(d_{smi}^2 - d_{iso}^2)$	$(1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4)m_{smci}P_{smi}$
Capa metálica	$m_{cm} = \pi\mu_{cm}(d_{cm} + e_{cm})e_{cm}$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4)m_{cm}P_{cm}$
Enchimentos	$m_e = \frac{\pi}{4}\mu_e(d_e^2 - 3d_{iso}^2)$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_eP_{en}$
Cabos óticos sensores	$m_{co} = n_{oc}m_o$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{co}P_{co}$
Acolchoamento	$m_{ac} = \frac{\pi}{4}\mu_{ac}(d_{ac}^2 - d_{cm}^2)$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{ac}P_{ac}$
Armação metálica	$m_a = \mu_a \frac{\pi n_{am} d_{fa}^2}{4} \sqrt{(\pi dp_a)^2 + 1}$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_aP_a$
Cobertura	$m_{cob} = \frac{\pi}{4}\mu_{cob}(d_{cob}^2 - d_{amedio}^2)$	$(1 + \Delta_2 + \Delta_3)m_{cob}P_{cob}$

O custo dos materiais, em cada caso, é a soma de todos os custos parciais, convertido para US\$/m:

$$MP = 0,001 \sum_j Custos\ materiais_j \quad (B7)$$

$$mtotal = \sum_j Massas_j$$

Anexo C – Preços de Dutos

Foram utilizados como referência os valores de janeiro de 2021 disponíveis no TCPOWeb, conforme tabela seguinte. Esses valores serão adotados como referência, podendo ser atualizados pelo usuário caso necessário.

Tabela 37 – Preços dutos (R\$/m).

Descrição	Diâm. nom. (mm)	São Paulo	Porto Alegre	Fortaleza	Manaus	Curitiba
Duto PEAD corrugado helicoidal Ø 1 1/2"	40	6,69	7,09	6,69	5,03	5,37
Duto PEAD corrugado helicoidal Ø 2"	50	14,62	15,49	14,62	11	11,73
Duto PEAD corrugado helicoidal Ø 3"	75	22,36	23,69	22,36	16,83	17,93
Duto PEAD corrugado helicoidal Ø 4"	100	28,25	29,93	28,25	21,26	22,66
Duto PEAD corrugado helicoidal Ø 5"	125	41,88	44,37	41,88	31,52	33,59
Duto PEAD corrugado helicoidal Ø 6"	150	59,14	62,66	59,14	44,5	47,43
Duto Ø 7"	175	63,28	63,14	63,28	50,99	54,35
Duto Ø 8"	200	67,42	63,62	67,42	57,48	61,27

Observa-se que os preços de Manaus e Curitiba parecem muito baixos, o que pode ser fruto de desatualização ou de produto de qualidade inferior.

Já os preços de Fortaleza são exatamente iguais ao de São Paulo (local da fábrica do fornecedor) o que provavelmente indica cópia de valores, sem considerar custos de frete.

Ao contrário, um pequeno acréscimo nos preços de Porto Alegre em relação àqueles de São Paulo parece consistente devido ao frete.

Analisando a variação gráfica, verifica-se um comportamento não linear em geral, mas que para os diâmetros maiores parece tender à linearização.

Considerando somente os valores para diâmetros a iguais ou superiores a 125 mm, de São Paulo e Porto Alegre, obtém-se as equações de regressão linear para dutos maiores (7 pol. e 8 pol.) bastante usuais em LT subterrâneas da RB. Sugere-se adotá-los como referência, considerando o valor de Porto Alegre como válido para todos os estados, exceto São Paulo.

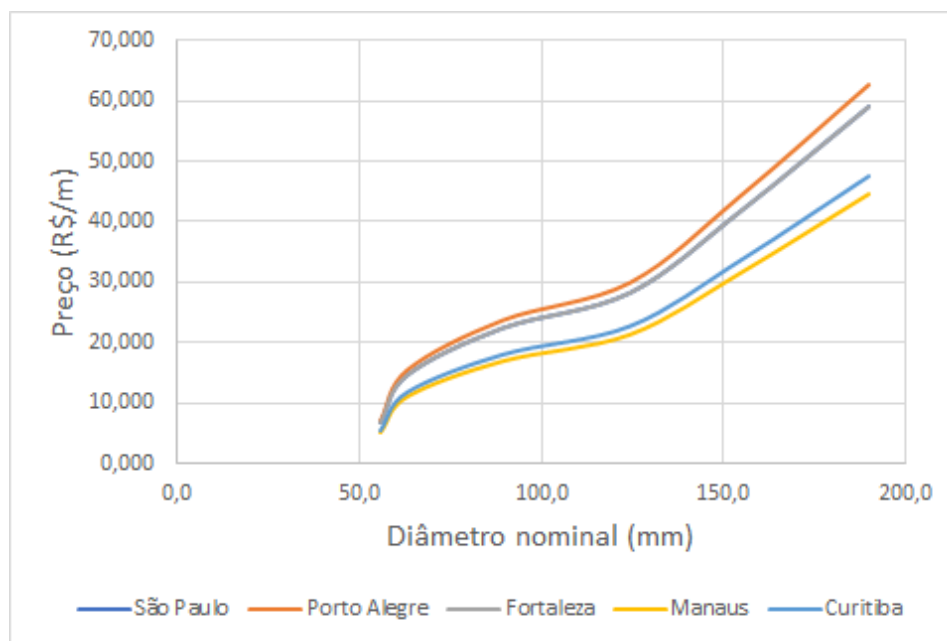


Figura 22 – Comportamento dos preços dos dutos coletados no TCPOWeb.

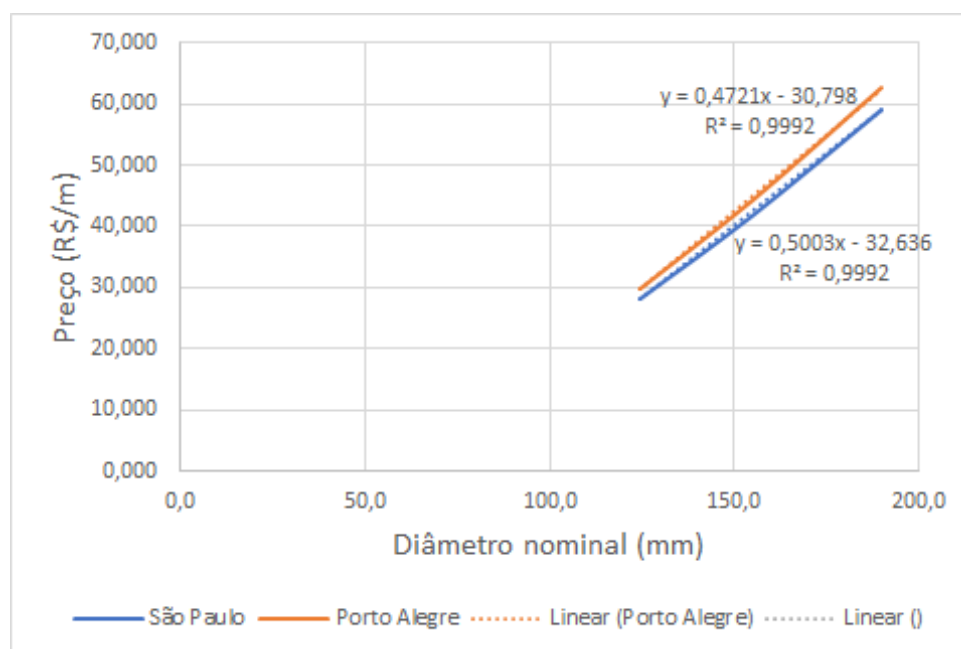


Figura 23 – Comportamento dos preços para os dutos de maior diâmetro.

Exemplo: aplicando a equação de São Paulo para dutos 200 mm (diâmetro nominal correspondente a 8 pol.) resulta $0,5003 \times 200 - 32,636 = 67,42 \frac{R\$}{m}$.

$$P_{duto} = 0,5003 \times (\text{diâmetro nominal}) - 32,636$$

Anexo D – Custeio do *Backfill*

O *backfill* usual no Brasil é composto por 60 % de brita 0 e 40 % de pó de pedra, umedecidos, misturados e compactados.

Tabela 38 – Matérias primas para produção de *backfill*.

Componente	Quantidade	Código/Fonte
Água (R\$/m ³)	8 % da mistura de brita 0 e pó de pedra	95606/SINAPI 101005/SINAPI
Brita 0 (R\$/m ³)	1,0 parte (37,0 %)	00004720/SINAPI
Pó de pedra (R\$/ m ³)	1,5 parte (55,6 %)	00004741/SINAPI

A partir do custo dos materiais, dos equipamentos e mão de obra é possível calcular o custo do *backfill*.

O custo da preparação e mistura dos componentes, que é realizada em pouco tempo (menos de 20 min por m³) foi considerado desprezível.

Os preços do SINAPI não contemplam o transporte dos materiais e ele foi incluído considerando uma distância de 10 km e 1 m³ de material.

Considerando as densidades dos materiais, a fórmula resulta:

$$UB = 0,101P_{\text{água}} + 0,367P_{\text{brita}} + 0,533P_{\text{pó de pedra}} + 13,61UT + UCOMP \quad (D1)$$

Onde:

$P_{\text{água}}$: preço da água, correspondente à soma dos valores dos códigos da Tabela 38 (R\$/m³)

P_{brita} : preço da pedra britada no. 0 (R\$/m³)

$P_{\text{pó de pedra}}$: preço do pó de pedra (R\$/m³)

UT : custo unitário de transporte dos materiais, código 97918 do SINAPI (R\$/t.km)

$UCOMP$: custo unitário de compactação, correspondente à soma dos códigos 91533 e 91534 do SINAPI (R\$/m³)

A densidade calculada antes da compactação para o *backfill*, a partir dos seus componentes, foi de 1361 kg/m³. Como para se obter as propriedades térmicas e mecânicas desejadas é necessário obter uma densidade de 2000 kg/m³, resulta o fator de expansão de 1,45 para o cálculo de volume de material.

Exemplo:

Considerando-se inicialmente somente os materiais tem-se:

$$0,101(1,43 + 11,53) + 0,367 \times 65,67 + 0,533 \times 53,73 + 13,61 \times 1,24 = 70,84 \text{ R\$/m}^3$$

Acrescentando -se a compactação, resulta:

$$70,84 + 32,40 + 27,06 = 130,30 \text{ R\$/m}^3$$

Anexo E – Custo da Bentonita

Assim como no caso do *backfill*, a denominada “bentonita”, utilizada para o preenchimento dos dutos, não é um insumo que conste de qualquer um dos bancos de dados públicos, uma vez que se trata de uma mistura de materiais com uma proporção específica.

Para a sua composição, utilizam-se as quantidades e materiais seguintes. Para não confundir a bentonita de injeção nos dutos com o material componente, este último foi chamado de argila bentonita na tabela que se segue.

Tabela 39 – Matérias primas para produção de bentonita.

Componente	Quantidade	Código/Fonte
Água (R\$/m³)	10 partes	95606/SINAPI 101005/SINAPI
Argila bentonita (R\$/kg)	1 parte	M0140/SICRO
Cimento (R\$/kg) (Nota: Portland CP II-32)	8 partes da mistura de água e bentonita (8,8 %)	00001379/SINAPI
Areia fina (R\$/m³)	20 partes da mistura de água e bentonita (22 %)	00000366/SINAPI

Os preços do SINAPI não contemplam o transporte dos materiais. Contudo, avaliando o valor do código de transporte 97918 do SINAPI seu valor é baixo e por isso foi desprezado.

Outro custo considerado desprezível foi o da preparação e mistura dos componentes, que é realizada em pouco tempo (menos de 15 min por m³).

Considerando as densidades dos materiais e objetivando a simplificação, sem introduzir grande erro, adota-se:

$$P_{mat_bentonita} = 0,755P_{água} + 75,5P_{argila} + 66,4P_{cimento} + 0,129P_{areia} \quad (E1)$$

Onde:

$P_{água}$: preço da água, correspondente à soma dos valores dos códigos da Tabela 39 (R\$/m³)

P_{argila} : preço da argila bentonita (R\$/kg)

$P_{cimento}$: preço do cimento (R\$/kg)

P_{areia} : preço da areia (R\$/ m³)

Exemplo:

$$\begin{aligned} P_{mat_bentonita} &= 0,755(1,43 + 11,53) + 75,5 \times 1,46 + 66,4 \times 0,37 + 0,129 \times 38,10 \\ &= 149,46 \text{ R\$/m}^3 \end{aligned}$$

Adicionando o custo do bombeamento, aproximado pelo código SINAPI 25950 (obtido da tabela de insumos), resulta:

$$P_{bentonita} = 149,46 + 28,13 = 177,59 \text{ R\$/m}^3$$

