



Empresa de Pesquisa Energética

ESTUDOS PARA A EXPANSÃO DA TRANSMISSÃO

NOTA TÉCNICA

*Definição de Parâmetros Iniciais Para o Planejamento de
Linhas de Transmissão Aéreas*

Julho de 2022

Ministério de
Minas e Energia



(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso)



GOVERNO FEDERAL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministério de Minas e Energia

Ministro

Adolfo Sachsida

Secretário-Executivo do MME

Hailton Madureira de Almeida

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético

José Guilherme de Lara Resende

Secretário de Energia Elétrica

João Daniel de Andrade Cascalho (adjunto)

Secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Rafael Bastos da Silva

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Pedro Paulo Dias Mesquita

ESTUDOS PARA A EXPANSÃO DA TRANSMISSÃO

NOTA TÉCNICA

Definição de Parâmetros Iniciais Para o Planejamento de Linhas de Transmissão Aéreas



Empresa de Pesquisa Energética

Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Presidente

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Giovani Vitória Machado

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Erik Eduardo Rego

Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretor de Gestão Corporativa

Angela Regina Livino de Carvalho

URL: <http://www.epe.gov.br>

Sede

Esplanada dos Ministérios, Bloco "U", sala 744
70065-900 - Brasília – DF

Escritório Central

Praça Pio X, nº 54
20091-040 - Rio de Janeiro – RJ

Coordenação Geral

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira
Erik Eduardo Rego

Coordenação Executiva

Thiago de Faria Rocha Dourado Martins

Coordenação Técnica

Daniel José Tavares de Souza


Equipe Técnica

Bruno Scarpa Alves da Silveira
Dourival de Souza Carvalho Junior
Fabiano Schmidt
Sérgio Felipe Falcão Lima

Nº EPE-DEE-NT-012/2018-rev1

Data: 04/07/2022

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso)

 <p>Empresa de Pesquisa Energética</p>	<p><i>Contrato</i> _____</p> <p><i>Data de assinatura</i> _____</p>						
<p><i>Projeto</i></p> <p align="center">ESTUDOS PARA A EXPANSÃO DA TRANSMISSÃO</p>							
<p><i>Área de estudo</i></p> <p align="center">Estudos do Sistema de Transmissão</p>							
<p><i>Sub-área de estudo</i></p> <p align="center">Estudos Especiais e Engenharia</p>							
<p><i>Produto (Nota Técnica ou Relatório)</i></p> <p>EPE-DEE-NT-012/2018-rev1 Definição de Parâmetros Iniciais Para o Planejamento de Linhas de Transmissão Aéreas</p>							
<p><i>Revisões</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="421 1070 699 1108"><i>Data</i></th> <th data-bbox="699 1070 1372 1108"><i>Descrição sucinta</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="421 1108 699 1218">rev0</td> <td data-bbox="699 1108 1372 1218">08/03/2018 Emissão Original</td> </tr> <tr> <td data-bbox="421 1218 699 1520">rev1</td> <td data-bbox="699 1218 1372 1520">04/07/2022 <ul style="list-style-type: none"> i. Revisão de premissas e critérios de cálculo; ii. Remoção e inclusão de configurações; iii. Inclusão de cabos OPGW em todas as configurações; iv. Revisão de todos os valores de parâmetros elétricos e ampacidades; v. Apresentação de novas informações, como estimativa preliminar de faixa de segurança; vi. Ajustes textuais diversos. </td> </tr> </tbody> </table>	<i>Data</i>	<i>Descrição sucinta</i>	rev0	08/03/2018 Emissão Original	rev1	04/07/2022 <ul style="list-style-type: none"> i. Revisão de premissas e critérios de cálculo; ii. Remoção e inclusão de configurações; iii. Inclusão de cabos OPGW em todas as configurações; iv. Revisão de todos os valores de parâmetros elétricos e ampacidades; v. Apresentação de novas informações, como estimativa preliminar de faixa de segurança; vi. Ajustes textuais diversos.
<i>Data</i>	<i>Descrição sucinta</i>						
rev0	08/03/2018 Emissão Original						
rev1	04/07/2022 <ul style="list-style-type: none"> i. Revisão de premissas e critérios de cálculo; ii. Remoção e inclusão de configurações; iii. Inclusão de cabos OPGW em todas as configurações; iv. Revisão de todos os valores de parâmetros elétricos e ampacidades; v. Apresentação de novas informações, como estimativa preliminar de faixa de segurança; vi. Ajustes textuais diversos. 						

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso)

APRESENTAÇÃO

Esta nota técnica apresenta parâmetros elétricos unitários e ampacidades iniciais, dentre outras informações para o planejamento, de configurações típicas de linhas de transmissão aéreas, em corrente alternada, nos níveis de tensão nominal de 69, 138, 230, 345, 440, 500 e 765 kV.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	7
SUMÁRIO.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABELAS.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivo.....	12
1.2 Resultados.....	12
1.3 Destaques Desta Revisão.....	13
2 FERRAMENTA DE CÁLCULO.....	14
3 CRITÉRIOS E PREMISSAS PRINCIPAIS.....	15
3.1 Introdução.....	15
3.2 Premissas Ambientais Principais.....	15
3.3 Tensão Máxima Operativa.....	16
3.4 Critérios Técnicos Principais.....	16
3.5 Cabos Condutores e Para-Raios.....	17
3.6 Estruturas Típicas.....	17
4 PARÂMETROS INICIAIS PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO AÉREAS.....	19
4.1 Introdução.....	19
4.2 Configurações de 69 kV.....	20
4.3 Configurações de 138 kV.....	24
4.4 Configurações de 230 kV.....	28
4.5 Configurações de 345 kV.....	38
4.6 Configurações de 440 kV.....	44
4.7 Configurações de 500 kV.....	48
4.8 Configurações de 765 kV.....	66
5 REFERÊNCIAS.....	72
6 ANEXOS.....	73
6.1 Anexo 1 – Dados dos Cabos.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1 Configuração 069CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	20
Figura 4-2 Configuração 069CST1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	22
Figura 4-3 Configuração 138CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	24
Figura 4-4 Configuração 138CST1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	26
Figura 4-5 Configuração 230CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	28
Figura 4-6 Configuração 230CSH1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	30
Figura 4-7 Configuração 230CST1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	32
Figura 4-8 Configuração 230CST3, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	34
Figura 4-9 Configuração 230CST4, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	36
Figura 4-10 Configuração 345CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	38
Figura 4-11 Configuração 345CSH1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	40
Figura 4-12 Configuração 345CST1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	42
Figura 4-13 Configuração 440CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	44
Figura 4-14 Configuração 440CST1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	46
Figura 4-15 Configuração 500CDT1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	48
Figura 4-16 Configuração 500CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	50
Figura 4-17 Configuração 500CDV4, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	52
Figura 4-18 Configuração 500CSH1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	54
Figura 4-19 Configuração 500CSH2, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	56
Figura 4-20 Configuração 500CSH6, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	58
Figura 4-21 Configuração 500CSH7, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	60
Figura 4-22 Configuração 500CST3, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	62
Figura 4-23 Configuração 500CST4, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança	64

Figura 4-24 Configuração 765CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança 66

Figura 4-25 Configuração 765CSH1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança 68

Figura 4-26 Configuração 765CST2, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança 70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1 Premissas ambientais principais.....	15
Tabela 3-2 Limites de tensão fase-fase em regime permanente a 60 Hz	16
Tabela 3-3 Critérios técnicos principais	16
Tabela 3-4 Cabos CAA considerados por tensão nominal	17
Tabela 3-5 Vãos médios por tensão nominal	18
Tabela 4-1 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 069CDV1..	21
Tabela 4-2 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 069CST1 ..	23
Tabela 4-3 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 138CDV1..	25
Tabela 4-4 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 138CST1 ..	27
Tabela 4-5 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 230CDV1..	29
Tabela 4-6 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 230CSH1..	31
Tabela 4-7 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 230CST1 ..	33
Tabela 4-8 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 230CST3 ..	35
Tabela 4-9 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 230CST4 ..	37
Tabela 4-10 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 345CDV1	39
Tabela 4-11 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 345CSH1	41
Tabela 4-12 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 345CST1	43
Tabela 4-13 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 440CDV1	45
Tabela 4-14 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 440CST1	47
Tabela 4-15 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CDT1	49
Tabela 4-16 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CDV1	51
Tabela 4-17 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CDV4	53
Tabela 4-18 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CSH1	55
Tabela 4-19 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CSH2	57
Tabela 4-20 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CSH6	59
Tabela 4-21 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CSH7	61
Tabela 4-22 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CST3	63
Tabela 4-23 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CST4	65
Tabela 4-24 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 765CDV1	67
Tabela 4-25 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 765CSH1	69
Tabela 4-26 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 765CST2	71
Tabela 6-1 Dados dos cabos condutores considerados.....	73

1 INTRODUÇÃO

Na etapa inicial dos estudos de planejamento da transmissão, no âmbito dos Relatórios R1, são consideradas diferentes alternativas de expansão para, ao final desses estudos, selecionar e recomendar uma alternativa de referência considerando os pontos de vista técnico, econômico e socioambiental [1]. Assim, para cada alternativa, concebe-se uma solução de expansão viável de ser implantada, definida por um plano de obras que pode envolver Linhas de Transmissão (LT) e Subestações (SE).

No que diz respeito à referência adotada para as novas LT – ou novos trechos de seccionamento -, sua escolha inicial envolve diferentes condicionantes, dentre os quais, a tensão nominal, a capacidade de transmissão, o comprimento e, até mesmo, as instalações existentes adjacentes.

Outro condicionante importante para o planejamento é a adoção referencial de concepções de LT factíveis de serem implantadas nos prazos e condições praticadas nos leilões de transmissão promovidos pela ANEEL [2]. Concepções de LT implantadas com sucesso e em operação são as principais referências a serem consideradas.

Tendo em conta esses elementos, além de outros que a situação particular venha a exigir, faz-se uma escolha inicial das LT, para cada alternativa de expansão, com seus parâmetros elétricos e capacidades de transmissão, a serem utilizados nos estudos. Posteriormente, as escolhas correspondentes à alternativa final recomendada estarão sujeitas à otimização e outros detalhamentos, considerando os resultados das análises desta alternativa [1].

1.1 Objetivo

O objetivo principal desta Nota Técnica (NT) é apresentar, de forma estruturada, parâmetros elétricos unitários e ampacidades para um conjunto de configurações típicas de Linhas de Transmissão Aéreas (LTA), em Corrente Alternada (CA), a serem considerados nas escolhas iniciais dos estudos de planejamento da transmissão.

1.2 Resultados

Para o conjunto de LTA considerado neste documento, e com as metodologias, premissas e critérios adotados, são apresentados na Seção 4, para cada configuração, os parâmetros elétricos unitários e ampacidades, em função da bitola e do número de subcondutores por fase.

Também são apresentados dados de geometria, com espaçamentos, alturas e flechas. Além disso, são fornecidas estimativas iniciais para faixas de segurança necessárias para a passagem das LTA. Para algumas configurações específicas são feitos alguns alertas e sugestões de uso visando uma escolha inicial mais assertiva.

Destaca-se, novamente, que todas essas variáveis devem ser revistas na etapa de otimização e detalhamento para a recomendação final da solução de referência.

1.3 Destaques Desta Revisão

Em relação à publicação original da NT [3], os destaques desta revisão são os seguintes:

- Revisão de premissas e critérios de cálculo, tendo em vista as variabilidades ambientais do extenso território brasileiro e os projetos desenvolvidos para LTA reais;
- Remoção de algumas configurações devido ao seu pouco uso nos estudos de planejamento;
- Inclusão de configurações de Circuito Duplo (CD) para todos níveis de tensão, visando uma maior aplicabilidade desta NT;
- Inclusão de configurações nos níveis de tensão de 69 e 138 kV, também visando uma maior aplicabilidade desta NT;
- Inclusão de um cabo para-raios do tipo *Optical Ground Wire* (OPGW) em todas as configurações, conforme requisito estabelecido em [4];
- Apresentação de informações adicionais, como faixas de segurança;
- Revisão de todos parâmetros elétricos unitários, ampacidades e geometrias de acordo os itens supracitados;
- Ajustes nos códigos de identificação das configurações;
- Ajustes textuais diversos.

2 FERRAMENTA DE CÁLCULO

O projeto de uma LTA envolve uma sequência de atividades complexas onde as interdependências dos parâmetros elétricos, mecânicos e ambientais, que interferem no dimensionamento da linha em si, são estudadas de modo a se obter o desempenho operacional requisitado para o empreendimento considerando também os menores custos possíveis [5].

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) não desenvolve projetos eletromecânicos de LTA. Contudo, diversas avaliações técnicas, econômicas e socioambientais precisam ser realizadas para garantir a exequibilidade dos projetos nas fases de implantação. Nesse sentido, o programa computacional ELEKTRA [6] tem sido largamente utilizado na EPE para avaliações técnicas e econômicas de LTA, para além do cálculo de parâmetros elétricos, que em tese poderia ser realizado com outras ferramentas disponíveis. Este programa foi desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e, dentre diversas funcionalidades, seleciona uma gama de feixes de condutores econômicos que constituem uma determinada configuração da linha, tendo em vista diversos critérios e premissas de projeto. Os resultados apresentados nesta NT, para todas as configurações, foram obtidos através desse programa.

Para um conjunto de premissas e metodologias de cálculo¹, e para cada configuração analisada, o programa seleciona soluções tecnicamente viáveis observando diversos condicionantes técnicos, dentre os quais se destaca:

- Campo Elétrico (CE) na superfície dos cabos;
- Campos Elétrico e Magnético (CM) próximos do solo e ao longo da faixa de segurança;
- Rádio Interferência (RI) e Ruído Audível (RA) próximos do solo e ao longo da faixa de segurança;
- Distância mínima do condutor ao solo;
- Balanço de cabos devido à ação do vento;
- Temperatura dos cabos.

¹ O programa computacional ELEKTRA pode apresentar diferentes metodologias de cálculo para cada variável analisada. Dada a complexidade dessas metodologias, optou-se por não descrevê-las neste documento. Portanto, para maiores detalhes, sugere-se verificar a documentação própria da ferramenta.

3 CRITÉRIOS E PREMISSAS PRINCIPAIS

3.1 Introdução

O território do Brasil é muito vasto para que fosse possível estabelecer, de forma precisa, premissas e critérios únicos para todas as LTA recomendadas nos estudos de planejamento da EPE. Não obstante, tendo em vista que esta NT visa escolhas iniciais, optou-se por estabelecer premissas e critérios conservadores, de forma a mitigar riscos de violações nas etapas de otimização e detalhamento sem, no entanto, penalizar de forma excessiva as configurações avaliadas. Portanto, para a devida otimização das LTA, ainda no âmbito do planejamento, é fundamental que em cada aplicação sejam reavaliados os critérios e premissas apresentados nesta seção.

3.2 Premissas Ambientais Principais

As premissas ambientais principais adotadas nesta NT estão apresentadas na Tabela 3-1. Estes valores foram obtidos a partir das referências [7, 8] e também em função da experiência do planejamento.

Tabela 3-1 Premissas ambientais principais

Descrição	Valor
Velocidade de vento – 250 anos, 10 min, 10 m	115 km/h
Velocidade de vento – 50 anos, 30 s, 10 m	125 km/h
Rugosidade do terreno	B
Densidade Relativa do Ar - 50 % (média)	0,90 p.u.
Densidade Relativa do Ar - 90 %	0,88 p.u.
Temperatura do ar – média das máximas	36 °C
Temperatura do ar – média	24 °C
Temperatura do ar – média das mínimas	8 °C
Velocidade de vento – para cálculo de ampacidade	1 m/s
Altitude média	500 m
Radiação solar	1000 W/m ²
Resistividade elétrica do solo	1000 Ω.m

3.3 Tensão Máxima Operativa

Para as tensões nominais consideradas nesta NT foram adotadas as tensões máximas operativas a 60 Hz indicadas na Tabela 3-2, de acordo com [4].

Tabela 3-2 Limites de tensão fase-fase em regime permanente a 60 Hz

Tensão Nominal [kV]	Tensão Máxima Operativa [kV]
69	72,5
138	145
230	242
345	362
440	460
500	550
765	800

3.4 Critérios Técnicos Principais

Os critérios técnicos principais adotados nesta NT para classificar uma dada solução como tecnicamente viável estão apresentados na Tabela 3-3. Estes valores foram obtidos a partir das referências [4, 7, 9] e também em função da experiência do planejamento.

Tabela 3-3 Critérios técnicos principais

Descrição	Valor
Relação CE superficial/CE crítico visual	0,95
CE máximo a 1,5 m do nível do solo no interior da faixa de segurança	8,33 kV/m
CE máximo a 1,5 m do nível do solo no limite da faixa de segurança	4,17 kV/m
CM máximo a 1,5 m do nível do solo no interior da faixa de segurança	1000 μ T
CM máximo a 1,5 m do nível do solo no limite da faixa de segurança	200 μ T
RI máxima a 1,5 m do nível do solo no limite da faixa de segurança, a 1 MHz, com tempo bom	42 dB/ μ V/m
RA máximo a 1,5 m do nível do solo no limite da faixa de segurança, com condutor molhado	58 dBA
Temperatura máxima dos condutores para operação normal	65 °C
Temperatura máxima dos condutores para operação em emergência ²	85 °C
Distância mínima do condutor ao solo	Conforme itens 10.3.1 e 10.4 de [7] para "Locais onde circulam máquinas agrícolas"

² Embora existam referências na literatura que indiquem valores mais elevados, *e.g.* 93 °C [16], na prática sabe-se que fabricantes e projetistas têm considerado 90 °C como limite seguro para operação contínua de condutores de alumínio. Além disso, da fase de concepção de alternativas até o projeto, diversas incertezas podem surgir, como nas premissas ambientais, nas metodologias de cálculo e nos dados dos condutores. Por isso, optou-se aqui pelo limite de 85 °C, de forma conservadora. Portanto, os fatores de sobrecarga definidos em [13] não foram considerados no cálculo das ampacidades de emergência.

3.5 Cabos Condutores e Para-Raios

Neste documento só foram avaliados os Condutores de Alumínio com Alma de Aço (CAA), com formações 26/7 e 45/7. Além disso, visando reduzir a gama de soluções para as escolhas iniciais, os cabos foram limitados, por tensão nominal, conforme Tabela 3-4. Ressalta-se que só são apresentados nesta NT os resultados para aqueles cabos que atendem aos critérios definidos na Seção 3.4. Além disso, quando da otimização e detalhamento da LTA específica, eventualmente poderão ser consideradas outros cabos além destes.

Tabela 3-4 Cabos CAA considerados por tensão nominal

Tensão Nominal [kV]	Cabos CAA considerados
69 e 138 kV	LINNET a BLUEJAY
230 a 500 kV	HAWK a BLUEJAY
765 kV	HAWK a LAPWING

Quanto aos cabos para-raios, para todas as configurações foram adotados um cabo OPGW 13,3 mm e um cabo de aço galvanizado de Extra-Alta Resistência (EAR) 3/8" classe A. Esses cabos são comumente utilizados na prática, de forma predominante ao longo da extensão das LTA. Mais detalhes dos cabos adotados, condutores e para-raios, podem ser encontrados no Anexo 6.1.

Para o cálculo das flechas dos condutores foi adotado uma tração de 20 % da carga de ruptura dos cabos na condição EDS (*Every Day Stress*) [7, 10]. Já para os cabos para-raios, uma vez que o programa permite a entrada de apenas uma tração fixa por configuração – que envolve um conjunto de cabos condutores -, foi definido previamente um valor de tração, inferior a 14 %, de tal forma que a flecha resultasse entre 70 e 90 % da flecha dos condutores da gama de soluções avaliada.

Adicionalmente, para os cálculos de ampacidade, foram adotados coeficientes de emissividade e absorção iguais a 0,5, conforme recomendação de [11, 12, 13]. Por fim, para fins de cálculo do CE crítico visual, o coeficiente de superfície adotado foi de 0,82, uma vez que este valor historicamente tem sido usado em projetos de LTA no Brasil [14].

3.6 Estruturas Típicas

Em geral, o cálculo dos parâmetros elétricos unitários de uma LTA está associado à estrutura típica, que é aquela que possui o maior percentual de aplicação na série de estruturas da linha. Essa lógica também foi adotada neste documento.

Além disso, visando a recomendação pelo planejamento de soluções exequíveis, as geometrias adotadas se baseiam em silhuetas de estruturas efetivamente projetadas e/ou implantadas no Sistema

Interligado Nacional (SIN)³. Evidentemente que, em função de condicionantes técnicos e ambientais específicos, pequenos ajustes nos espaçamentos podem vir a ser necessários nas fases de otimização ou projeto - caso se queira reproduzir a solução indicativa do planejamento.

Em geral, buscou-se estruturas típicas de LTA dentre aquelas existentes na base de dados do programa ELEKTRA. Essas estruturas têm sido utilizadas como referência nos estudos de planejamento e estão ilustradas em cada configuração apresentada na Seção 4 desta NT.

Cumpram ressaltar também que todos os resultados apresentados nesta NT se baseiam em estruturas típicas de aço treliçadas não englobando, portanto, aquelas soluções aéreas compactas em poste, por vezes adotadas em regiões densamente povoadas e/ou com restrições de uso do solo. Nestas situações o cálculo dos parâmetros deverá ser realizado de forma específica para cada aplicação.

Por fim, adotou-se os valores de vão médio conforme Tabela 3-5, e uma relação vão de peso/vão de vento igual a 0,7, para fins de cálculo faixa de segurança por balanço de condutores. Esses valores são tipicamente observados em projetos de LTA com as características adotadas nesta NT. Novamente, são valores iniciais que podem ser ajudados caso a caso.

Tabela 3-5 Vãos médios por tensão nominal

Tensão Nominal [kV]	Vão Médio [m]
69 e 138 kV	350
230 kV	450
345 a 765 kV	500

³ Isto não se aplica para as configurações 765CDV1 e 765CST2. No caso de estudos que envolvam esse tipo de configuração, avaliações específicas deverão ser realizadas visando a validação dos parâmetros.

4 PARÂMETROS INICIAIS PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO AÉREAS

4.1 Introdução

Conforme exposto anteriormente, é recomendado que o planejamento da expansão da transmissão disponha de um conjunto de soluções de LTA, a ser observado nas escolhas iniciais das alternativas de expansão, bem como conheça seus condicionantes básicos, parâmetros elétricos e capacidades de transmissão, de modo que seja selecionada uma solução preliminar que respeite critérios de projeto vigentes e também atenda ao desempenho sistêmico esperado no horizonte dos estudos.

Nas subseções seguintes, para os critérios e premissas definidos na Seção 3, são apresentados, por nível de tensão em CA (69, 138, 230, 345, 440, 500⁴ e 765 kV):

- O conjunto de configurações típicas utilizadas, com respectivos cabos condutores viáveis, feixes, geometria de fases e cabos para-raios, e silhueta de estrutura;
- As coordenadas geométricas dos cabos e flechas, por configuração, em função da formação dos condutores;
- Os correspondentes parâmetros elétricos unitários de sequência⁵, por unidade de comprimento, calculados para a temperatura de 50 °C;
- As capacidades térmicas de transmissão (ampacidades) por configuração, em função do cabo condutor e do número de subcondutores por fase⁶.
- Faixas de valores de *Surge Impedance Loading* (SIL) por configuração, em função do feixe e da formação dos condutores;
- Estimativas iniciais de faixa de segurança, por formação dos condutores, sem considerar os estais⁷;
- Alertas e sugestões de aplicação das configurações, quando aplicável.

Nota-se que para cada configuração é utilizado um código de identificação específico, com quatro campos concatenados: (i) tensão nominal, de 069 a 765; (ii) tipo, Circuito Simples (CS) ou Circuito

⁴ Para as LTA de 525 kV pode-se utilizar os mesmos resultados das configurações de 500 kV, a princípio.

⁵ Devido aos cabos para-raios distintos, a rigor, nas configurações de circuito duplo os parâmetros de sequência podem apresentar ligeiras diferenças entre os circuitos. Contudo, por simplicidade, nesta NT os resultados apresentados equivalem à média dos parâmetros de cada circuito.

⁶ Ressalta-se que as ampacidades de emergência foram limitadas a 5000 A, limite atual da tecnologia de disjuntores de Extra Alta Tensão. Além disso, optou-se por limitar as ampacidades de regime normal em 4000 A. Caso os estudos de sistema identifiquem necessidade de alterar esses valores, eventualmente isso poderá ser explorado nas fases de otimização e detalhamento.

⁷ Notar que, a depender da configuração escolhida, a faixa ocupada pelo uso eventual de estais já pode estar englobada na estimativa apresentada.

Duplo (CD); (iii) geometria de fases, Horizontal (H), Vertical (V) ou Triangular (T); e (iv) número da variante. Por exemplo, para a configuração 230CST3 lê-se, configuração de 230 kV, em circuito simples, geometria triangular, variante 3. Como algumas configurações foram removidas em relação à publicação original [3], ou tiveram código ajustado, a numeração poderá não estar de forma sequencial.

4.2 Configurações de 69 kV

4.2.1 069CDV1

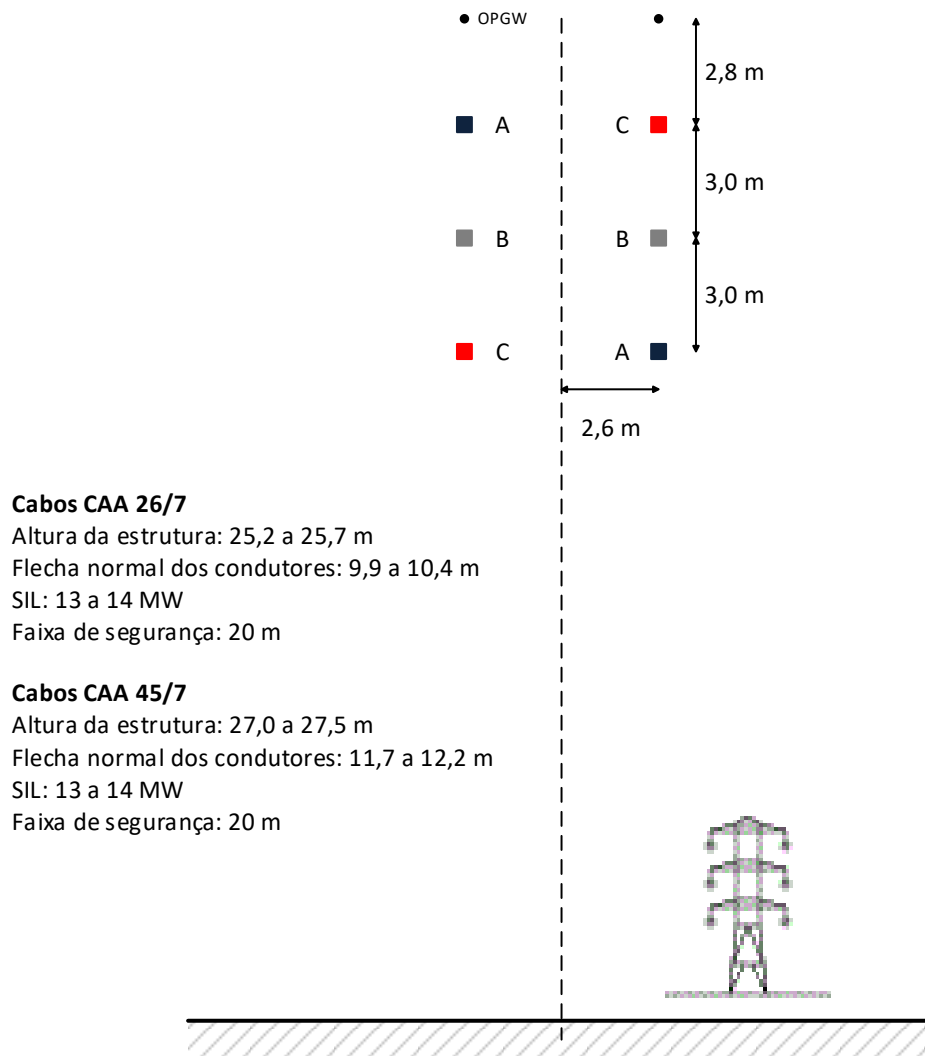
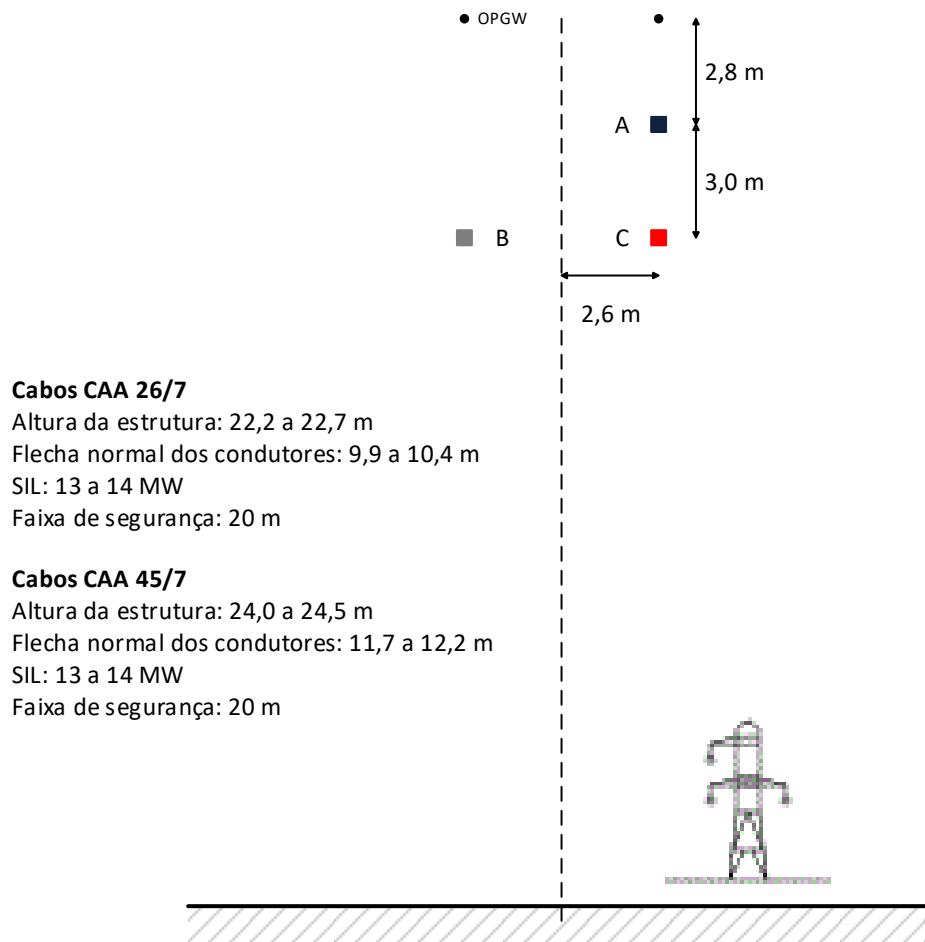


Figura 4-1 Configuração 069CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Tabela 4-1 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 069CDV1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω/km]	x1 [Ω/km]	b1 [μS/km]	r0 [Ω/km]	x0 [Ω/km]	b0 [μS/km]	rm0 [Ω/km]	xm0 [Ω/km]	bm0 [μS/km]
1 x Linnet	336	435	580	0,1916	0,4695	3,5436	0,5441	1,5248	2,2094	0,3523	0,9474	-0,6495
1 x Ibis	397	485	645	0,1623	0,4633	3,5942	0,5140	1,5201	2,2276	0,3515	0,9489	-0,6632
1 x Hawk	477	540	720	0,1355	0,4564	3,6514	0,4870	1,5136	2,2507	0,3513	0,9493	-0,6767
1 x Dove	556	595	795	0,1161	0,4502	3,7011	0,4667	1,5089	2,2682	0,3504	0,9508	-0,6902
1 x Squab	605	625	840	0,1071	0,4471	3,7269	0,4558	1,5091	2,2728	0,3486	0,9540	-0,7006
1 x Grosbeak	636	640	865	0,1018	0,4453	3,7441	0,4515	1,5056	2,2831	0,3496	0,9523	-0,7020
1 x Gannet	666	660	890	0,0972	0,4434	3,7607	0,4474	1,5029	2,2911	0,3500	0,9516	-0,7047
1 x Starling	716	690	930	0,0907	0,4409	3,7848	0,4405	1,5010	2,2996	0,3496	0,9522	-0,7111
1 x Drake	795	735	995	0,0818	0,4372	3,8213	0,4315	1,4975	2,3140	0,3495	0,9524	-0,7196
1 x Tern	795	730	985	0,0820	0,4416	3,7855	0,4222	1,5188	2,2689	0,3402	0,9691	-0,7365
1 x Ruddy	900	785	1065	0,0727	0,4373	3,8293	0,4137	1,5129	2,2887	0,3410	0,9676	-0,7444
1 x Rail	954	810	1100	0,0687	0,4348	3,8488	0,4075	1,5143	2,2899	0,3388	0,9715	-0,7544
1 x Ortolan	1033	850	1155	0,0637	0,4316	3,8766	0,4017	1,5126	2,2984	0,3381	0,9729	-0,7628
1 x Bluejay	1113	890	1210	0,0593	0,4291	3,9037	0,3973	1,5102	2,3086	0,3380	0,9730	-0,7693

4.2.2 069CST1



Cabos CAA 26/7

Altura da estrutura: 22,2 a 22,7 m
 Flecha normal dos condutores: 9,9 a 10,4 m
 SIL: 13 a 14 MW
 Faixa de segurança: 20 m

Cabos CAA 45/7

Altura da estrutura: 24,0 a 24,5 m
 Flecha normal dos condutores: 11,7 a 12,2 m
 SIL: 13 a 14 MW
 Faixa de segurança: 20 m

Figura 4-2 Configuração 069CST1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Tabela 4-2 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 069CST1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
1 x Linnet	336	435	580	0,1914	0,4838	3,4276	0,5498	1,4933	2,1685
1 x Ibis	397	485	645	0,1621	0,4776	3,4747	0,5197	1,4884	2,1819
1 x Hawk	477	540	720	0,1353	0,4707	3,5281	0,4927	1,4818	2,2015
1 x Dove	556	595	795	0,1159	0,4645	3,5743	0,4725	1,4770	2,2141
1 x Squab	605	625	840	0,1069	0,4614	3,5982	0,4616	1,4768	2,2123
1 x Grosbeak	636	640	865	0,1016	0,4596	3,6143	0,4573	1,4735	2,2244
1 x Gannet	666	660	890	0,0971	0,4577	3,6297	0,4531	1,4709	2,2326
1 x Starling	716	690	930	0,0905	0,4552	3,6521	0,4462	1,4690	2,2388
1 x Drake	795	735	995	0,0816	0,4514	3,6860	0,4372	1,4654	2,2509
1 x Tern	795	730	985	0,0818	0,4558	3,6522	0,4278	1,4852	2,1796
1 x Ruddy	900	785	1065	0,0725	0,4514	3,6929	0,4193	1,4795	2,1990
1 x Rail	954	810	1100	0,0685	0,4489	3,7109	0,4131	1,4806	2,1926
1 x Ortolan	1033	850	1155	0,0635	0,4458	3,7367	0,4073	1,4788	2,1970
1 x Bluejay	1113	890	1210	0,0592	0,4433	3,7618	0,4029	1,4764	2,2049

4.3 Configurações de 138 kV

4.3.1 138CDV1

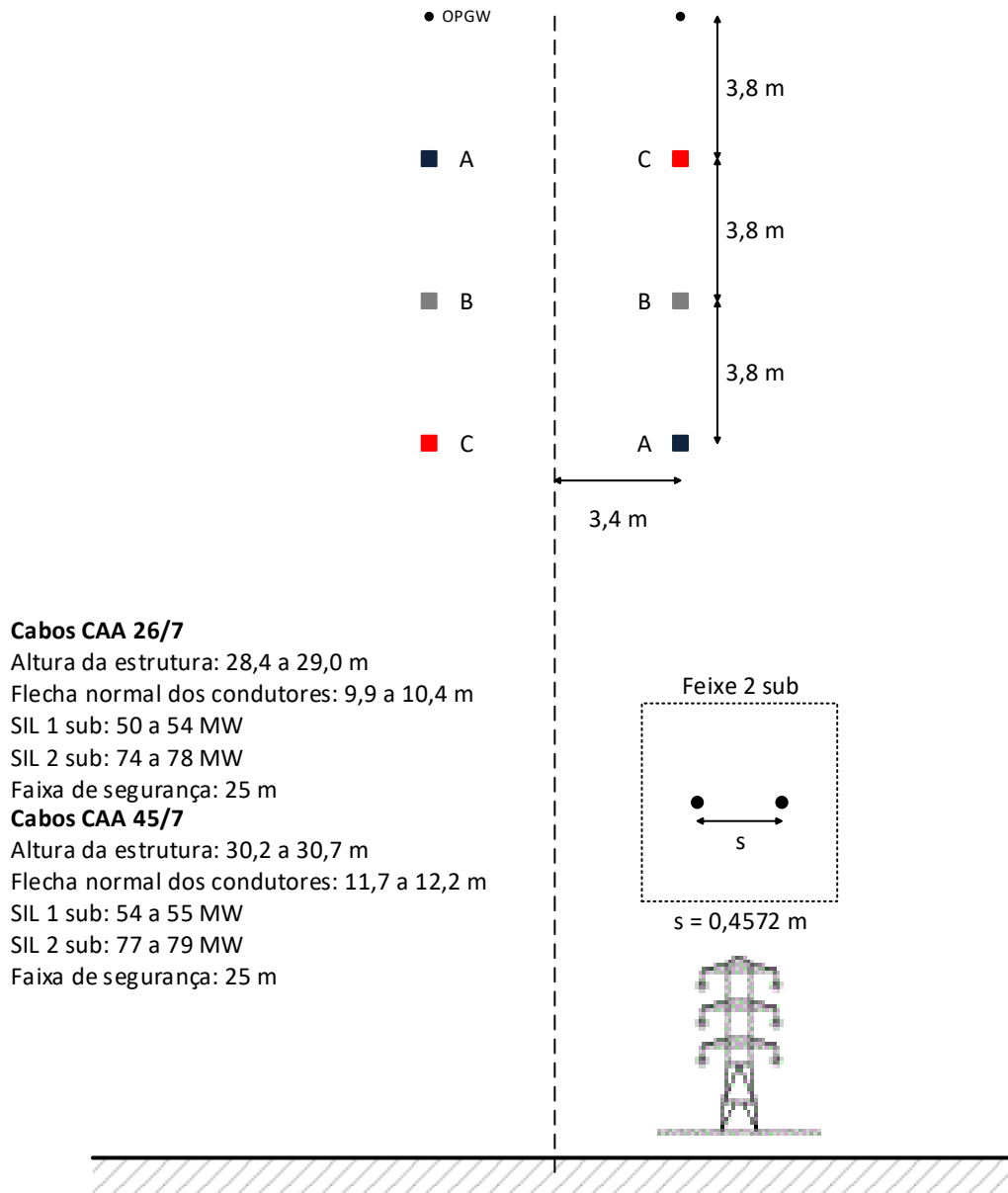


Figura 4-3 Configuração 138CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Tabela 4-3 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 138CDV1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω/km]	x1 [Ω/km]	b1 [μS/km]	r0 [Ω/km]	x0 [Ω/km]	b0 [μS/km]	rm0 [Ω/km]	xm0 [Ω/km]	bm0 [μS/km]
1 x Linnet	336	435	580	0,1915	0,4874	3,4078	0,5269	1,5233	2,1666	0,3351	0,9225	-0,5843
1 x Ibis	397	485	645	0,1623	0,4811	3,4546	0,4971	1,5181	2,1847	0,3345	0,9236	-0,5960
1 x Hawk	477	540	720	0,1355	0,4742	3,5075	0,4701	1,5115	2,2069	0,3343	0,9239	-0,6077
1 x Dove	556	595	795	0,1161	0,4680	3,5535	0,4501	1,5065	2,2241	0,3337	0,9250	-0,6193
1 x Squab	605	625	840	0,1070	0,4650	3,5775	0,4396	1,5058	2,2295	0,3324	0,9274	-0,6281
1 x Grosbeak	636	640	865	0,1018	0,4632	3,5932	0,4351	1,5028	2,2385	0,3331	0,9262	-0,6297
1 x Gannet	666	660	890	0,0972	0,4612	3,6083	0,4308	1,5003	2,2459	0,3334	0,9256	-0,6321
1 x Starling	716	690	930	0,0907	0,4587	3,6307	0,4240	1,4982	2,2543	0,3331	0,9261	-0,6376
1 x Drake	795	735	995	0,0818	0,4550	3,6641	0,4151	1,4946	2,2678	0,3331	0,9262	-0,6451
1 x Tern	795	730	985	0,0820	0,4594	3,6323	0,4081	1,5118	2,2298	0,3260	0,9389	-0,6580
1 x Ruddy	900	785	1065	0,0727	0,4551	3,6725	0,3994	1,5063	2,2481	0,3267	0,9377	-0,6653
1 x Rail	954	810	1100	0,0687	0,4526	3,6906	0,3938	1,5068	2,2504	0,3250	0,9407	-0,6734
1 x Ortolan	1033	850	1155	0,0637	0,4495	3,7162	0,3881	1,5047	2,2589	0,3244	0,9417	-0,6806
1 x Bluejay	1113	890	1210	0,0593	0,4469	3,7410	0,3837	1,5023	2,2686	0,3244	0,9419	-0,6863
2 x Linnet	336	865	1150	0,0960	0,3321	5,0108	0,4314	1,3673	2,7858	0,3351	0,9227	-0,9233
2 x Ibis	397	960	1280	0,0814	0,3290	5,0610	0,4162	1,3653	2,7999	0,3345	0,9238	-0,9356
2 x Hawk	477	1070	1430	0,0680	0,3256	5,1178	0,4026	1,3621	2,8184	0,3343	0,9241	-0,9474
2 x Dove	556	1175	1580	0,0583	0,3225	5,1663	0,3923	1,3602	2,8315	0,3337	0,9252	-0,9594
2 x Squab	605	1235	1660	0,0537	0,3210	5,1909	0,3864	1,3610	2,8335	0,3324	0,9276	-0,9686
2 x Grosbeak	636	1275	1715	0,0511	0,3201	5,2080	0,3844	1,3589	2,8423	0,3330	0,9263	-0,9698
2 x Gannet	666	1310	1765	0,0488	0,3191	5,2242	0,3825	1,3574	2,8492	0,3333	0,9258	-0,9720
2 x Starling	716	1370	1845	0,0456	0,3178	5,2475	0,3789	1,3566	2,8557	0,3331	0,9263	-0,9775
2 x Drake	795	1460	1970	0,0411	0,3160	5,2826	0,3744	1,3548	2,8669	0,3330	0,9264	-0,9847
2 x Tern	795	1445	1950	0,0412	0,3182	5,2443	0,3673	1,3698	2,8197	0,3260	0,9390	-1,0025
2 x Ruddy	900	1555	2105	0,0365	0,3161	5,2867	0,3633	1,3665	2,8361	0,3266	0,9379	-1,0090
2 x Rail	954	1610	2185	0,0345	0,3148	5,3046	0,3596	1,3682	2,8346	0,3250	0,9409	-1,0181
2 x Ortolan	1033	1690	2295	0,0320	0,3133	5,3308	0,3565	1,3677	2,8406	0,3244	0,9419	-1,0253
2 x Bluejay	1113	1765	2400	0,0298	0,3120	5,3565	0,3543	1,3666	2,8485	0,3243	0,9420	-1,0307

4.3.2 138CST1

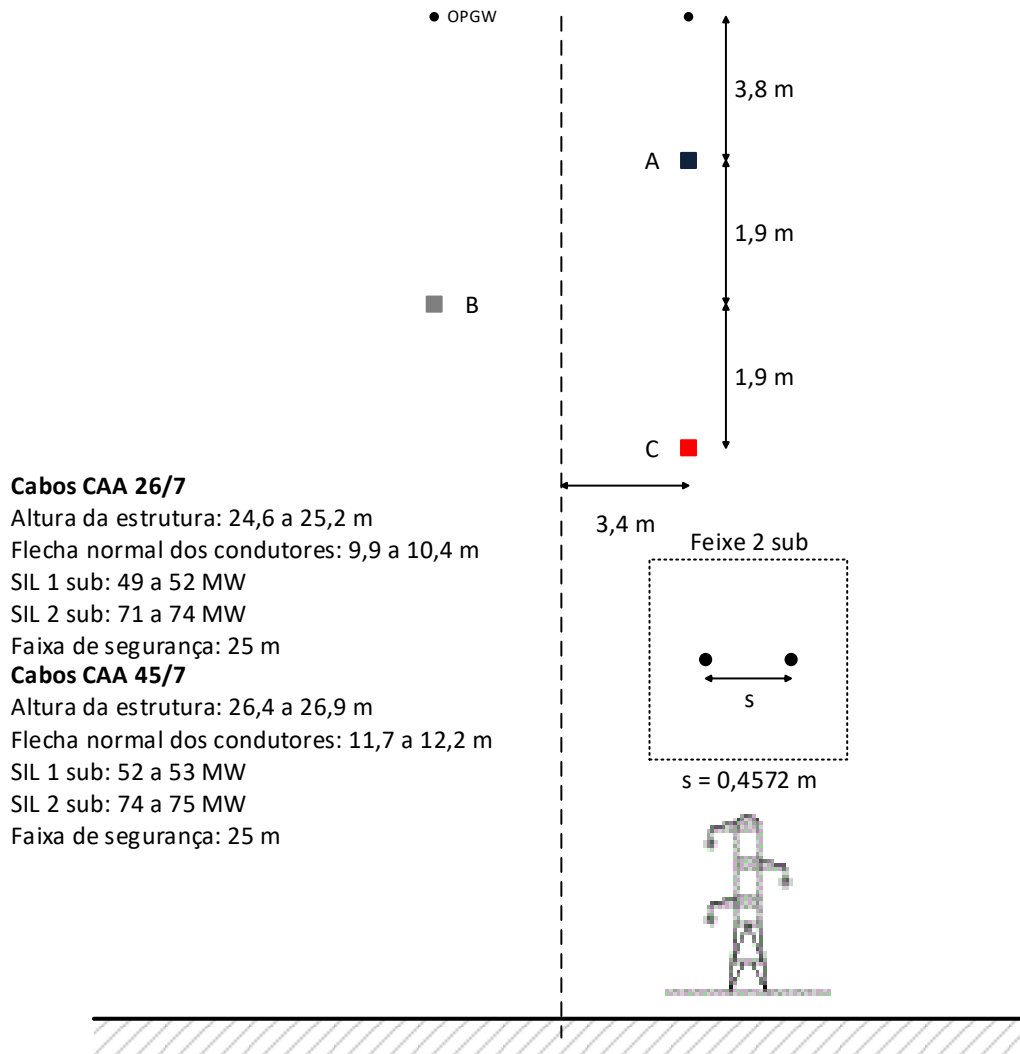


Figura 4-4 Configuração 138CST1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Tabela 4-4 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 138CST1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
1 x Linnet	336	435	580	0,1914	0,5014	3,3018	0,5379	1,4813	2,1619
1 x Ibis	397	485	645	0,1622	0,4952	3,3456	0,5080	1,4761	2,1766
1 x Hawk	477	540	720	0,1354	0,4883	3,3951	0,4809	1,4695	2,1967
1 x Dove	556	595	795	0,1160	0,4821	3,4379	0,4609	1,4645	2,2103
1 x Squab	605	625	840	0,1069	0,4790	3,4601	0,4503	1,4638	2,2107
1 x Grosbeak	636	640	865	0,1017	0,4772	3,4748	0,4459	1,4608	2,2212
1 x Gannet	666	660	890	0,0971	0,4753	3,4891	0,4416	1,4583	2,2290
1 x Starling	716	690	930	0,0906	0,4727	3,5098	0,4348	1,4562	2,2359
1 x Drake	795	735	995	0,0817	0,4690	3,5410	0,4258	1,4526	2,2478
1 x Tern	795	730	985	0,0819	0,4734	3,5103	0,4181	1,4699	2,1877
1 x Ruddy	900	785	1065	0,0726	0,4691	3,5478	0,4095	1,4644	2,2059
1 x Rail	954	810	1100	0,0686	0,4665	3,5645	0,4037	1,4650	2,2024
1 x Ortolan	1033	850	1155	0,0635	0,4634	3,5883	0,3980	1,4629	2,2078
1 x Bluejay	1113	890	1210	0,0592	0,4609	3,6114	0,3936	1,4605	2,2160
2 x Linnet	336	865	1150	0,0959	0,3460	4,7827	0,4423	1,3257	2,7125
2 x Ibis	397	960	1280	0,0813	0,3429	4,8280	0,4270	1,3237	2,7208
2 x Hawk	477	1070	1430	0,0679	0,3394	4,8794	0,4134	1,3206	2,7358
2 x Dove	556	1175	1580	0,0582	0,3363	4,9230	0,4030	1,3186	2,7428
2 x Squab	605	1235	1660	0,0536	0,3348	4,9447	0,3970	1,3195	2,7370
2 x Grosbeak	636	1275	1715	0,0510	0,3339	4,9604	0,3952	1,3173	2,7482
2 x Gannet	666	1310	1765	0,0487	0,3329	4,9752	0,3932	1,3158	2,7557
2 x Starling	716	1370	1845	0,0455	0,3317	4,9962	0,3897	1,3150	2,7596
2 x Drake	795	1460	1970	0,0410	0,3298	5,0278	0,3851	1,3132	2,7686
2 x Tern	795	1445	1950	0,0411	0,3320	4,9906	0,3773	1,3284	2,6851
2 x Ruddy	900	1555	2105	0,0364	0,3299	5,0290	0,3734	1,3251	2,7020
2 x Rail	954	1610	2185	0,0344	0,3286	5,0446	0,3695	1,3269	2,6909
2 x Ortolan	1033	1690	2295	0,0319	0,3270	5,0681	0,3663	1,3264	2,6921
2 x Bluejay	1113	1765	2400	0,0297	0,3258	5,0912	0,3641	1,3253	2,6980

4.4 Configurações de 230 kV

4.4.1 230CDV1

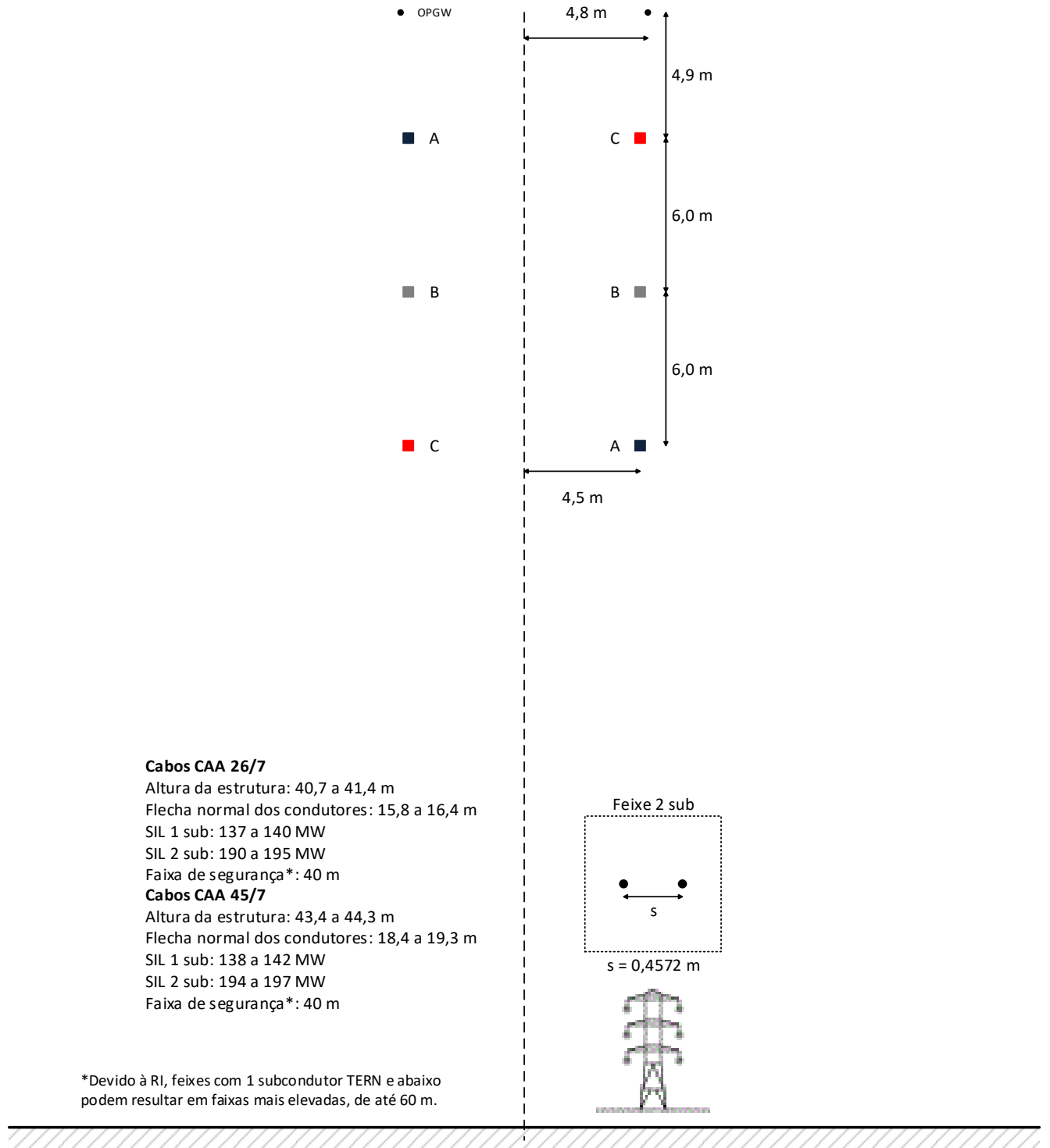


Figura 4-5 Configuração 230CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Tabela 4-5 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 230CDV1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω/km]	x1 [Ω/km]	b1 [μS/km]	r0 [Ω/km]	x0 [Ω/km]	b0 [μS/km]	rm0 [Ω/km]	xm0 [Ω/km]	bm0 [μS/km]
1 x Squab	605	625	840	0,1072	0,4993	3,3280	0,4180	1,4799	2,2139	0,3108	0,8969	-0,6173
1 x Grosbeak	636	640	865	0,1019	0,4975	3,3418	0,4135	1,4767	2,2232	0,3116	0,8955	-0,6185
1 x Gannet	666	660	890	0,0973	0,4955	3,3550	0,4093	1,4741	2,2307	0,3119	0,8948	-0,6207
1 x Starling	716	690	930	0,0908	0,4930	3,3742	0,4025	1,4722	2,2388	0,3116	0,8954	-0,6262
1 x Drake	795	735	995	0,0819	0,4893	3,4031	0,3935	1,4686	2,2521	0,3116	0,8955	-0,6335
1 x Tern	795	730	985	0,0821	0,4938	3,3736	0,3858	1,4872	2,2107	0,3038	0,9096	-0,6494
1 x Ruddy	900	785	1065	0,0728	0,4894	3,4084	0,3772	1,4816	2,2291	0,3045	0,9083	-0,6561
1 x Rail	954	810	1100	0,0688	0,4869	3,4235	0,3713	1,4824	2,2303	0,3026	0,9117	-0,6650
1 x Ortolan	1033	850	1155	0,0637	0,4838	3,4454	0,3656	1,4805	2,2383	0,3020	0,9128	-0,6723
1 x Bluejay	1113	890	1210	0,0594	0,4813	3,4667	0,3612	1,4781	2,2477	0,3019	0,9130	-0,6779
2 x Hawk	477	1070	1430	0,0681	0,3597	4,6236	0,3812	1,3361	2,7915	0,3130	0,8929	-0,9249
2 x Dove	556	1175	1580	0,0584	0,3566	4,6626	0,3708	1,3343	2,8036	0,3123	0,8942	-0,9368
2 x Squab	605	1235	1660	0,0539	0,3551	4,6816	0,3647	1,3355	2,8041	0,3108	0,8970	-0,9467
2 x Grosbeak	636	1275	1715	0,0512	0,3542	4,6960	0,3629	1,3332	2,8135	0,3115	0,8955	-0,9474
2 x Gannet	666	1310	1765	0,0490	0,3533	4,7094	0,3610	1,3315	2,8205	0,3119	0,8949	-0,9493
2 x Starling	716	1370	1845	0,0457	0,3520	4,7281	0,3574	1,3308	2,8265	0,3116	0,8954	-0,9548
2 x Drake	795	1460	1970	0,0412	0,3501	4,7564	0,3529	1,3291	2,8375	0,3115	0,8956	-0,9617
2 x Tern	795	1445	1950	0,0413	0,3524	4,7216	0,3450	1,3455	2,7857	0,3038	0,9097	-0,9833
2 x Ruddy	900	1555	2105	0,0366	0,3503	4,7562	0,3410	1,3421	2,8022	0,3045	0,9084	-0,9891
2 x Rail	954	1610	2185	0,0346	0,3490	4,7699	0,3372	1,3442	2,7993	0,3026	0,9117	-0,9992
2 x Ortolan	1033	1690	2295	0,0321	0,3475	4,7908	0,3340	1,3438	2,8046	0,3020	0,9129	-1,0066
2 x Bluejay	1113	1765	2400	0,0299	0,3462	4,8114	0,3317	1,3427	2,8122	0,3019	0,9130	-1,0119

4.4.2 230CSH1

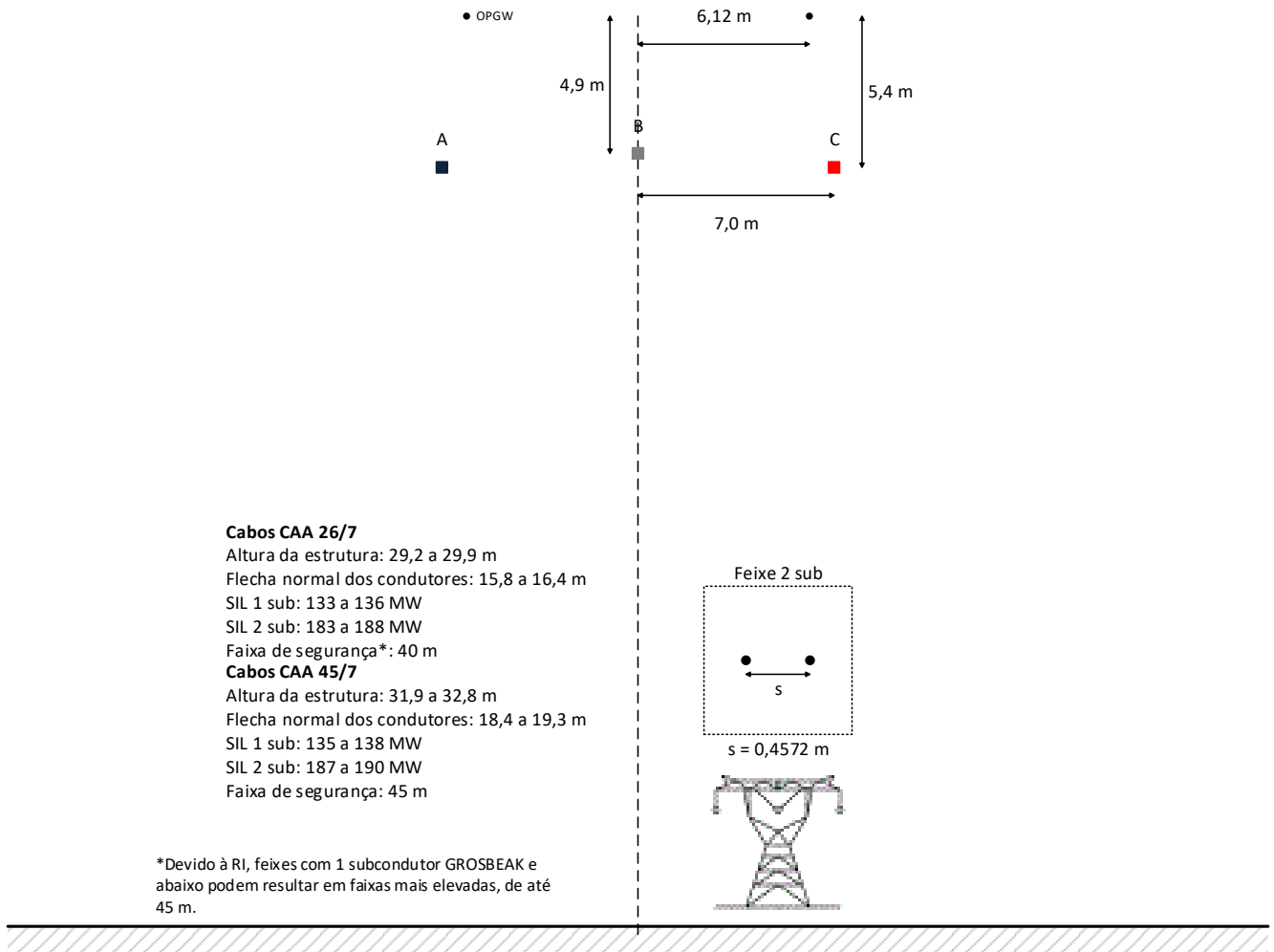


Figura 4-6 Configuração 230CSH1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Esta configuração é comumente encontrada em LTA mais antigas. Desse modo, sugere-se o seu uso em novos circuitos paralelos às instalações existentes com essas características, ou seccionamentos das mesmas via estruturas de circuito simples.

Tabela 4-6 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 230CSH1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
1 x Squab	605	625	840	0,1073	0,5112	3,2464	0,4417	1,4170	2,2998
1 x Grosbeak	636	640	865	0,1020	0,5094	3,2599	0,4375	1,4135	2,3123
1 x Gannet	666	660	890	0,0975	0,5074	3,2726	0,4333	1,4108	2,3213
1 x Starling	716	690	930	0,0909	0,5049	3,2907	0,4264	1,4089	2,3283
1 x Drake	795	735	995	0,0820	0,5012	3,3180	0,4175	1,4053	2,3411
1 x Tern	795	730	985	0,0821	0,5057	3,2872	0,4077	1,4271	2,2656
1 x Ruddy	900	785	1065	0,0728	0,5014	3,3203	0,3993	1,4212	2,2862
1 x Rail	954	810	1100	0,0687	0,4989	3,3342	0,3930	1,4229	2,2795
1 x Ortolan	1033	850	1155	0,0637	0,4958	3,3547	0,3871	1,4212	2,2843
1 x Bluejay	1113	890	1210	0,0594	0,4932	3,3749	0,3827	1,4188	2,2929
2 x Hawk	477	1070	1430	0,0683	0,3714	4,4678	0,4055	1,2726	2,8772
2 x Dove	556	1175	1580	0,0585	0,3683	4,5035	0,3949	1,2710	2,8835
2 x Squab	605	1235	1660	0,0540	0,3668	4,5201	0,3884	1,2729	2,8736
2 x Grosbeak	636	1275	1715	0,0514	0,3659	4,5340	0,3868	1,2702	2,8878
2 x Gannet	666	1310	1765	0,0491	0,3649	4,5467	0,3850	1,2685	2,8969
2 x Starling	716	1370	1845	0,0458	0,3637	4,5639	0,3813	1,2679	2,9006
2 x Drake	795	1460	1970	0,0414	0,3618	4,5902	0,3768	1,2662	2,9104
2 x Tern	795	1445	1950	0,0413	0,3642	4,5525	0,3669	1,2858	2,8023
2 x Ruddy	900	1555	2105	0,0366	0,3620	4,5850	0,3632	1,2821	2,8227
2 x Rail	954	1610	2185	0,0346	0,3608	4,5966	0,3588	1,2850	2,8061
2 x Ortolan	1033	1690	2295	0,0321	0,3592	4,6157	0,3555	1,2849	2,8059
2 x Bluejay	1113	1765	2400	0,0299	0,3580	4,6348	0,3532	1,2838	2,8121

4.4.3 230CST1

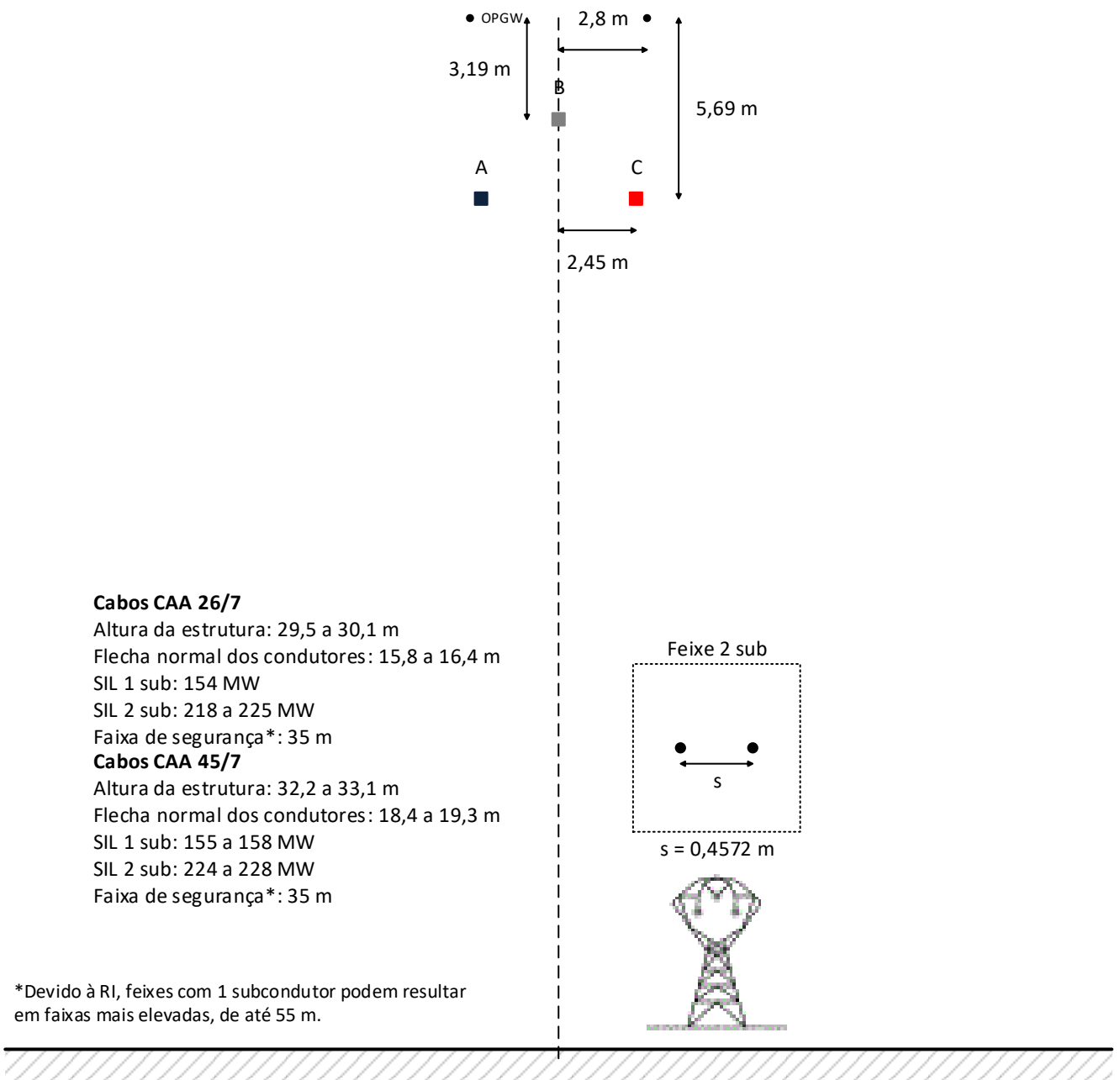


Figura 4-7 Configuração 230CST1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Esta configuração possui SIL elevado. Portanto, sugere-se o seu uso nas situações onde essa característica for importante para o sistema. Para soluções com 1 (um) subcondutor por fase o efeito corona pode ser pronunciado, a depender da Densidade Relativa do Ar (DRA), o que pode resultar em maiores faixas de segurança por RI. Além disso, devido à capacitância mais elevada, deve-se atentar para as questões associadas à compensação reativa em derivação (*e.g.* religamento monopolar).

Tabela 4-7 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 230CST1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
1 x Drake	795	735	995	0,0815	0,4402	3,7504	0,4367	1,4838	2,0713
1 x Ruddy	900	785	1065	0,0725	0,4402	3,7601	0,4135	1,5089	2,0030
1 x Rail	954	810	1100	0,0685	0,4377	3,7793	0,4059	1,5127	1,9922
1 x Ortolan	1033	850	1155	0,0634	0,4346	3,8061	0,3997	1,5118	1,9939
1 x Bluejay	1113	890	1210	0,0591	0,4321	3,8320	0,3952	1,5095	2,0026
2 x Hawk	477	1070	1430	0,0678	0,3104	5,2803	0,4259	1,3489	2,4893
2 x Dove	556	1175	1580	0,0581	0,3073	5,3316	0,4148	1,3484	2,4897
2 x Squab	605	1235	1660	0,0535	0,3057	5,3577	0,4071	1,3523	2,4733
2 x Grosbeak	636	1275	1715	0,0509	0,3049	5,3757	0,4061	1,3486	2,4885
2 x Gannet	666	1310	1765	0,0486	0,3039	5,3928	0,4045	1,3463	2,4974
2 x Starling	716	1370	1845	0,0454	0,3026	5,4175	0,4007	1,3461	2,4983
2 x Drake	795	1460	1970	0,0409	0,3008	5,4545	0,3961	1,3445	2,5052
2 x Tern	795	1445	1950	0,0410	0,3030	5,4156	0,3806	1,3742	2,3859
2 x Ruddy	900	1555	2105	0,0363	0,3008	5,4603	0,3773	1,3696	2,4039
2 x Rail	954	1610	2185	0,0343	0,2996	5,4796	0,3718	1,3747	2,3838
2 x Ortolan	1033	1690	2295	0,0318	0,2980	5,5075	0,3680	1,3753	2,3810
2 x Bluejay	1113	1765	2400	0,0296	0,2967	5,5347	0,3657	1,3743	2,3852

4.4.4 230CST3

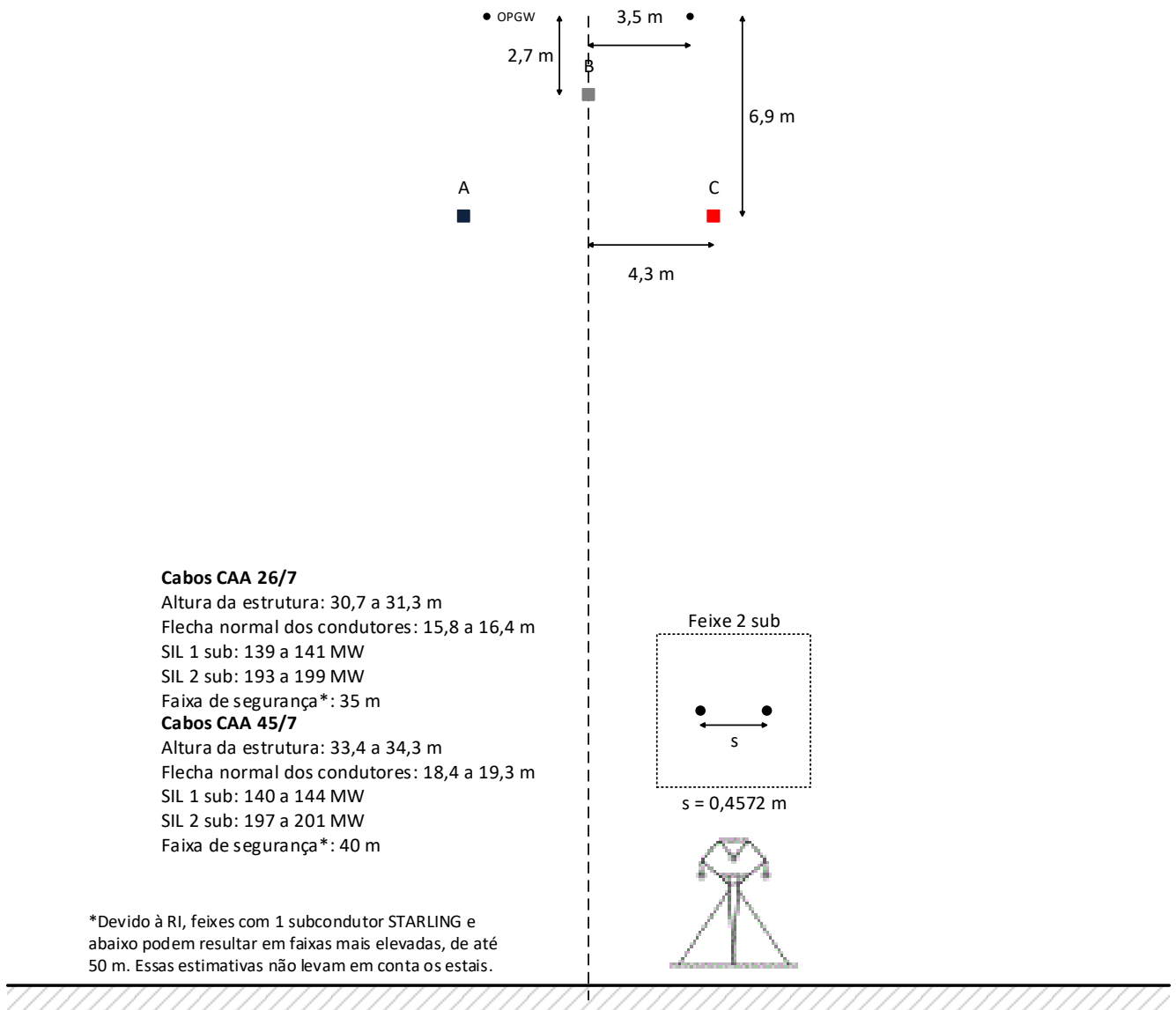


Figura 4-8 Configuração 230CST3, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Tabela 4-8 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 230CST3

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
1 x Grosbeak	636	640	865	0,1018	0,4894	3,3753	0,4473	1,4291	2,2222
1 x Gannet	666	660	890	0,0972	0,4874	3,3888	0,4432	1,4262	2,2313
1 x Starling	716	690	930	0,0907	0,4849	3,4083	0,4362	1,4245	2,2370
1 x Drake	795	735	995	0,0818	0,4812	3,4376	0,4272	1,4210	2,2487
1 x Tern	795	730	985	0,0819	0,4856	3,4069	0,4147	1,4480	2,1626
1 x Ruddy	900	785	1065	0,0726	0,4813	3,4423	0,4065	1,4416	2,1828
1 x Rail	954	810	1100	0,0686	0,4788	3,4575	0,3995	1,4444	2,1730
1 x Ortolan	1033	850	1155	0,0636	0,4757	3,4796	0,3934	1,4432	2,1760
1 x Bluejay	1113	890	1210	0,0593	0,4732	3,5013	0,3890	1,4409	2,1837
2 x Hawk	477	1070	1430	0,0680	0,3515	4,6802	0,4158	1,2872	2,7430
2 x Dove	556	1175	1580	0,0583	0,3484	4,7198	0,4049	1,2861	2,7463
2 x Squab	605	1235	1660	0,0538	0,3469	4,7390	0,3979	1,2889	2,7321
2 x Grosbeak	636	1275	1715	0,0511	0,3460	4,7537	0,3966	1,2858	2,7476
2 x Gannet	666	1310	1765	0,0489	0,3450	4,7674	0,3949	1,2838	2,7571
2 x Starling	716	1370	1845	0,0456	0,3438	4,7864	0,3911	1,2834	2,7593
2 x Drake	795	1460	1970	0,0411	0,3419	4,8152	0,3866	1,2817	2,7679
2 x Tern	795	1445	1950	0,0411	0,3442	4,7776	0,3739	1,3066	2,6456
2 x Ruddy	900	1555	2105	0,0365	0,3420	4,8130	0,3704	1,3023	2,6659
2 x Rail	954	1610	2185	0,0345	0,3408	4,8263	0,3653	1,3065	2,6456
2 x Ortolan	1033	1690	2295	0,0320	0,3392	4,8473	0,3618	1,3068	2,6436
2 x Bluejay	1113	1765	2400	0,0298	0,3380	4,8683	0,3595	1,3057	2,6489

4.4.5 230CST4

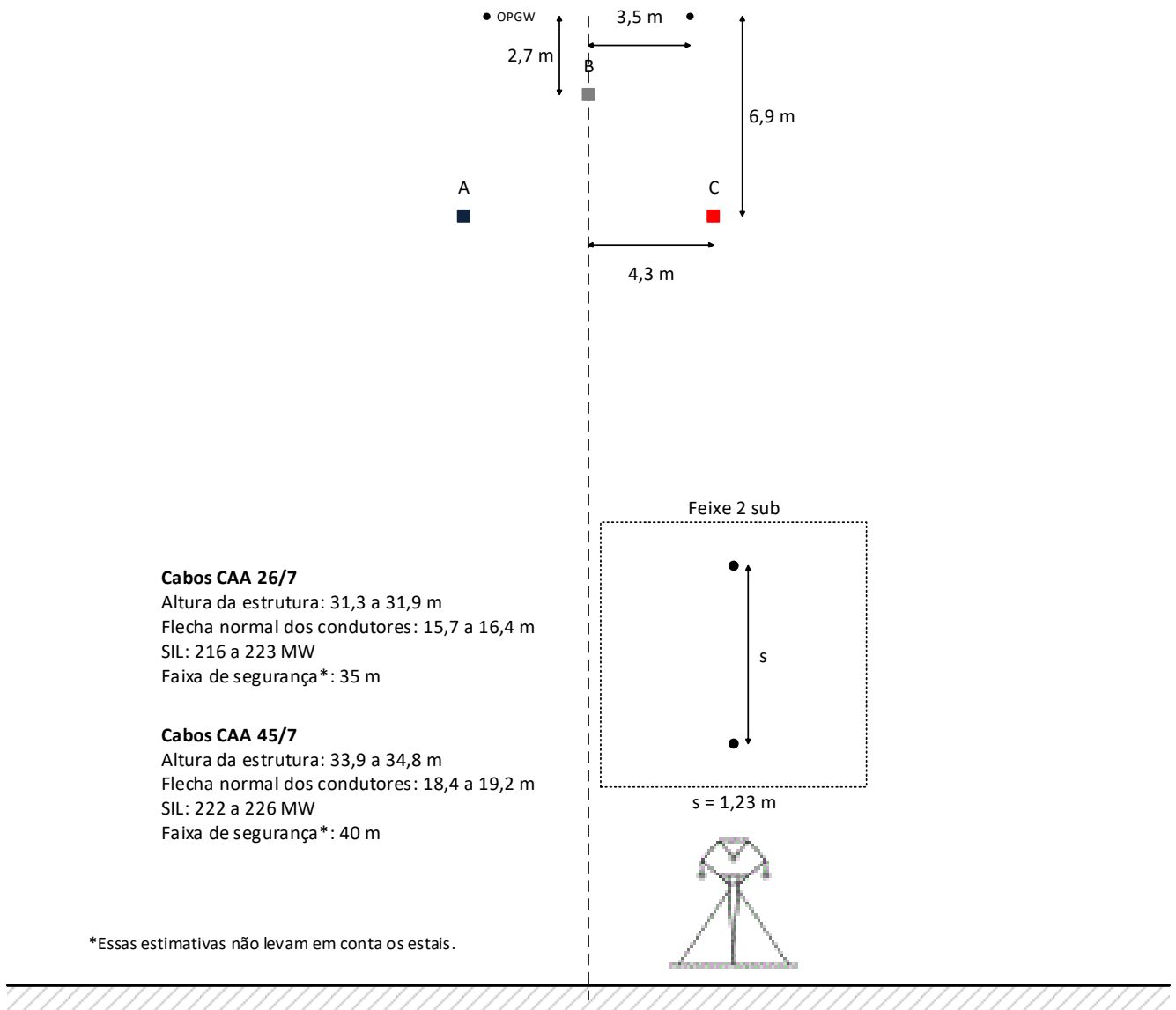


Figura 4-9 Configuração 230CST4, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Esta configuração possui SIL elevado. Portanto, sugere-se o seu uso nas situações onde essa característica for importante para o sistema. Além disso, devido à capacitância mais elevada, deve-se atentar para as questões associadas à compensação reativa em derivação (*e.g.* religamento monopolar).

Tabela 4-9 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 230CST4

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
2 x Hawk	477	1060	1415	0,0680	0,3143	5,2592	0,4161	1,2492	2,9115
2 x Dove	556	1165	1560	0,0583	0,3112	5,3095	0,4053	1,2481	2,9157
2 x Squab	605	1225	1645	0,0538	0,3097	5,3339	0,3983	1,2508	2,8991
2 x Grosbeak	636	1255	1695	0,0512	0,3088	5,3526	0,3969	1,2477	2,9171
2 x Gannet	666	1295	1745	0,0489	0,3078	5,3699	0,3952	1,2457	2,9277
2 x Starling	716	1350	1820	0,0456	0,3065	5,3941	0,3914	1,2453	2,9307
2 x Drake	795	1440	1945	0,0411	0,3047	5,4308	0,3869	1,2436	2,9404
2 x Tern	795	1430	1925	0,0412	0,3070	5,3838	0,3742	1,2684	2,8023
2 x Ruddy	900	1535	2080	0,0365	0,3048	5,4287	0,3707	1,2642	2,8249
2 x Rail	954	1585	2150	0,0345	0,3035	5,4458	0,3656	1,2683	2,8025
2 x Ortolan	1033	1665	2260	0,0320	0,3020	5,4727	0,3621	1,2686	2,8001
2 x Bluejay	1113	1740	2365	0,0298	0,3007	5,4995	0,3598	1,2676	2,8060

4.5 Configurações de 345 kV

4.5.1 345CDV1

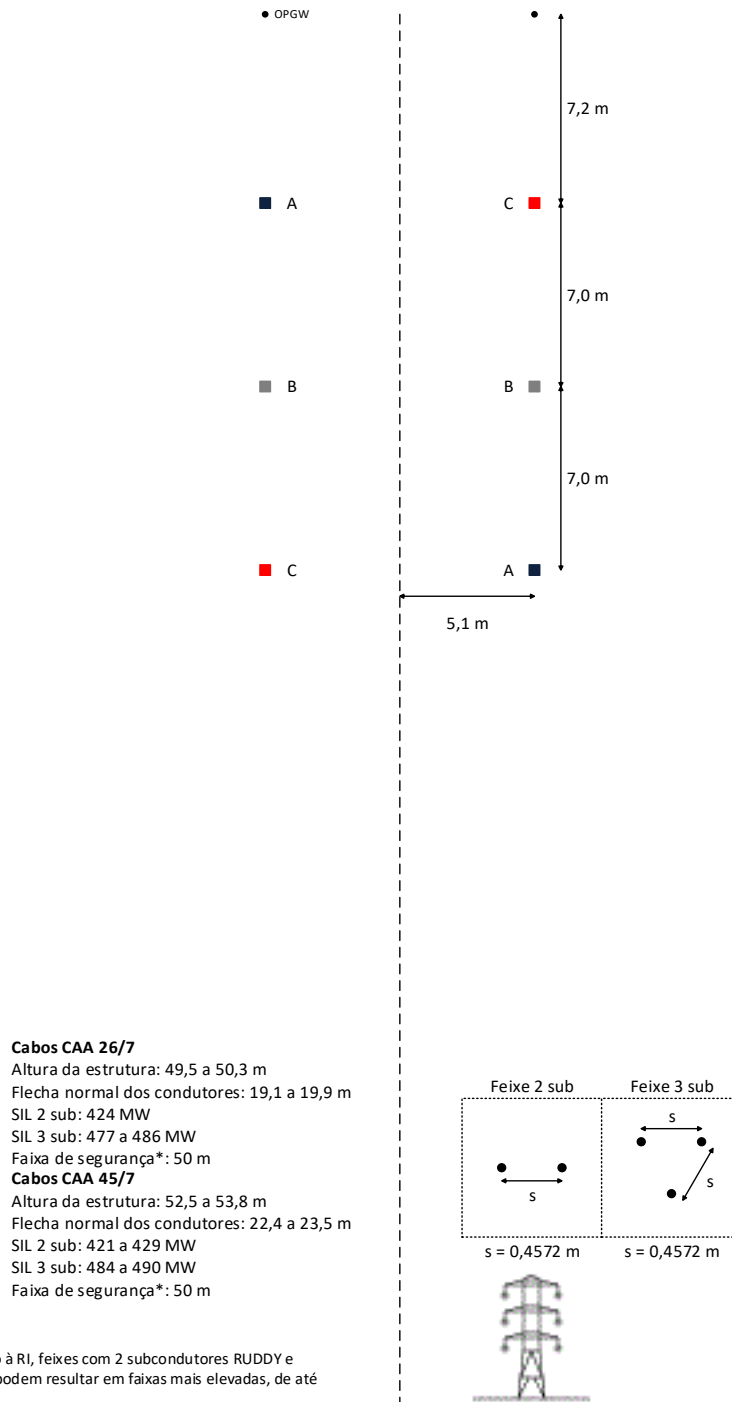


Figura 4-10 Configuração 345CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Tabela 4-10 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 345CDV1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]	rm0 [Ω /km]	xm0 [Ω /km]	bm0 [μ S/km]
2 x Drake	795	1460	1970	0,0411	0,3619	4,5888	0,3375	1,3343	2,7679	0,2964	0,8935	-0,9542
2 x Tern	795	1445	1950	0,0412	0,3641	4,5586	0,3301	1,3500	2,7223	0,2891	0,9069	-0,9756
2 x Ruddy	900	1555	2105	0,0365	0,3619	4,5907	0,3262	1,3465	2,7380	0,2898	0,9057	-0,9812
2 x Rail	954	1610	2185	0,0345	0,3607	4,6038	0,3224	1,3485	2,7358	0,2880	0,9089	-0,9911
2 x Ortolan	1033	1690	2295	0,0320	0,3592	4,6234	0,3193	1,3481	2,7410	0,2874	0,9101	-0,9983
2 x Bluejay	1113	1765	2400	0,0299	0,3579	4,6426	0,3170	1,3470	2,7483	0,2873	0,9102	-1,0034
3 x Hawk	477	1590	2125	0,0455	0,3217	5,1570	0,3432	1,2918	2,9919	0,2978	0,8909	-1,0893
3 x Dove	556	1745	2345	0,0391	0,3197	5,1893	0,3361	1,2910	3,0007	0,2971	0,8921	-1,0999
3 x Squab	605	1835	2465	0,0360	0,3186	5,2048	0,3316	1,2926	2,9996	0,2957	0,8947	-1,1094
3 x Grosbeak	636	1895	2545	0,0343	0,3180	5,2168	0,3306	1,2906	3,0077	0,2965	0,8934	-1,1093
3 x Gannet	666	1945	2620	0,0328	0,3174	5,2279	0,3294	1,2894	3,0135	0,2968	0,8928	-1,1106
3 x Starling	716	2035	2740	0,0306	0,3166	5,2433	0,3270	1,2890	3,0180	0,2965	0,8933	-1,1154
3 x Drake	795	2165	2925	0,0276	0,3153	5,2666	0,3239	1,2879	3,0264	0,2964	0,8934	-1,1212
3 x Tern	795	2145	2895	0,0276	0,3169	5,2364	0,3166	1,3029	2,9779	0,2891	0,9068	-1,1454
3 x Ruddy	900	2310	3130	0,0245	0,3154	5,2650	0,3141	1,3002	2,9915	0,2898	0,9056	-1,1497
3 x Rail	954	2395	3245	0,0232	0,3146	5,2758	0,3110	1,3026	2,9873	0,2880	0,9088	-1,1595
3 x Ortolan	1033	2510	3410	0,0215	0,3136	5,2927	0,3087	1,3027	2,9906	0,2874	0,9100	-1,1661
3 x Bluejay	1113	2620	3565	0,0200	0,3127	5,3096	0,3072	1,3020	2,9965	0,2873	0,9101	-1,1705

4.5.2 345CSH1

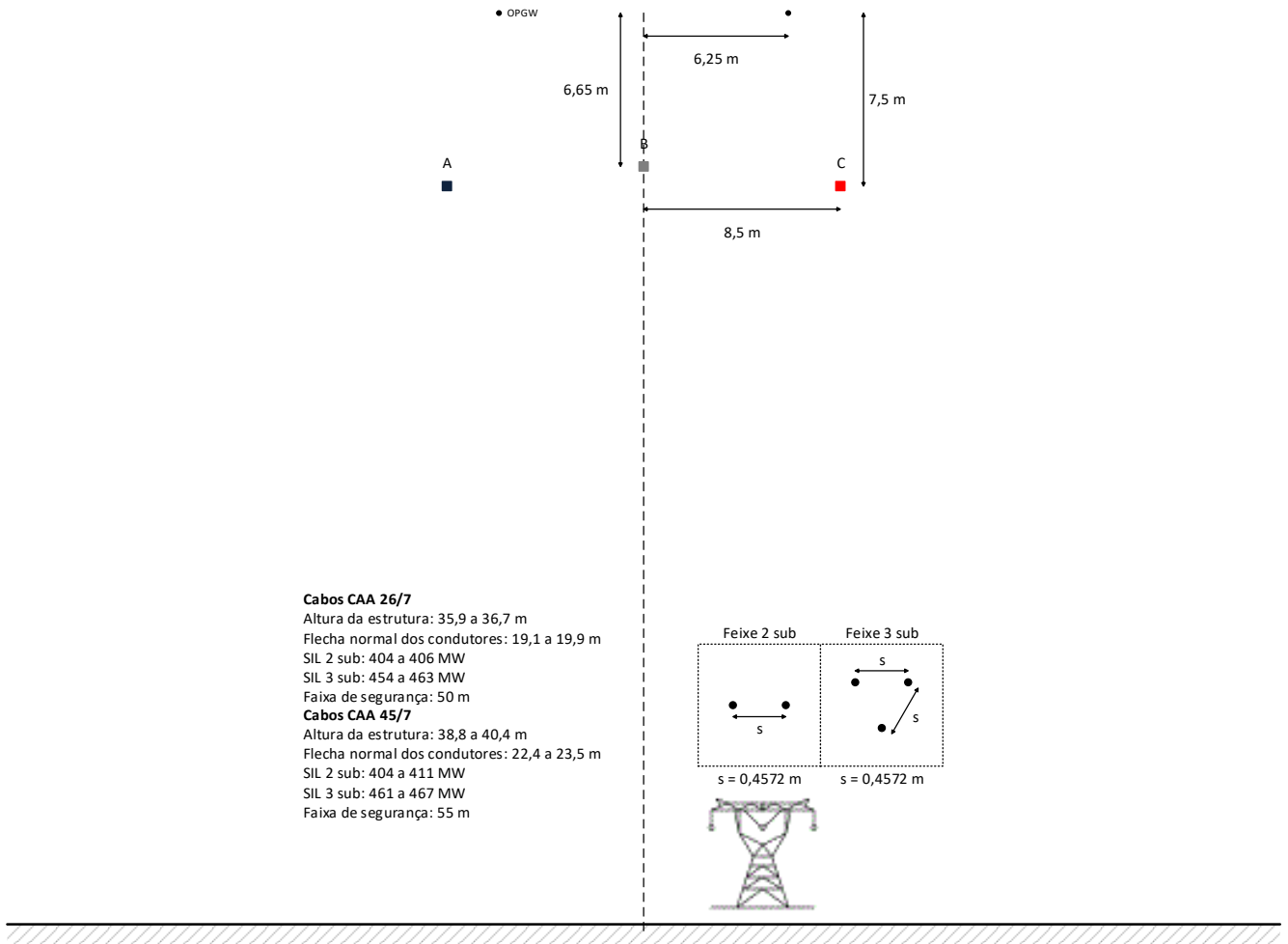


Figura 4-11 Configuração 345CSH1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Esta configuração é comumente encontrada em LTA mais antigas. Desse modo, sugere-se o seu uso em novos circuitos paralelos à instalações existentes com essas características, ou seccionamentos das mesmas via estruturas de circuito simples.

Tabela 4-11 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 345CSH1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
2 x Starling	716	1370	1845	0,0456	0,3787	4,3704	0,3657	1,2659	2,8394
2 x Drake	795	1460	1970	0,0411	0,3768	4,3945	0,3612	1,2642	2,8490
2 x Tern	795	1445	1950	0,0411	0,3791	4,3631	0,3517	1,2835	2,7461
2 x Ruddy	900	1555	2105	0,0365	0,3769	4,3927	0,3479	1,2797	2,7655
2 x Rail	954	1610	2185	0,0345	0,3757	4,4039	0,3436	1,2826	2,7494
2 x Ortolan	1033	1690	2295	0,0319	0,3741	4,4215	0,3403	1,2825	2,7491
2 x Bluejay	1113	1765	2400	0,0298	0,3729	4,4390	0,3380	1,2814	2,7551
3 x Hawk	477	1590	2125	0,0455	0,3368	4,9076	0,3674	1,2210	3,0593
3 x Dove	556	1745	2345	0,0390	0,3348	4,9360	0,3600	1,2204	3,0597
3 x Squab	605	1835	2465	0,0360	0,3338	4,9489	0,3551	1,2227	3,0446
3 x Grosbeak	636	1895	2545	0,0343	0,3332	4,9602	0,3544	1,2204	3,0586
3 x Gannet	666	1945	2620	0,0327	0,3325	4,9703	0,3533	1,2190	3,0666
3 x Starling	716	2035	2740	0,0305	0,3317	4,9839	0,3507	1,2188	3,0674
3 x Drake	795	2165	2925	0,0276	0,3304	5,0046	0,3477	1,2177	3,0735
3 x Tern	795	2145	2895	0,0275	0,3320	4,9728	0,3381	1,2363	2,9572
3 x Ruddy	900	2310	3130	0,0244	0,3306	4,9987	0,3359	1,2333	2,9745
3 x Rail	954	2395	3245	0,0231	0,3297	5,0074	0,3322	1,2366	2,9532
3 x Ortolan	1033	2510	3410	0,0214	0,3287	5,0222	0,3297	1,2370	2,9494
3 x Bluejay	1113	2620	3565	0,0199	0,3279	5,0371	0,3282	1,2363	2,9532

4.5.3 345CST1

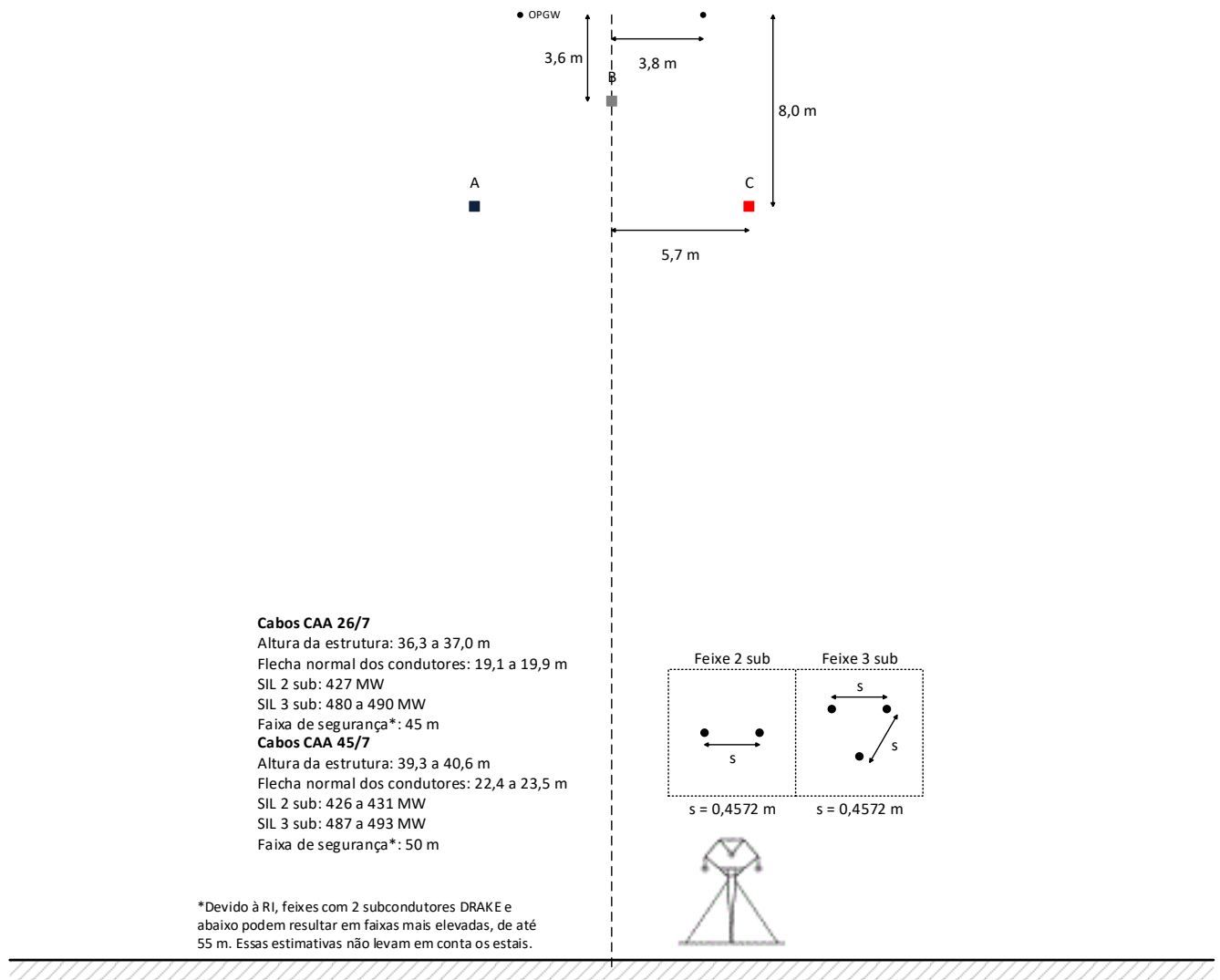


Figura 4-12 Configuração 345CST1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Tabela 4-12 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 345CST1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
2 x Drake	795	1460	1970	0,0411	0,3581	4,5999	0,3743	1,2722	2,7468
2 x Ruddy	900	1555	2105	0,0365	0,3582	4,5967	0,3579	1,2934	2,6438
2 x Rail	954	1610	2185	0,0345	0,3570	4,6087	0,3528	1,2976	2,6231
2 x Ortolan	1033	1690	2295	0,0319	0,3554	4,6278	0,3492	1,2979	2,6209
2 x Bluejay	1113	1765	2400	0,0298	0,3542	4,6469	0,3470	1,2969	2,6261
3 x Hawk	477	1590	2125	0,0455	0,3181	5,1657	0,3811	1,2278	2,9543
3 x Dove	556	1745	2345	0,0390	0,3160	5,1971	0,3735	1,2279	2,9524
3 x Squab	605	1835	2465	0,0360	0,3150	5,2109	0,3679	1,2314	2,9318
3 x Grosbeak	636	1895	2545	0,0342	0,3144	5,2237	0,3674	1,2284	2,9488
3 x Gannet	666	1945	2620	0,0327	0,3137	5,2351	0,3665	1,2268	2,9582
3 x Starling	716	2035	2740	0,0305	0,3129	5,2500	0,3638	1,2268	2,9580
3 x Drake	795	2165	2925	0,0276	0,3117	5,2731	0,3608	1,2257	2,9641
3 x Tern	795	2145	2895	0,0275	0,3133	5,2357	0,3478	1,2504	2,8240
3 x Ruddy	900	2310	3130	0,0244	0,3118	5,2645	0,3459	1,2469	2,8431
3 x Rail	954	2395	3245	0,0231	0,3110	5,2738	0,3415	1,2515	2,8174
3 x Ortolan	1033	2510	3410	0,0214	0,3100	5,2900	0,3387	1,2524	2,8122
3 x Bluejay	1113	2620	3565	0,0199	0,3091	5,3067	0,3372	1,2518	2,8159

4.6 Configurações de 440 kV

4.6.1 440CDV1

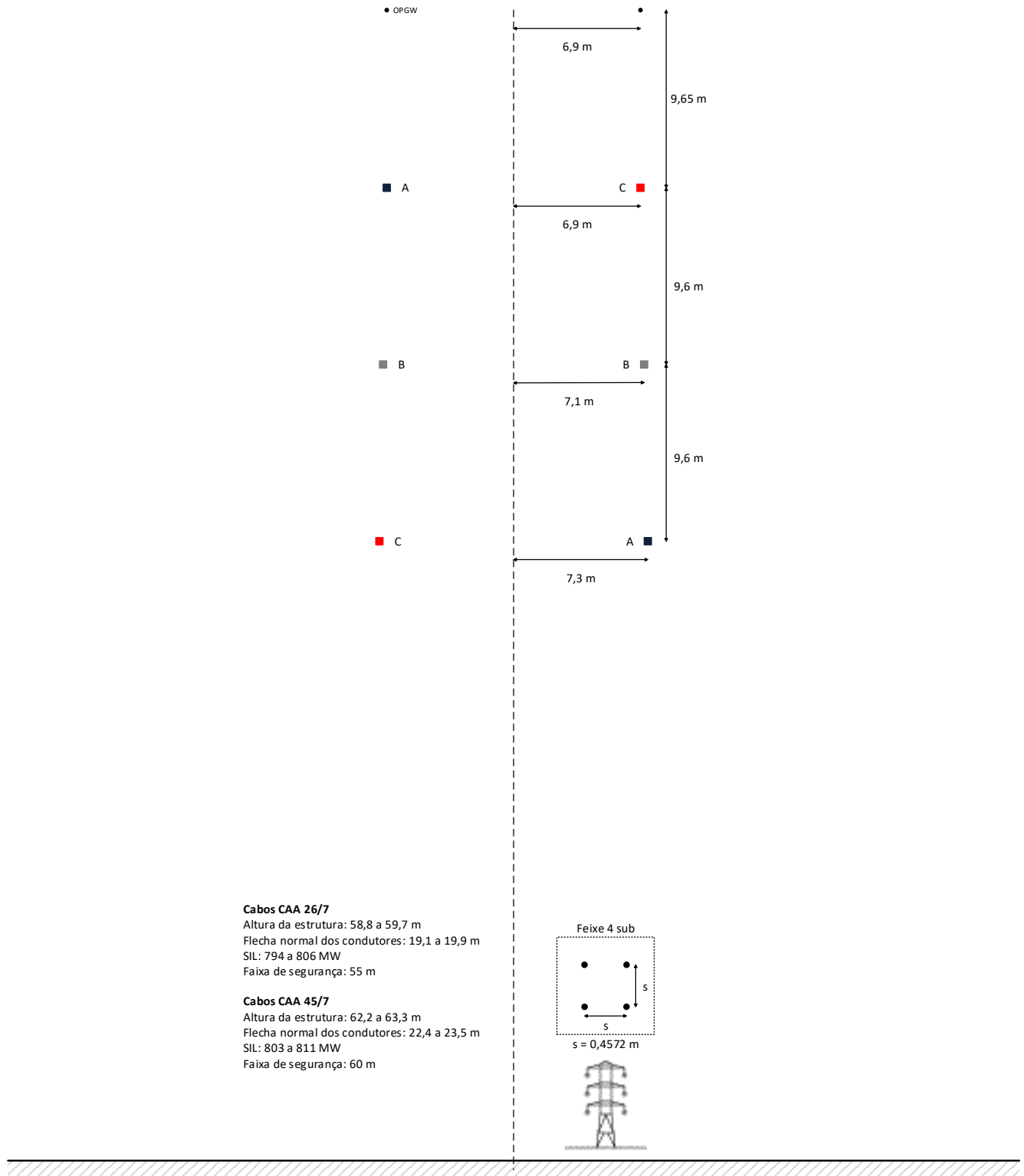


Figura 4-13 Configuração 440CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Tabela 4-13 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 440CDV1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]	rm0 [Ω /km]	xm0 [Ω /km]	bm0 [μ S/km]
4 x Hawk	477	2120	2835	0,0343	0,3142	5,2791	0,3155	1,2461	3,0943	0,2812	0,8504	-1,0561
4 x Dove	556	2330	3125	0,0295	0,3126	5,3043	0,3101	1,2455	3,1005	0,2808	0,8513	-1,0645
4 x Squab	605	2450	3290	0,0272	0,3119	5,3160	0,3068	1,2466	3,0986	0,2798	0,8532	-1,0722
4 x Grosbeak	636	2525	3395	0,0259	0,3114	5,3255	0,3061	1,2451	3,1052	0,2803	0,8522	-1,0720
4 x Gannet	666	2595	3495	0,0247	0,3109	5,3342	0,3051	1,2442	3,1098	0,2805	0,8518	-1,0730
4 x Starling	716	2710	3655	0,0231	0,3103	5,3461	0,3033	1,2440	3,1129	0,2803	0,8521	-1,0768
4 x Drake	795	2890	3900	0,0209	0,3094	5,3641	0,3010	1,2431	3,1192	0,2803	0,8522	-1,0814
4 x Tern	795	2860	3865	0,0209	0,3105	5,3385	0,2957	1,2540	3,0762	0,2750	0,8620	-1,1022
4 x Ruddy	900	3085	4170	0,0185	0,3095	5,3609	0,2939	1,2520	3,0870	0,2755	0,8610	-1,1053
4 x Rail	954	3190	4310	0,0175	0,3088	5,3687	0,2916	1,2538	3,0824	0,2742	0,8634	-1,1133
4 x Ortolan	1033	3345	4525	0,0163	0,3081	5,3816	0,2899	1,2539	3,0844	0,2738	0,8643	-1,1186
4 x Bluejay	1113	3495	4740	0,0152	0,3074	5,3945	0,2887	1,2533	3,0885	0,2737	0,8644	-1,1222

4.6.2 440CST1

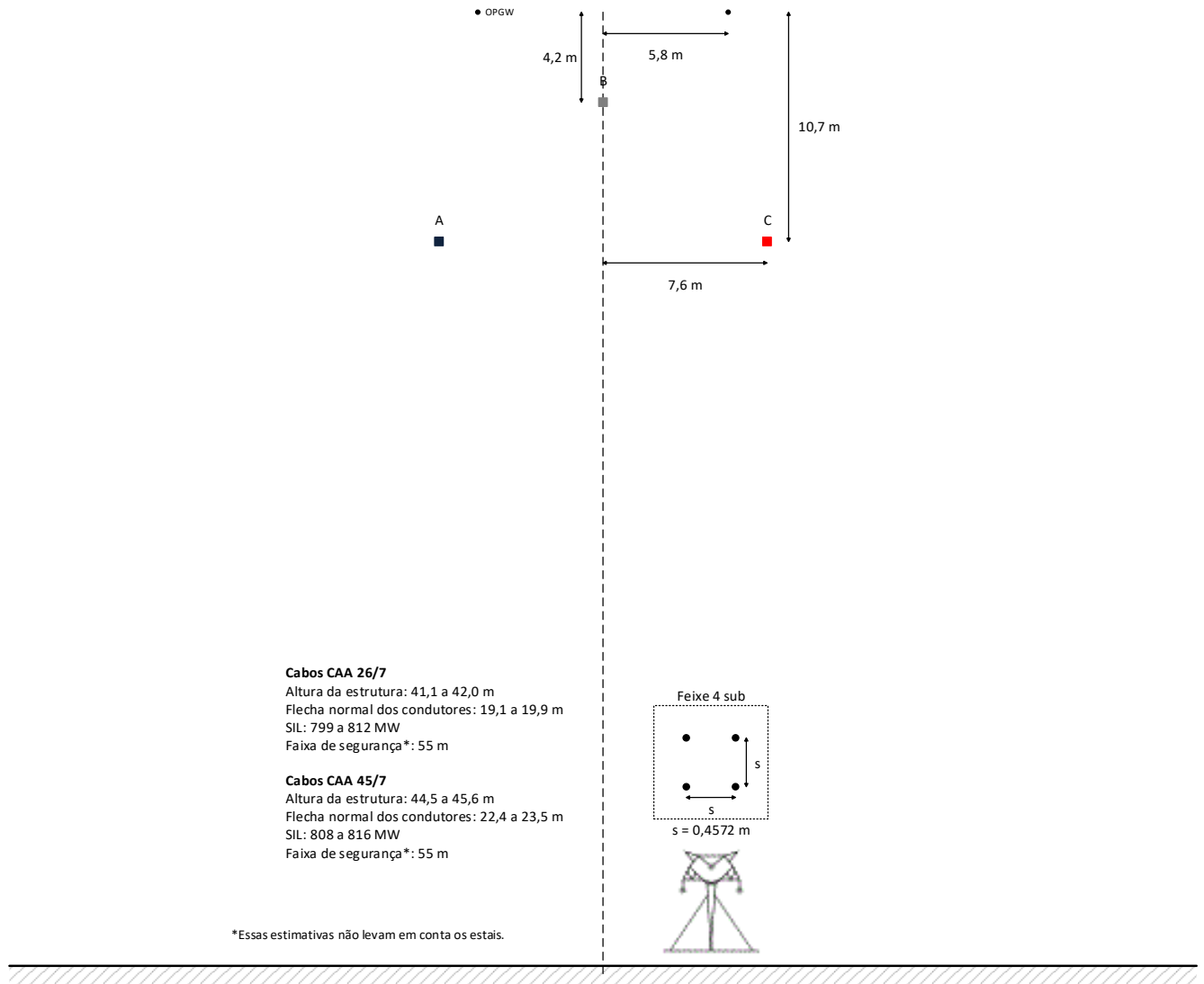


Figura 4-14 Configuração 440CST1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Tabela 4-14 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 440CST1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
4 x Hawk	477	2120	2835	0,0343	0,3104	5,2900	0,3530	1,1842	3,1218
4 x Dove	556	2330	3125	0,0294	0,3089	5,3145	0,3473	1,1841	3,1200
4 x Squab	605	2450	3290	0,0272	0,3081	5,3251	0,3433	1,1865	3,1033
4 x Grosbeak	636	2525	3395	0,0259	0,3077	5,3351	0,3429	1,1844	3,1166
4 x Gannet	666	2595	3495	0,0247	0,3072	5,3440	0,3421	1,1832	3,1237
4 x Starling	716	2710	3655	0,0231	0,3066	5,3556	0,3401	1,1832	3,1234
4 x Drake	795	2890	3900	0,0208	0,3056	5,3735	0,3378	1,1824	3,1280
4 x Tern	795	2860	3865	0,0208	0,3068	5,3420	0,3286	1,2000	3,0121
4 x Ruddy	900	3085	4170	0,0185	0,3057	5,3647	0,3271	1,1974	3,0278
4 x Rail	954	3190	4310	0,0175	0,3051	5,3711	0,3239	1,2008	3,0056
4 x Ortolan	1033	3345	4525	0,0162	0,3044	5,3833	0,3218	1,2015	3,0005
4 x Bluejay	1113	3495	4740	0,0151	0,3037	5,3961	0,3206	1,2010	3,0028

4.7 Configurações de 500 kV

4.7.1 500CDT1

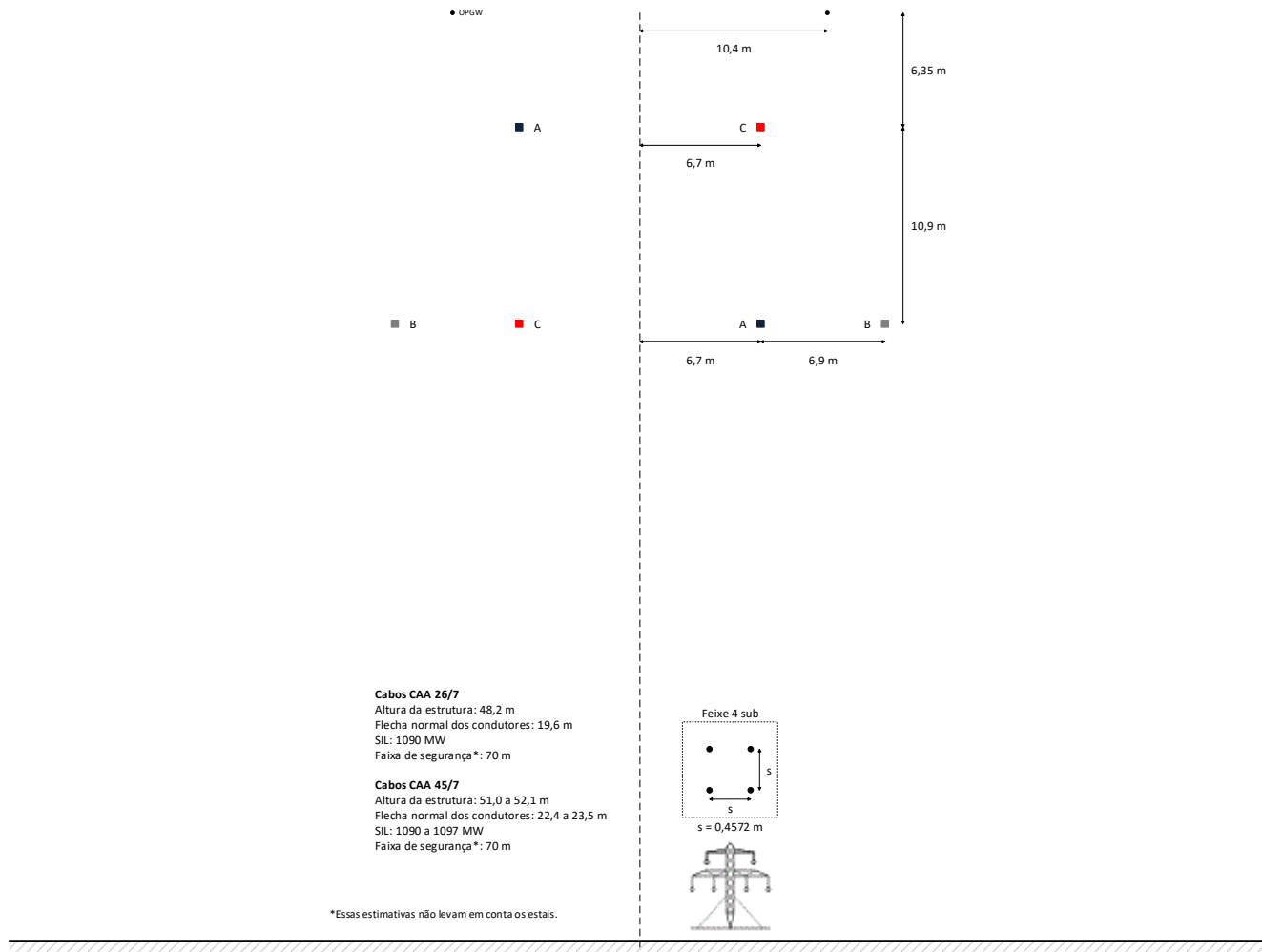


Figura 4-15 Configuração 500CDT1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Tabela 4-15 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CDT1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω/km]	x1 [Ω/km]	b1 [μS/km]	r0 [Ω/km]	x0 [Ω/km]	b0 [μS/km]	rm0 [Ω/km]	xm0 [Ω/km]	bm0 [μS/km]
4 x Drake	795	2890	3900	0,0208	0,2944	5,6016	0,3130	1,2564	3,0424	0,2910	0,8158	-0,8296
4 x Ruddy	900	3085	4170	0,0184	0,2945	5,5983	0,3051	1,2661	2,9947	0,2859	0,8251	-0,8510
4 x Rail	954	3190	4310	0,0174	0,2939	5,6069	0,3027	1,2681	2,9860	0,2845	0,8277	-0,8581
4 x Ortolan	1033	3345	4525	0,0162	0,2931	5,6210	0,3009	1,2682	2,9861	0,2840	0,8286	-0,8626
4 x Bluejay	1113	3495	4740	0,0151	0,2925	5,6351	0,2997	1,2677	2,9897	0,2839	0,8287	-0,8653

4.7.2 500CDV1

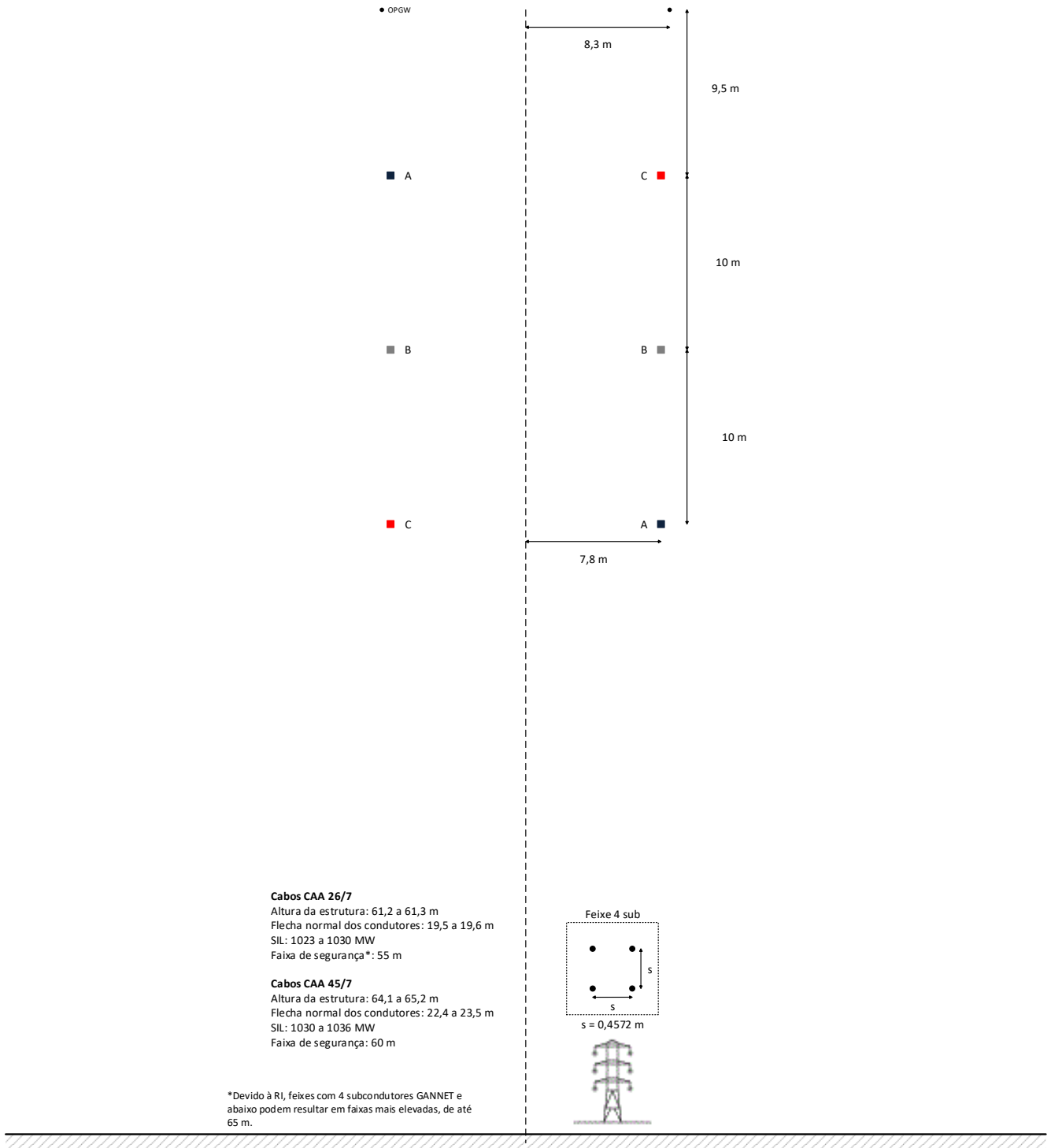


Figura 4-16 Configuração 500CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Sugere-se o uso desta configuração em traçados com restrições socioambientais ou novas LTA curtas. O uso desta configuração também é sugerido para seccionamentos – via estruturas de circuito duplo - curtos ou de instalações existentes com essas características.

Tabela 4-16 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CDV1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω/km]	x1 [Ω/km]	b1 [μS/km]	r0 [Ω/km]	x0 [Ω/km]	b0 [μS/km]	rm0 [Ω/km]	xm0 [Ω/km]	bm0 [μS/km]
4 x Grosbeak	636	2525	3395	0,0259	0,3145	5,2661	0,3050	1,2429	3,0479	0,2790	0,8383	-1,0160
4 x Gannet	666	2595	3495	0,0247	0,3140	5,2746	0,3041	1,2420	3,0523	0,2793	0,8379	-1,0169
4 x Starling	716	2710	3655	0,0231	0,3134	5,2862	0,3022	1,2417	3,0552	0,2791	0,8382	-1,0205
4 x Drake	795	2890	3900	0,0209	0,3124	5,3038	0,3000	1,2409	3,0612	0,2790	0,8383	-1,0247
4 x Tern	795	2860	3865	0,0209	0,3136	5,2786	0,2949	1,2514	3,0190	0,2740	0,8475	-1,0436
4 x Ruddy	900	3085	4170	0,0185	0,3125	5,3005	0,2930	1,2494	3,0295	0,2745	0,8467	-1,0465
4 x Rail	954	3190	4310	0,0175	0,3119	5,3081	0,2907	1,2511	3,0247	0,2733	0,8489	-1,0540
4 x Ortolan	1033	3345	4525	0,0163	0,3111	5,3207	0,2890	1,2511	3,0265	0,2728	0,8497	-1,0589
4 x Bluejay	1113	3495	4740	0,0152	0,3105	5,3333	0,2879	1,2506	3,0305	0,2728	0,8498	-1,0622

4.7.3 500CDV4

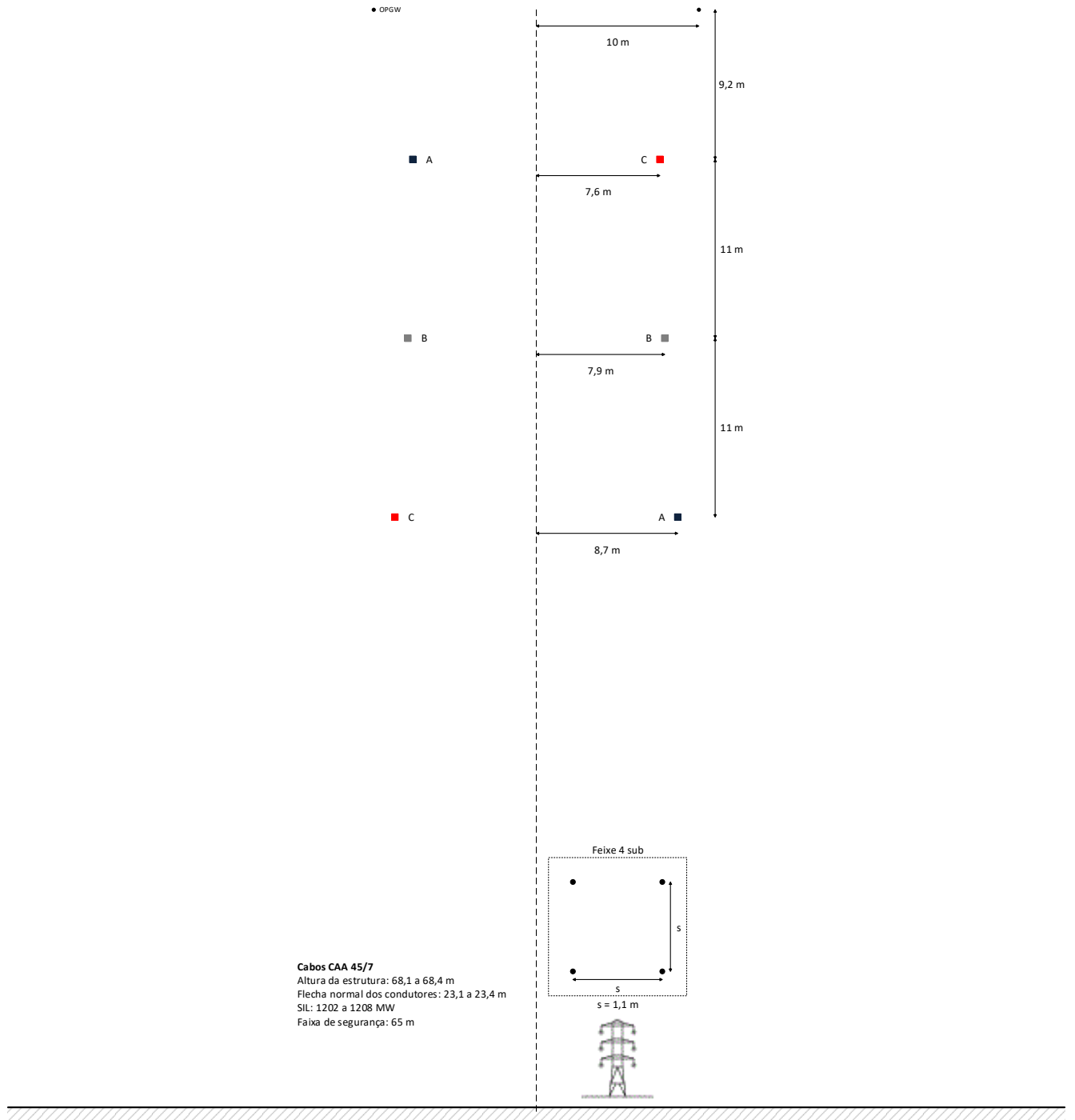


Figura 4-17 Configuração 500CDV4, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Esta configuração possui SIL elevado. Portanto, sugere-se o seu uso nas situações onde essa característica for importante para o sistema. Além disso, devido à capacitância mais elevada, deve-se atentar para as questões associadas à compensação reativa em derivação (*e.g.* religamento monopolar).

Tabela 4-17 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CDV4

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω/km]	x1 [Ω/km]	b1 [μS/km]	r0 [Ω/km]	x0 [Ω/km]	b0 [μS/km]	rm0 [Ω/km]	xm0 [Ω/km]	bm0 [μS/km]
4 x Rail	954	3125	4225	0,0176	0,2693	6,2224	0,2894	1,1909	3,4134	0,2717	0,8423	-1,3155
4 x Ortolan	1033	3280	4435	0,0163	0,2685	6,2398	0,2877	1,1909	3,4161	0,2713	0,8430	-1,3217
4 x Bluejay	1113	3425	4645	0,0153	0,2679	6,2573	0,2866	1,1904	3,4213	0,2713	0,8431	-1,3262

4.7.4 500CSH1

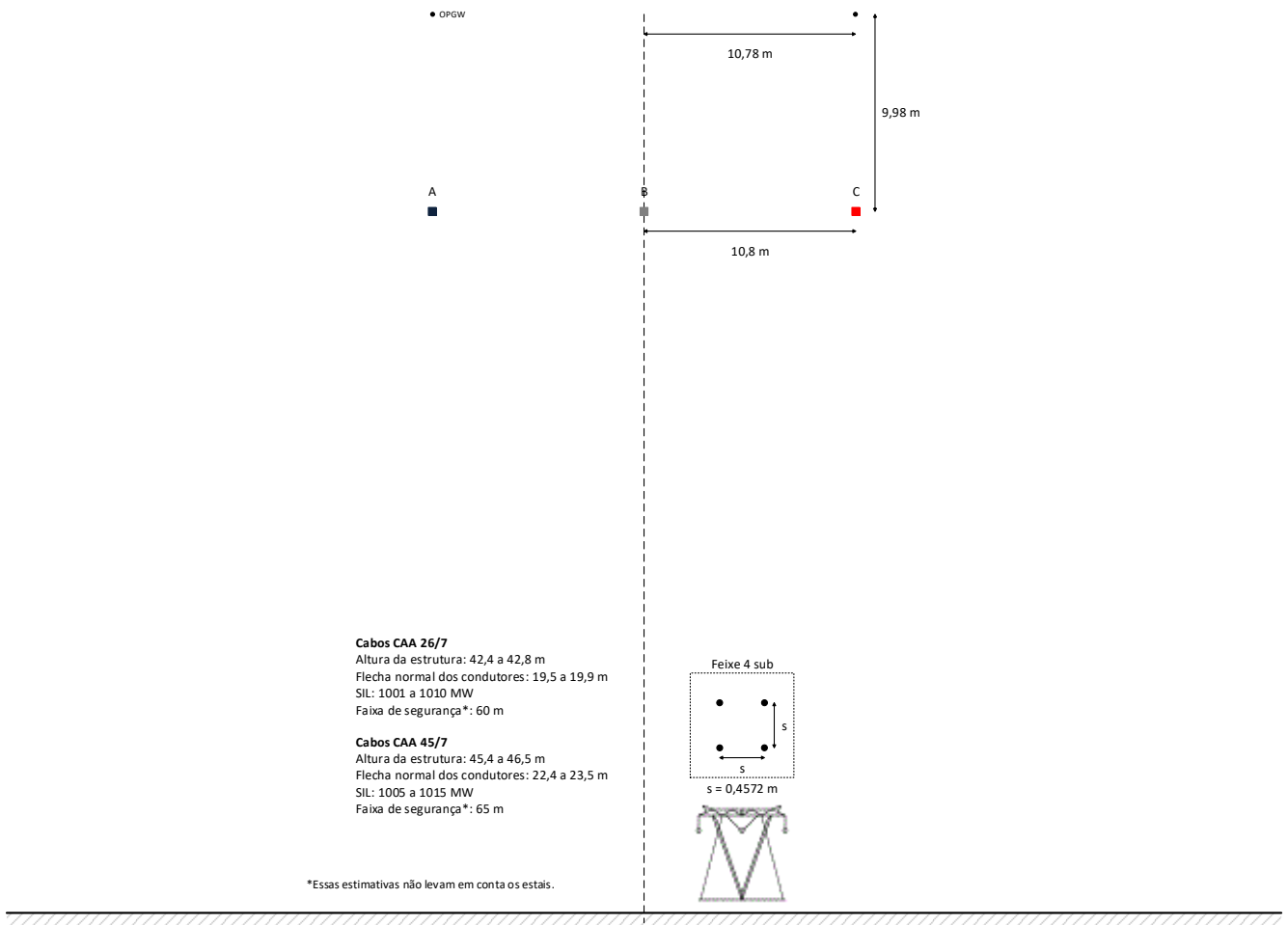


Figura 4-18 Configuração 500CSH1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Esta configuração é comumente encontrada em LTA mais antigas. Desse modo, sugere-se o seu uso em novos circuitos paralelos às instalações existentes com essas características, ou seccionamentos das mesmas via estruturas de circuito simples.

Tabela 4-18 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CSH1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
4 x Squab	605	2450	3290	0,0272	0,3209	5,1462	0,3274	1,1961	3,1078
4 x Grosbeak	636	2525	3395	0,0259	0,3204	5,1556	0,3268	1,1945	3,1183
4 x Gannet	666	2595	3495	0,0248	0,3199	5,1640	0,3259	1,1935	3,1244
4 x Starling	716	2710	3655	0,0232	0,3193	5,1748	0,3240	1,1933	3,1249
4 x Drake	795	2890	3900	0,0209	0,3184	5,1916	0,3217	1,1925	3,1296
4 x Tern	795	2860	3865	0,0208	0,3196	5,1622	0,3152	1,2053	3,0387
4 x Ruddy	900	3085	4170	0,0185	0,3185	5,1833	0,3135	1,2031	3,0522
4 x Rail	954	3190	4310	0,0175	0,3179	5,1896	0,3108	1,2054	3,0357
4 x Ortolan	1033	3345	4525	0,0162	0,3171	5,2012	0,3090	1,2056	3,0327
4 x Bluejay	1113	3495	4740	0,0151	0,3165	5,2131	0,3079	1,2051	3,0352

4.7.5 500CSH2

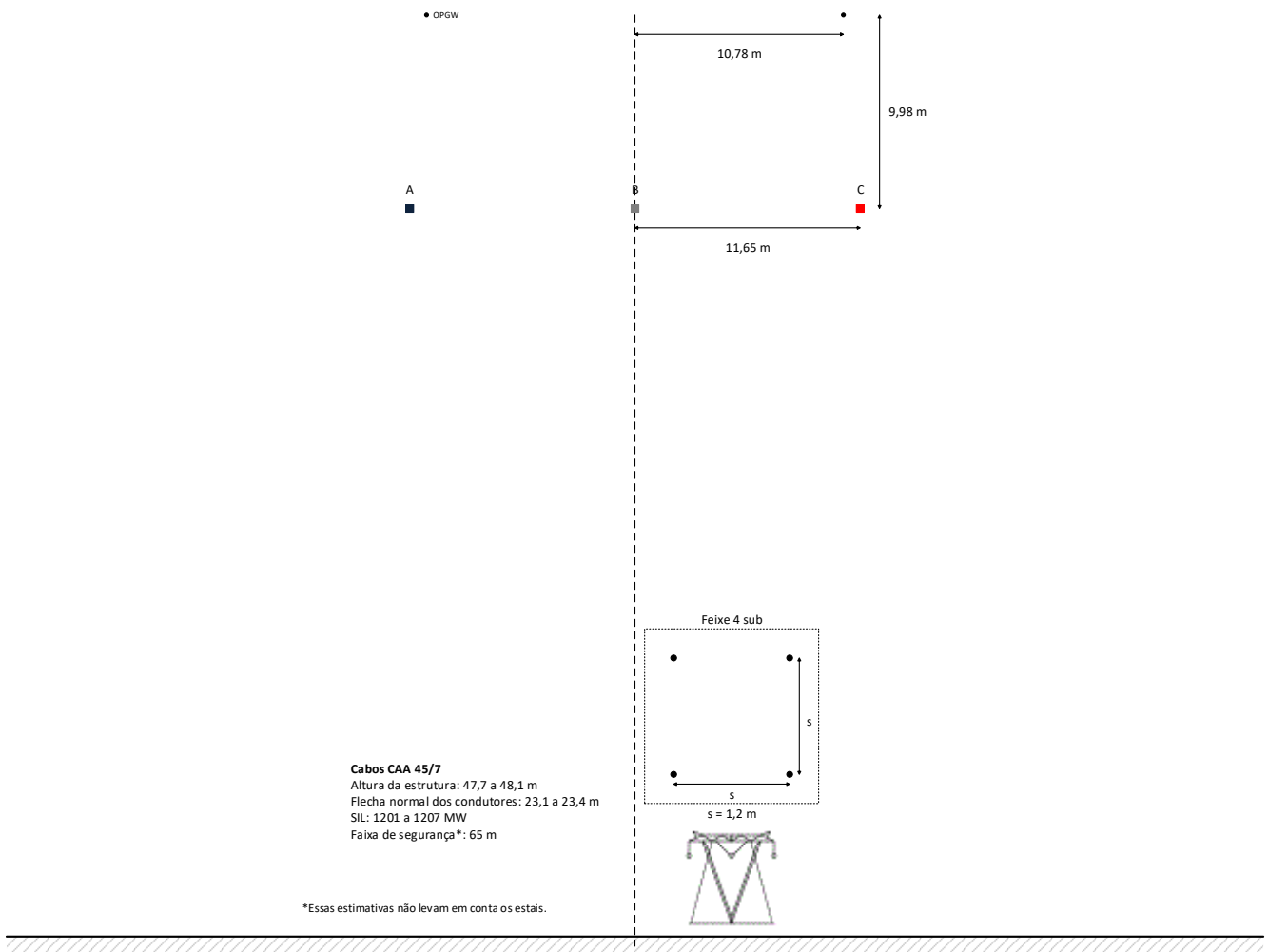


Figura 4-19 Configuração 500CSH2, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Esta configuração possui SIL elevado. Portanto, sugere-se o seu uso nas situações onde essa característica for importante para o sistema. Além disso, devido à capacitância mais elevada, deve-se atentar para as questões associadas à compensação reativa em derivação (*e.g.* religamento monopolar). Por fim, nota-se que esta configuração pode ser encontrada em LTA mais antigas de SIL elevado. Desse modo, sugere-se o seu uso em novos circuitos paralelos à instalações existentes com essas características, ou seccionamentos das mesmas via estruturas de circuito simples.

Tabela 4-19 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CSH2

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
4 x Rail	954	3125	4225	0,0176	0,2688	6,2017	0,3102	1,1405	3,3868
4 x Ortolan	1033	3280	4435	0,0163	0,2681	6,2184	0,3083	1,1408	3,3830
4 x Bluejay	1113	3425	4645	0,0152	0,2674	6,2356	0,3072	1,1402	3,3861

4.7.6 500CSH6

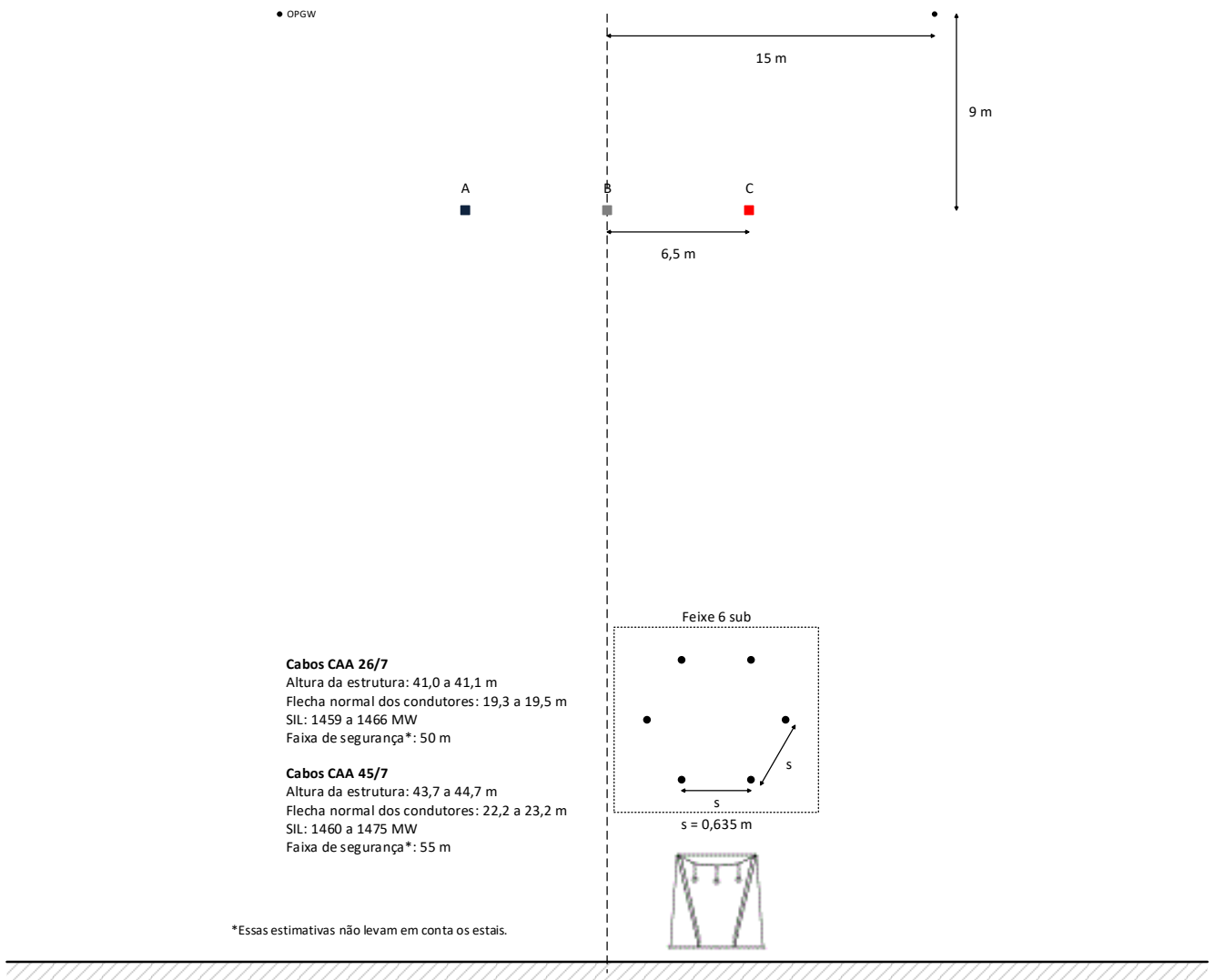


Figura 4-20 Configuração 500CSH6, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Esta configuração possui SIL bastante elevado. Portanto, sugere-se o seu uso apenas nas situações onde essa característica for importante para o sistema. Além disso, devido à capacitância mais elevada, deve-se atentar para as questões associadas à compensação reativa em derivação (*e.g.* religamento monopolar). Esta configuração foi adotada em algumas LTA no passado recente. Desse modo, sugere-se o seu uso também em novos circuitos paralelos às instalações existentes com essas características, ou seccionamentos das mesmas.

Tabela 4-20 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CSH6

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
6 x Gannet	666	3640	4900	0,0166	0,2210	7,5230	0,3133	1,2209	3,0314
6 x Starling	716	3800	5000	0,0155	0,2206	7,5394	0,3121	1,2208	3,0341
6 x Drake	795	4000	5000	0,0140	0,2200	7,5645	0,3105	1,2202	3,0437
6 x Tern	795	4000	5000	0,0140	0,2207	7,5316	0,3058	1,2293	2,9697
6 x Ruddy	900	4000	5000	0,0124	0,2200	7,5623	0,3047	1,2278	2,9864
6 x Rail	954	4000	5000	0,0117	0,2196	7,5733	0,3028	1,2295	2,9736
6 x Ortolan	1033	4000	5000	0,0109	0,2191	7,5911	0,3015	1,2297	2,9729
6 x Bluejay	1113	4000	5000	0,0102	0,2186	7,6089	0,3008	1,2294	2,9771

4.7.7 500CSH7

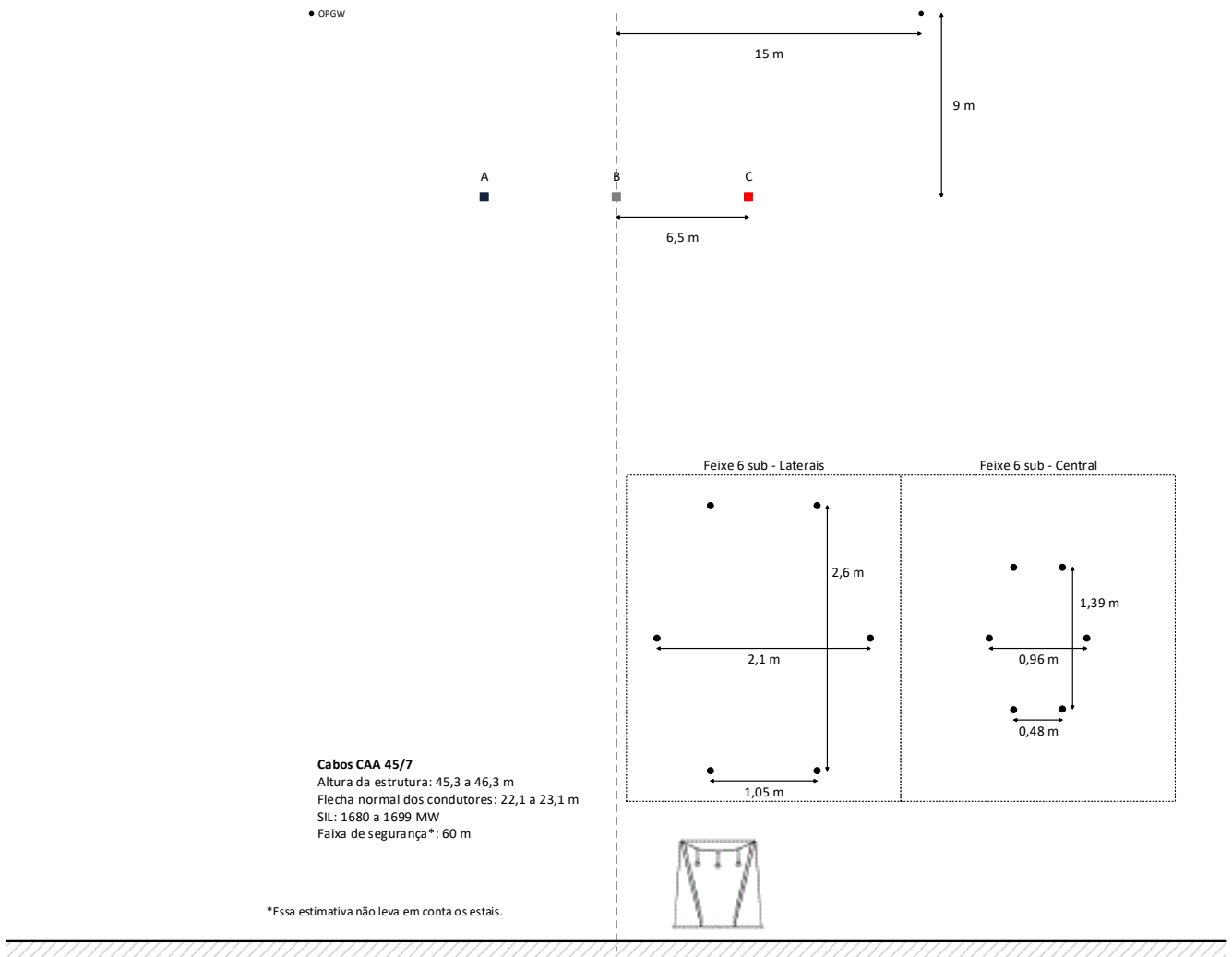


Figura 4-21 Configuração 500CSH7, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Esta configuração possui SIL bastante elevado. Portanto, sugere-se o seu uso apenas nas situações onde essa característica for importante para o sistema. Além disso, devido à capacitância mais elevada, deve-se atentar para as questões associadas à compensação reativa em derivação (*e.g.* religamento monopolar). Notar que o efeito corona pode ser pronunciado, a depender da DRA e do cabo escolhido. O uso desta configuração também é sugerido em novos circuitos paralelos às instalações existentes ou recomendadas com essas características, ou seccionamentos das mesmas.

Tabela 4-21 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CSH7

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
6 x Tern	795	3890	5000	0,0140	0,1917	8,6561	0,3060	1,1980	3,1338
6 x Ruddy	900	4000	5000	0,0124	0,1910	8,6966	0,3049	1,1964	3,1508
6 x Rail	954	4000	5000	0,0118	0,1906	8,7104	0,3030	1,1981	3,1361
6 x Ortolan	1033	4000	5000	0,0109	0,1900	8,7335	0,3017	1,1983	3,1348
6 x Bluejay	1113	4000	5000	0,0102	0,1896	8,7568	0,3009	1,1980	3,1387

4.7.8 500CST3

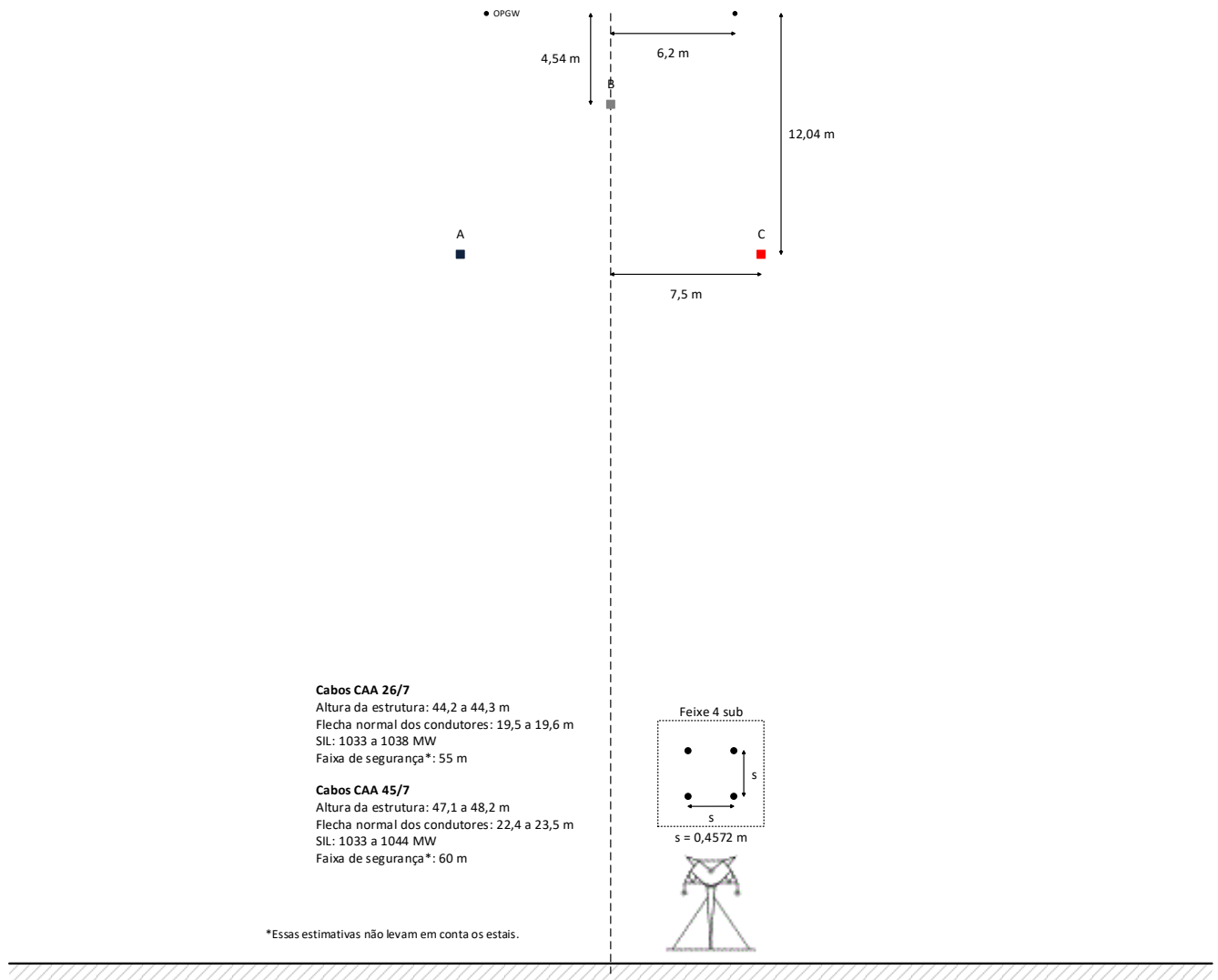


Figura 4-22 Configuração 500CST3, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Tabela 4-22 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CST3

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
4 x Gannet	666	2595	3495	0,0247	0,3098	5,2847	0,3373	1,1873	3,0563
4 x Starling	716	2710	3655	0,0231	0,3092	5,2961	0,3354	1,1872	3,0561
4 x Drake	795	2890	3900	0,0208	0,3083	5,3136	0,3331	1,1864	3,0605
4 x Tern	795	2860	3865	0,0208	0,3094	5,2844	0,3246	1,2028	2,9561
4 x Ruddy	900	3085	4170	0,0185	0,3083	5,3065	0,3230	1,2003	2,9705
4 x Rail	954	3190	4310	0,0175	0,3077	5,3129	0,3199	1,2035	2,9505
4 x Ortolan	1033	3345	4525	0,0162	0,3070	5,3250	0,3179	1,2040	2,9461
4 x Bluejay	1113	3495	4740	0,0151	0,3063	5,3375	0,3168	1,2035	2,9484

4.7.9 500CST4

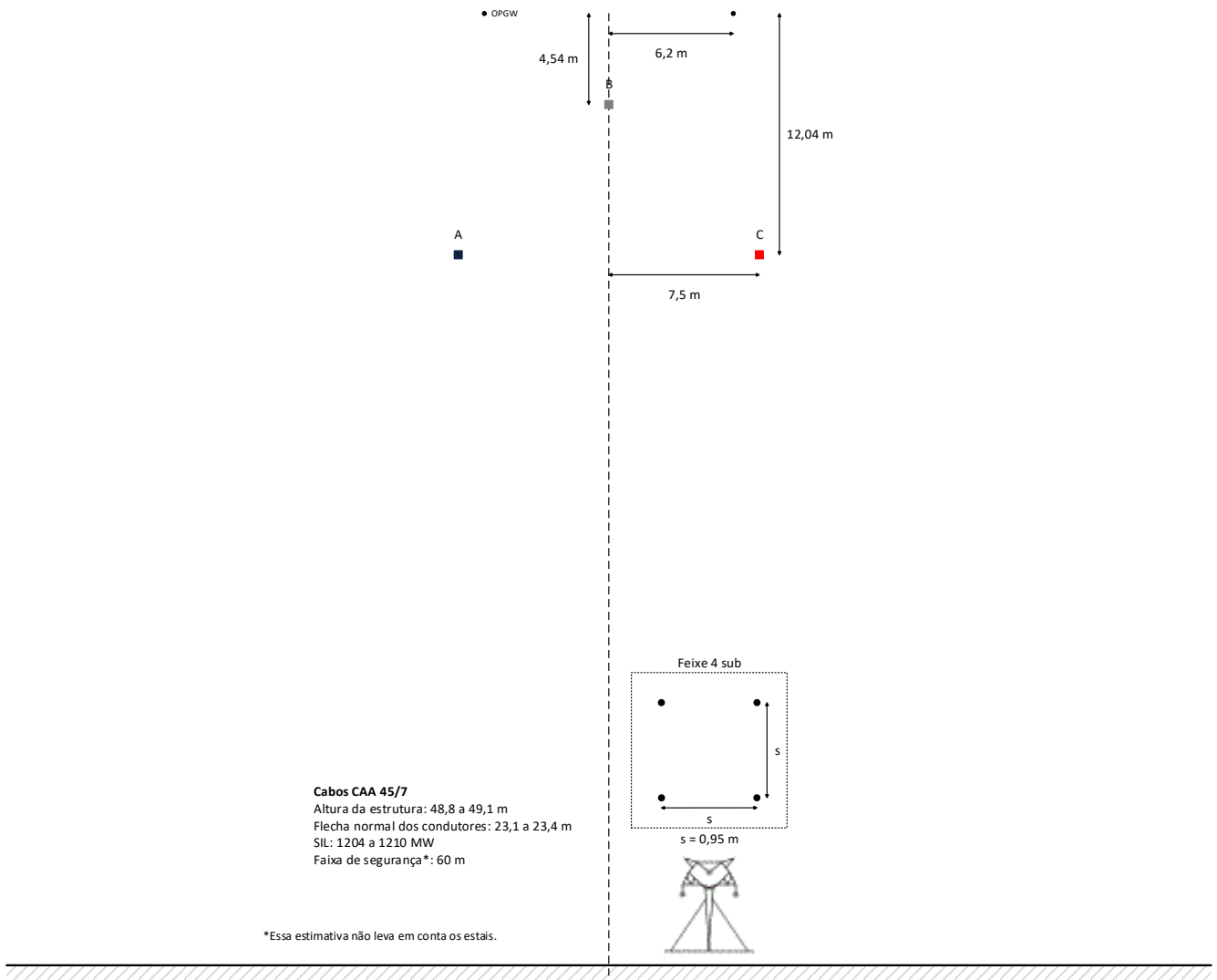


Figura 4-23 Configuração 500CST4, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Esta configuração possui SIL elevado. Portanto, sugere-se o seu uso nas situações onde essa característica for importante para o sistema. Além disso, devido à capacitância mais elevada, deve-se atentar para as questões associadas à compensação reativa em derivação (*e.g.* religamento monopolar).

Tabela 4-23 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 500CST4

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω/km]	x1 [Ω/km]	b1 [μS/km]	r0 [Ω/km]	x0 [Ω/km]	b0 [μS/km]
4 x Rail	954	3125	4225	0,0175	0,2663	6,1710	0,3199	1,1620	3,1612
4 x Ortolan	1033	3280	4435	0,0162	0,2655	6,1874	0,3179	1,1625	3,1560
4 x Bluejay	1113	3425	4645	0,0151	0,2649	6,2043	0,3168	1,1620	3,1585

4.8 Configurações de 765 kV

4.8.1 765CDV1

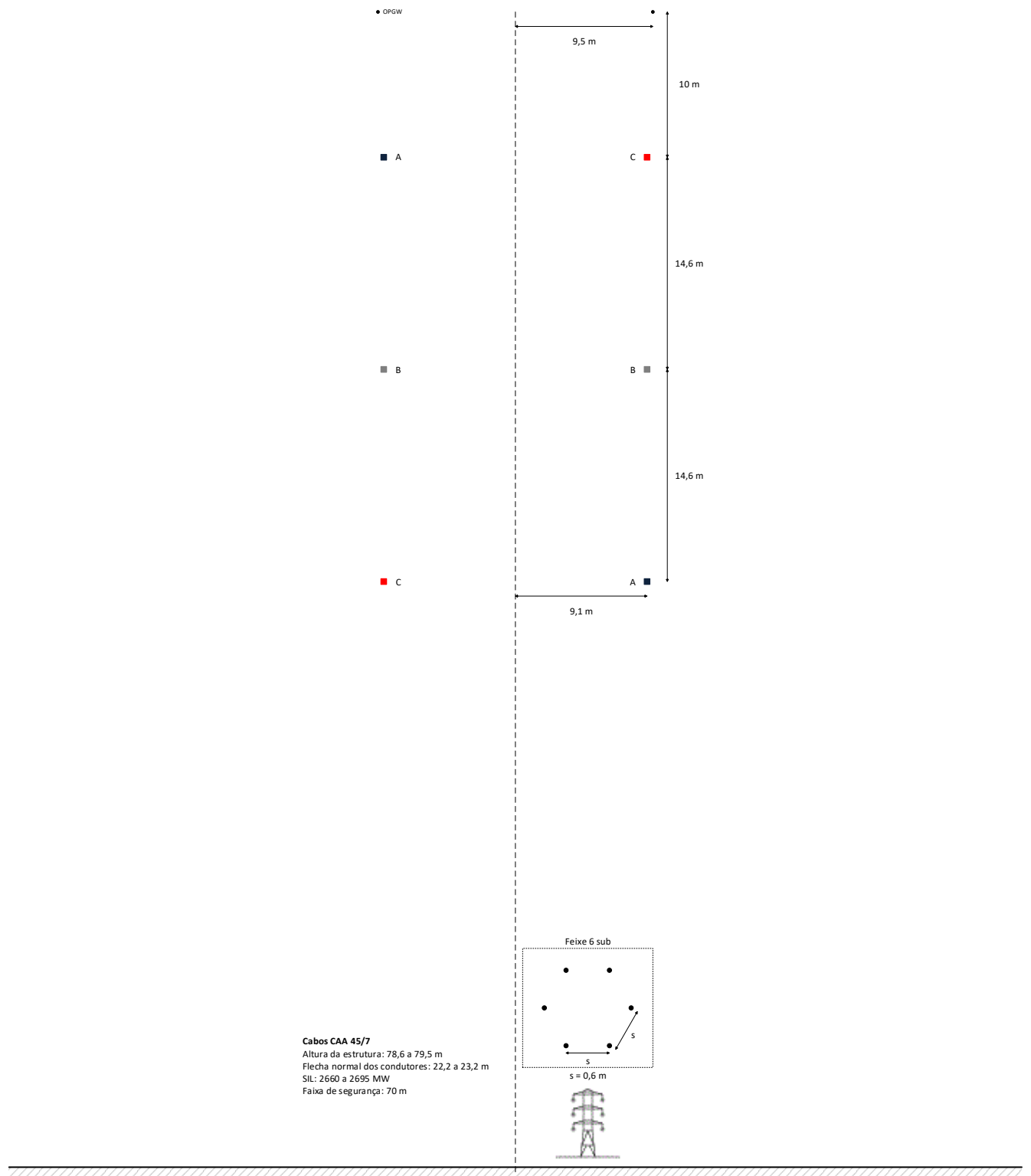


Figura 4-24 Configuração 765CDV1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Uma vez que uma solução como esta seria inédita no SIN, nas fases de otimização e detalhamento da LT ela deverá ser reavaliada antes de uma recomendação final. Portanto, notar que os dados apresentados podem sofrer alterações significativas.

Tabela 4-24 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 765CDV1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]	rm0 [Ω /km]	xm0 [Ω /km]	bm0 [μ S/km]
6 x Ruddy	900	4000	5000	0,0128	0,2844	5,8772	0,2774	1,1551	3,4805	0,2648	0,8158	-1,3465
6 x Rail	954	4000	5000	0,0121	0,2840	5,8822	0,2756	1,1566	3,4758	0,2638	0,8177	-1,3532
6 x Ortolan	1033	4000	5000	0,0112	0,2835	5,8923	0,2744	1,1568	3,4781	0,2634	0,8183	-1,3573
6 x Bluejay	1113	4000	5000	0,0105	0,2831	5,9028	0,2737	1,1564	3,4827	0,2634	0,8184	-1,3598
6 x Bunting	1193	4000	5000	0,0099	0,2827	5,9130	0,2731	1,1559	3,4878	0,2635	0,8182	-1,3616
6 x Bittern	1272	4000	5000	0,0093	0,2823	5,9222	0,2726	1,1555	3,4917	0,2635	0,8183	-1,3639
6 x Dipper	1351	4000	5000	0,0088	0,2818	5,9308	0,2721	1,1551	3,4955	0,2635	0,8183	-1,3659
6 x Bobolink	1431	4000	5000	0,0084	0,2815	5,9391	0,2716	1,1548	3,4988	0,2634	0,8184	-1,3682
6 x Nuthatch	1510	4000	5000	0,0081	0,2811	5,9460	0,2710	1,1548	3,5001	0,2632	0,8188	-1,3711
6 x Lapwing	1590	4000	5000	0,0077	0,2808	5,9535	0,2706	1,1545	3,5032	0,2632	0,8188	-1,3730

4.8.2 765CSH1

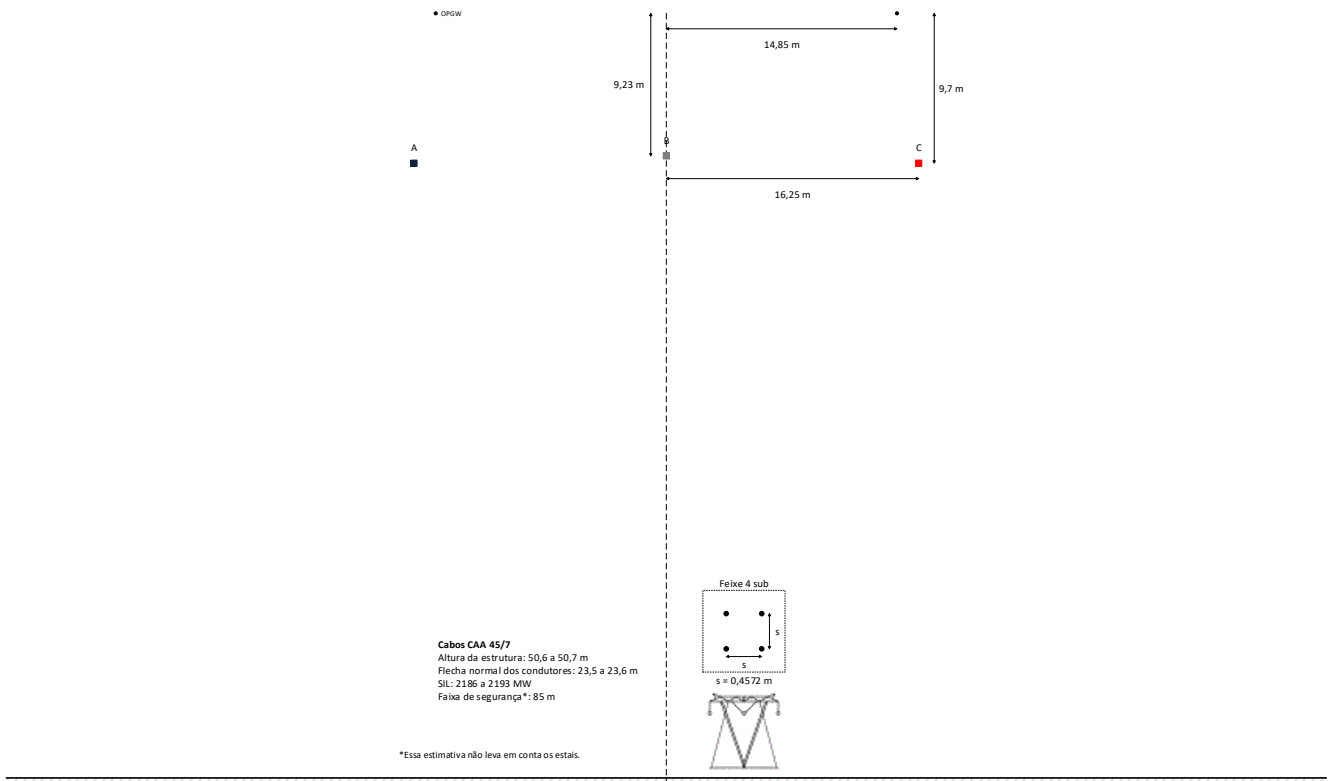


Figura 4-25 Configuração 765CSH1, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Esta configuração foi adotada originalmente no sistema de transmissão em CA de Itaipu. Desse modo, sugere-se o seu uso apenas em novos circuitos paralelos à essas instalações existentes, ou eventuais seccionamentos das mesmas. Notar que o efeito corona pode ser pronunciado, a depender da DRA e do cabo escolhido. Além disso, a relação entre as perdas por efeito Joule nos cabos para-raios e condutores pode ser superior a 5 %, limite estabelecido em [4].

Tabela 4-25 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 765CSH1

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω/km]	x1 [Ω/km]	b1 [μS/km]	r0 [Ω/km]	x0 [Ω/km]	b0 [μS/km]
4 x Bobolink	1431	4000	5000	0,0124	0,3446	4,8077	0,2983	1,1559	3,1489
4 x Nuthatch	1510	4000	5000	0,0119	0,3440	4,8144	0,2975	1,1558	3,1502
4 x Lapwing	1590	4000	5000	0,0113	0,3435	4,8219	0,2969	1,1553	3,1550

4.8.3 765CST2

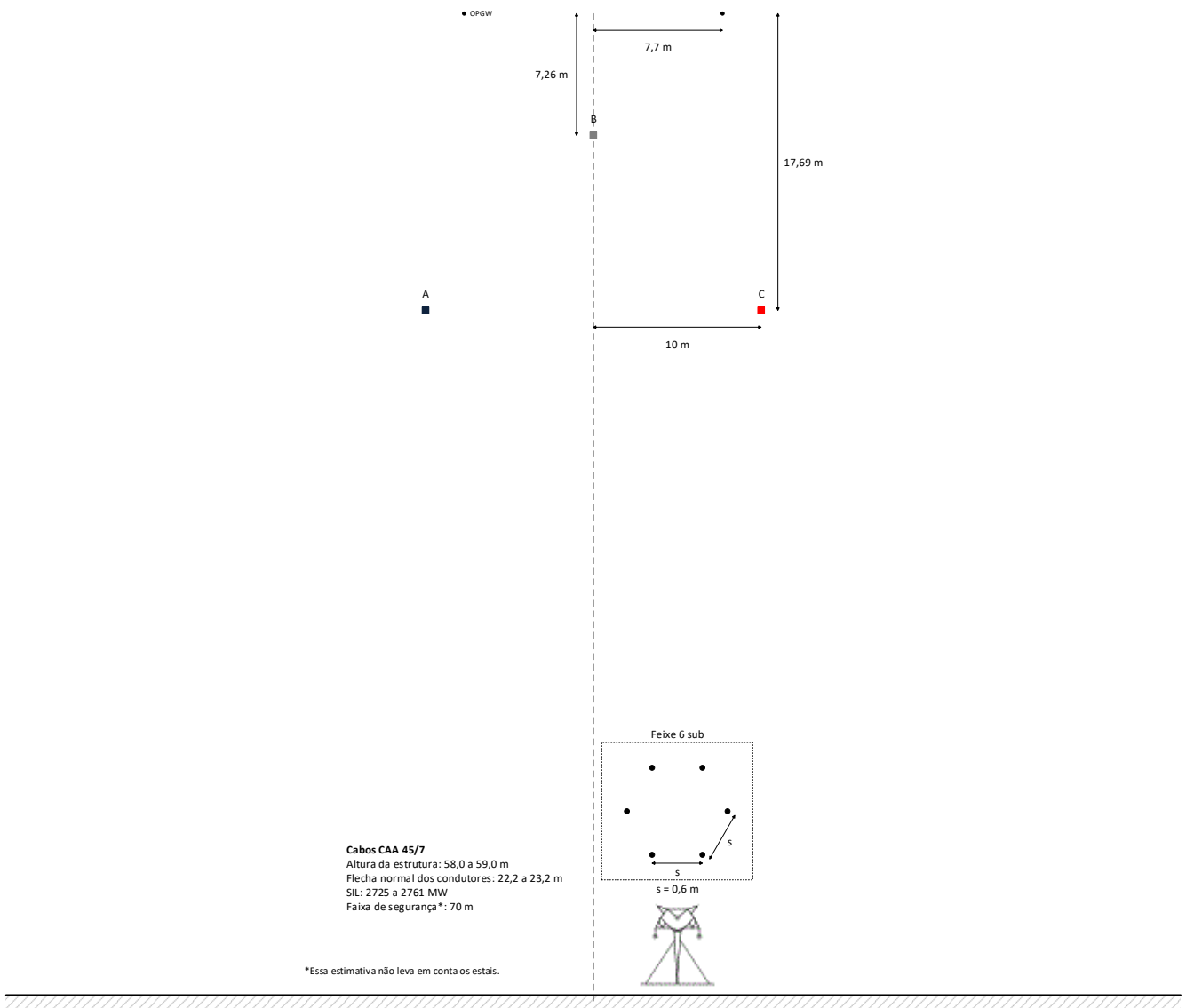


Figura 4-26 Configuração 765CST2, com geometria e silhueta típica, e resultados típicos de altura, flecha, SIL e faixa de segurança

Uma vez que uma solução como esta seria inédita no SIN, nas fases de otimização e detalhamento da LT ela deverá ser reavaliada antes de uma recomendação final. Portanto, notar que os dados apresentados podem sofrer alterações significativas.

Tabela 4-26 Parâmetros elétricos unitários e ampacidades para diferentes soluções da configuração 765CST2

Feixe/Cabo	Bitola [MCM]	Normal [A]	Emerg. [A]	r1 [Ω /km]	x1 [Ω /km]	b1 [μ S/km]	r0 [Ω /km]	x0 [Ω /km]	b0 [μ S/km]
6 x Ruddy	900	4000	5000	0,0125	0,2748	5,9571	0,2991	1,1330	3,2073
6 x Rail	954	4000	5000	0,0118	0,2744	5,9620	0,2970	1,1353	3,1908
6 x Ortolan	1033	4000	5000	0,0110	0,2739	5,9722	0,2956	1,1358	3,1888
6 x Bluejay	1113	4000	5000	0,0102	0,2734	5,9830	0,2948	1,1354	3,1926
6 x Bunting	1193	4000	5000	0,0096	0,2730	5,9933	0,2943	1,1348	3,1982
6 x Bittern	1272	4000	5000	0,0091	0,2726	6,0027	0,2937	1,1345	3,2011
6 x Dipper	1351	4000	5000	0,0086	0,2722	6,0115	0,2932	1,1340	3,2045
6 x Bobolink	1431	4000	5000	0,0082	0,2718	6,0199	0,2927	1,1338	3,2066
6 x Nuthatch	1510	4000	5000	0,0078	0,2714	6,0268	0,2921	1,1340	3,2048
6 x Lapwing	1590	4000	5000	0,0074	0,2711	6,0344	0,2917	1,1337	3,2072

5 REFERÊNCIAS

- [1] EPE, "EPE-DEE-DEA-NT-004/2020 - Diretrizes para a Elaboração dos Relatórios Técnicos para a Licitação de Novas Instalações da Rede Básica – Estrutura e Conteúdo dos Relatórios R1, R2, R3, R4 e R5," 2020.
- [2] ANEEL, "Leilões de Transmissão," [Online]. Available: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/empreendedores/leiloes>. [Acesso em 24 Junho 2022].
- [3] EPE, "EPE-DEE-NT-012/2018-rev0 - Definição de parâmetros iniciais para o planejamento de linhas de transmissão aéreas," 2018.
- [4] ONS, "Procedimentos de Rede - Submódulo 2.7 - Requisitos mínimos para linhas de transmissão - Revisão 2020.12," 2020.
- [5] K. O. Papailiou, *Overhead lines*, Cigré Green Books, 2017.
- [6] CEPEL, "ELEKTRA: Dimensionamento, Cálculo de Custos e Otimização das Linhas de Transmissão," [Online]. Available: <http://www.cepel.br/produtos/gestao-de-ativos/elektra/>. [Acesso em 24 Junho 2022].
- [7] ABNT, "NBR 5422 - Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica," 1985.
- [8] INMET, "Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010," [Online]. Available: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. [Acesso em 27 Dezembro 2021].
- [9] ANEEL, "Resolução Normativa ANEEL Nº 915," 2021.
- [10] P. R. Labegalini, J. A. Labegalini, R. D. Fuchs e M. T. de Almeida, *Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão - 2ª edição*, São Paulo, SP: Edgard Blucher Ltda, 1992.
- [11] Cigre, "The thermal behaviour of overhead conductors. Sections 1 and 2. WG 22.12," *ELECTRA*, nº ELT_144_3, 1992.
- [12] Cigre, "Thermal behaviour of overhead conductors. WG 22.12 - TECHNICAL BROCHURES nº 207," 2002.
- [13] ANEEL, "Resolução Normativa ANEEL Nº 906 - Módulo 4 – Prestação dos Serviços," 2020.
- [14] J. N. Hoffmann, M. Tonetti e M. A. de Souza, "Corona Visual em Cabos Encordoados - Revisão do Método de Cálculo e Aplicações Práticas," em *XXV SNTPEE*, Belo Horizonte - MG, 2019.
- [15] EPRI, *Transmission Line Reference Book: 345 kV and Above/Second Edition*, Palo Alto, CA, 1982.
- [16] H. A. Smolleck e J. P. Sims, "Guidelines for the selection and operation of bare ACSR conductors with regard to current-carrying capacity," *Electric Power Systems Research, Volume 5, Issue 3*, pp. 179-190, 1982.

6 ANEXOS

6.1 Anexo 1 – Dados dos Cabos

Na Tabela 6-1 constam alguns dados básicos dos cabos condutores considerados nesta NT. Estes valores constam no banco de dados do ELEKTRA e foram obtidos de [15]. Com relação às ampacidades, cumpre destacar que, a rigor, para se obter a capacidade total de um feixe de condutores, não basta multiplicar estes valores pelo número de subcondutores, sendo recomendado verificar as tabelas da Seção 4. Isso porque a distribuição de correntes nos feixes não é uniforme devido aos acoplamentos eletromagnéticos. Raciocínio similar pode ser aplicado à resistência de sequência positiva da LT, que em geral é maior do que o valor da resistência CA do cabo condutor, dividido pelo número de subcondutores do feixe. Neste caso, recomenda-se também verificar as tabelas da Seção 4.

Tabela 6-1 Dados dos cabos condutores considerados

Cabo	Bitola [MCM]	Formação	Normal [A]	Emerg. [A]	r_{in} [cm]	r_{ext} [cm]	R_{cc} a 25 °C [Ω/km]	R_{ca} a 50 °C [Ω/km]
Linnet	336	26/7	435	580	0,3365	0,9145	0,1736	0,1909
Ibis	397	26/7	485	645	0,3660	0,9945	0,1469	0,1617
Hawk	477	26/7	540	720	0,4015	1,0895	0,1224	0,1348
Dove	556	26/7	595	795	0,4330	1,1775	0,1048	0,1156
Squab	605	26/7	625	840	0,4520	1,2270	0,0965	0,1065
Grosbeak	636	26/7	640	865	0,4635	1,2575	0,0917	0,1012
Gannet	666	26/7	660	890	0,4750	1,2880	0,0876	0,0966
Starling	716	26/7	690	930	0,4915	1,3350	0,0815	0,0901
Drake	795	26/7	735	995	0,5180	1,4070	0,0733	0,0812
Tern	795	45/7	730	985	0,3380	1,3500	0,0734	0,0816
Ruddy	900	45/7	785	1065	0,3595	1,4365	0,0648	0,0723
Rail	954	45/7	810	1100	0,3695	1,4795	0,0612	0,0683
Ortolan	1033	45/7	850	1155	0,3850	1,5390	0,0565	0,0633
Bluejay	1113	45/7	890	1210	0,4000	1,5975	0,0524	0,0589
Bunting	1193	45/7	925	1265	0,4140	1,6535	0,0489	0,0551
Bittern	1272	45/7	960	1315	0,4255	1,7080	0,0459	0,0519
Dipper	1351	45/7	995	1365	0,4405	1,7600	0,0432	0,0490
Bobolink	1431	45/7	1030	1410	0,4535	1,8125	0,0408	0,0464
Nuthatch	1510	45/7	1060	1455	0,4650	1,8605	0,0387	0,0442
Lapwing	1590	45/7	1095	1505	0,4775	1,9100	0,0367	0,0421

O cabo para-raios convencional adotado possui um raio externo de 0,457 cm e R_{cc} a 25 °C de 4,1889 Ω/km . Este cabo é composto por 7 fios de aço galvanizado encordoado, EAR classe A. Já o cabo OPGW possui um raio externo de 0,665 cm e R_{cc} a 20 °C de 0,698 Ω/km . Este OPGW é composto por tubos de aço inoxidável e alumínio, cobertos por uma camada de 10 fios de aço galvanizado encordoado. Ambos os cabos para-raios constam no banco de dados do ELEKTRA.