

Submódulo 2.7

Requisitos mínimos para linhas de transmissão

Requisitos

Revisão	Motivo da revisão	Data de aprovação
2020.12	Resolução Normativa nº 903/2020	08/12/2020

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

ÍNDICE

1. OBJETIVO	4
2. REQUISITOS GERAIS	4
3. REQUISITOS ELÉTRICOS DE LINHA DE TRANSMISSÃO AÉREA	5
3.1. Capacidades de corrente dos condutores	5
3.2. Capacidade de corrente dos cabos para-raios e cadeias de isoladores de uma LTA-CA	5
3.3. Distâncias de segurança	6
3.4. Perda joule nos cabos.....	6
3.5. Tensão máxima operativa	6
3.6. Coordenação de isolamento	7
3.6.1. Geral	7
3.6.2. Isolamento para tensão máxima operativa	7
3.6.3. Isolamento para manobras de LTA-CA	7
3.6.4. Isolamento na ocorrência de curto-circuito ao longo de LTA-CC	8
3.6.5. Desempenho quanto a descargas atmosféricas	8
3.7. Emissão eletromagnética	8
3.7.1. Interferência	8
3.7.2. Corona visual	8
3.7.3. Radiointerferência	8
3.7.4. Ruído audível	8
3.7.5. Campos elétrico e magnético	9
3.8. Desequilíbrio de tensão de uma LTA-CA	9
3.9. Cruzamento entre LT	9
4. REQUISITOS MECÂNICOS DE LT AÉREA	10
4.1. Confiabilidade	10
4.2. Parâmetros de vento	10
4.3. Cargas mecânicas sobre os cabos.....	11
4.4. Cargas mecânicas sobre as estruturas	11
4.5. Fadiga mecânica dos cabos	11

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021
4.6. Fundações				12
5. REQUISITOS ELETROMECAÑNICOS DE LTA-CA OU LTA-CC				12
5.1. Descargas atmosféricas				12
5.2. Corrosão eletrolítica				12
5.3. Corrosão ambiental				13
6. REQUISITOS ELÉTRICOS DE LT SUBTERRÂNEA.....				13
6.1. Capacidade de corrente dos condutores				13
6.2. Capacidade de corrente das blindagens metálicas				14
6.3. Perdas na LTS.....				14
6.3.1. Perdas joule no condutor e na blindagem.....				14
6.3.2. Perda no dielétrico				14
6.4. Tensão máxima operativa				14
6.5. Coordenação de isolamento				15
6.5.1. Geral				15
6.5.2. Isolamento para tensão máxima operativa				15
6.5.3. Isolamento para manobras e descargas atmosféricas				15
6.6. Emissão eletromagnética				16
6.6.1. Campo magnético.....				16
6.7. Desequilíbrio de tensão.....				16
7. REQUISITOS MECÂNICOS DE LT SUBTERRÂNEA				16
7.1. Confiabilidade				16
7.2. Cargas mecânicas sobre os cabos.....				16
7.3. Cargas mecânicas nas estruturas de suporte dos terminais, nos dutos, nas caixas de passagem e nas caixas de emenda.....				17
7.4. Material de envoltória dos cabos.....				17
8. OUTROS REQUISITOS DE LT SUBTERRÂNEA				17
9. REFERÊNCIAS				17

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

1. OBJETIVO

1.1. Estabelecer requisitos mínimos de desempenho para as seguintes categorias de linha de transmissão (LT):

- (a) LT aérea em corrente alternada (LTA-CA) com classe de tensão entre 230 kV e 765 kV;
- (b) LT aérea em corrente contínua (LTA-CC) com classe de tensão entre ± 500 kV e ± 800 kV;
- (c) LT subterrânea em corrente alternada (LTS-CA) com classe de tensão entre 230 kV e 525 kV; e
- (d) LT composta por partes aérea e subterrânea em corrente alternada (LTAS-CA) com classe de tensão entre 230 kV e 525 kV.

1.1.1. As quais estão contidas nos seguintes subconjuntos:

- (a) integrantes ou que venham a integrar a Rede Básica;
- (b) destinadas a interligação internacional com conexão na Rede Básica; e
- (c) integrantes ou que venham a integrar as Demais Instalações de Transmissão (DIT) ou as instalações de transmissão de interesse exclusivo de centrais de geração para conexão compartilhada (ICG).

2. REQUISITOS GERAIS

2.1. Deve-se atender às prescrições das normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Caso essas normas não sejam aplicáveis, parcial ou integralmente, deve-se atender às prescrições das normas técnicas da *International Electrotechnical Commission – IEC*, *American National Standards Institute – ANSI*, *American Society for Testing and Materials – ASTM* ou *National Electrical Safety Code – NESC*, nessa ordem, a não ser que se indique expressamente de outra forma.

2.2. Os requisitos a serem atendidos por uma Função Transmissão Linha de Transmissão (FTLT) dizem respeito aos seus desempenhos sob o ponto de vista sistêmico, quantificáveis por meio dos indicadores de desempenho apresentados no Submódulo 9.7 – Indicadores de qualidade de energia elétrica da Rede Básica, enquanto que os requisitos a serem atendidos por uma LT dizem respeito aos seus desempenhos decorrentes das diretrizes adotadas nos projetos básico e executivo, quantificáveis por meio dos indicadores de desempenho apresentados no Submódulo 9.2 – Indicadores de desempenho de equipamentos e linhas de transmissão e das funções transmissão e geração.

2.2.1. As principais características que se aplicam a uma FTLT são:

- (a) desempenho sistêmico da LT caracterizado pelo resultado obtido em termos de fluxo de potência em regime normal e nas situações de contingência previamente consideradas. No caso de LT em corrente alternada, deve ser incluída na caracterização do desempenho a compensação reativa série e/ou paralela;
- (b) capacidade operativa de longa duração correspondente ao valor máximo de corrente da FTLT em condição normal de operação, sem que seja ultrapassado qualquer critério de projeto;
- (c) capacidade operativa de curta duração correspondente ao valor máximo de corrente da FTLT em condição de emergência, sem que seja ultrapassado qualquer critério de projeto; e
- (d) perda de potência ativa máxima na LT para uma dada condição operativa e definida pelo planejamento. Essa perda é função da resistência do condutor, do acoplamento com as demais fases

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

e com os cabos para-raios (em LTA-CA) ou com a blindagem metálica do cabo isolado (em LTS-CA), e das parcelas no isolante (em LTS-CA).

2.3. As LT integrantes ou que venham a integrar DIT ou ICG devem atender aos requisitos estabelecidos pela transmissora detentora da sua concessão e compatibilizados com os constantes do presente submódulo.

2.4. Caso critérios de operação ou planejamento assim o determinem, requisitos específicos podem ser incluídos nos documentos de licitação ou autorização de determinada FTLT, cuja LT é seu elemento principal.

3. REQUISITOS ELÉTRICOS DE LINHA DE TRANSMISSÃO AÉREA

3.1. Capacidades de corrente dos condutores

3.1.1. Uma LT aérea deve preservar as distâncias de segurança estabelecidas no item 3.3 deste submódulo para a circulação das correntes correspondentes às capacidades operativas de longa e curta duração da FTLT, o que é assegurado no projeto básico pela consideração da ocorrência simultânea das seguintes condições climáticas:

- (a) temperatura máxima média da região;
- (b) radiação solar máxima da região; e
- (c) brisa mínima prevista para a região, desde que não superior a um metro por segundo.

3.1.2. O dimensionamento das capacidades operativas de longa e curta duração de uma LTA-CC deve possibilitar a operação das unidades conversoras das estações retificadora e inversora em todos os modos de operação previstos no instrumento técnico dos documentos de outorga.

3.1.3. Em condições climáticas comprovadamente mais favoráveis do que as estabelecidas no item 3 deste submódulo, uma FTLT pode ser solicitada a operar com carregamento superior à capacidade operativa de longa ou curta duração, desde que sejam respeitadas as distâncias de segurança estabelecidas no item 3.3 deste submódulo.

3.1.4. Os acessórios, conexões e demais componentes que conduzem corrente devem ser dimensionados de forma a não criar restrições à operação da FTLT, incluindo as condições indicadas no item 3.1.3. deste submódulo. Devem ser atendidas também as prescrições das normas de dimensionamento e ensaios de ferragens de linhas de transmissão [1].

3.1.5. A FTLT deve ser projetada de forma a não apresentar óbices técnicos à instalação de monitoramento de distâncias de segurança, que pode vir a ser solicitada a qualquer tempo.

3.2. Capacidade de corrente dos cabos para-raios e cadeias de isoladores de uma LTA-CA

3.2.1. Nas condições climáticas estabelecidas no item 3.1.1 deste submódulo, os cabos para-raios – conectados ou não à malha de aterramento das subestações terminais e ao sistema de aterramento de cada estrutura – e as cadeias de isoladores devem ser capazes de suportar, sem danos, durante o período de concessão da FTLT, a circulação da corrente associada à ocorrência de curto-circuito monofásico franco em qualquer estrutura da LTA-CA por duração correspondente ao tempo de atuação da proteção de retaguarda.

3.2.2. Nos casos de seccionamento de LTA-CA para conexão de nova subestação, os cabos para-raios e as cadeias de isoladores dos novos trechos de linha entre o ponto de seccionamento e a nova subestação devem ser dimensionados conforme estabelecido no item 3.2. deste submódulo. Os cabos para-raios e as cadeias de isoladores, no entorno do ponto de seccionamento, devem ter sua capacidade de corrente verificada para a nova topologia da rede, considerando a contribuição de corrente de curto-circuito da nova subestação. Caso a verificação evidencie a superação de algum desses elementos, deve ser proposta uma nova

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

configuração de cabos para-raios e de cadeias de isoladores que atenda aos critérios de capacidade de corrente.

3.2.3. Em circunstâncias especiais, o dimensionamento do sistema de aterramento de uma FTLT pode levar em conta a distribuição da corrente de curto-circuito nos sistemas de aterramento de outras FTLT conectados à mesma malha de aterramento, desde que essas FTLT comprovadamente não sofram nenhum prejuízo.

3.3. Distâncias de segurança

3.3.1. Na condição operativa de longa duração da LTA-CA ou LTA-CC, as distâncias do condutor ao solo ou aos obstáculos devem ser iguais ou superiores às distâncias de segurança em condições normais de operação estabelecidas em norma [2].

3.3.2. Na condição operativa de curta duração da LTA-CA ou LTA-CC, as distâncias do condutor ao solo ou aos obstáculos devem ser iguais ou superiores às distâncias de segurança em condições de emergência estabelecidas em norma [2].

3.3.3. No caso de a norma [2] não estabelecer valores de distâncias de segurança para uma determinada classe de tensão de LTA-CA ou LTA-CC, as distâncias do condutor ao solo ou aos obstáculos devem ser determinadas segundo as prescrições contidas em [17].

3.4. Perda joule nos cabos

3.4.1. A perda joule nas LTA-CA e LTA-CC deve ser mantida dentro de limites aceitáveis por meio da utilização de cabos com resistência elétrica suficientemente reduzida.

3.4.2. O valor limite da resistência de sequência positiva de uma LTA-CA é específico para cada instalação e estabelecido no instrumento técnico dos documentos de outorga à frequência nominal de 60 Hz e a uma temperatura de referência, a partir de análise econômica baseada em estudos elétricos de longo prazo que levam em conta o efeito da resistência de todas as instalações de transmissão da Rede Básica.

3.4.3. O valor limite da resistência por polo de uma LTA-CC é específico para cada instalação e estabelecido no instrumento técnico dos documentos de outorga a uma temperatura de referência, a partir de análise econômica baseada em estudos elétricos de longo prazo e nas características e faixas de operação de componentes das conversoras.

3.4.4. A perda joule nos cabos para-raios de uma LTA-CA deve ser inferior a 5% (cinco por cento) das perdas nos cabos condutores para qualquer condição de operação.

3.5. Tensão máxima operativa

3.5.1. A tensão máxima operativa de uma LTA-CA ou LTA-CC em função da classe de tensão está informada na Tabela 1.

Tabela 1 – Tensão máxima operativa de uma LTA-CA ou LTA-CC

Tipo da LT	Classe de tensão (kV)	Tensão máxima operativa (kV)
LTA-CA	230	242
	345	362
	440	460
	500 ou 525	550
	765	800
LTA-CC	500	525

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021
	600		636	
	800		840	

3.6. Coordenação de isolamento

3.6.1. Geral

3.6.1.1. A coordenação de isolamento de uma LTA-CC ou LTA-CC – dimensionamento dos espaçamentos elétricos das estruturas da família de estruturas da LT – deve assegurar o atendimento aos requisitos estabelecidos nos itens 3.6.2, 3.6.3 e 3.6.4 deste submódulo.

3.6.1.2. A coordenação de isolamento de uma LTA-CA de circuito duplo deve ser feita adicionalmente de forma a minimizar os desligamentos dos dois circuitos provocados por um mesmo fenômeno ou causa.

3.6.2. Isolamento para tensão máxima operativa

3.6.2.1. O dimensionamento do isolamento para tensão máxima operativa de uma LTA-CA ou LTA-CC, referente às distâncias mínimas no suporte e à distância mínima entre condutores em suportes diferentes, deve ser feito considerando o balanço da cadeia de isoladores sob ação de vento com período de retorno de, no mínimo, 30 (trinta) anos.

3.6.2.2. A distância específica de escoamento da cadeia de isoladores deve ser determinada conforme prescrição de norma [3], em função do nível de poluição da região de implantação da LT, desde que não inferior a 14 mm/kV eficaz fase-fase para LTA-CA e 30 mm/kV polo-terra para LTA-CC.

3.6.2.3. Deve ser garantida a distância de segurança entre qualquer condutor da LTA-CA ou LTA-CC e o solo ou objetos situados na faixa de segurança, tanto para a condição sem vento quanto para a condição de balanço dos cabos e cadeias de isoladores devido à ação de vento com período de retorno de, no mínimo, 50 (cinquenta) anos. Nessa última condição, a distância de segurança deve ser também garantida:

- (a) ao longo de toda a LT, independentemente do comprimento do vão, mesmo que para tanto seja necessário adotar largura da faixa de segurança variável em função do comprimento do vão; e
- (b) para qualquer topologia de terreno na faixa de segurança, especialmente quando houver perfil lateral inclinado (em aclave).

3.6.3. Isolamento para manobras de LTA-CA

3.6.3.1. A sobretensão adotada no dimensionamento dos espaçamentos elétricos das estruturas deve ser, no mínimo, igual à maior das sobretensões indicadas nos estudos de transitórios eletromagnéticos da FTLT.

3.6.3.2. Os riscos de falha (fase-terra e fase-fase), por circuito, em manobras de energização e religamento de uma LTA-CA devem estar limitados aos valores da Tabela 2.

Tabela 2 – Risco de falha máximo, por circuito, em manobras de energização e religamento de LTA-CA

Manobra	Risco de falha máximo (adimensional)	
	Fase-terra	Fase-fase
Energização	10^{-3}	10^{-4}
Religamento	10^{-2}	10^{-3}

3.6.4. Isolamento na ocorrência de curto-circuito ao longo de LTA-CC

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

3.6.4.1. O risco de falha de isolamento de um polo-terra, devido à sobretensão resultante da ocorrência de curto-circuito para a terra no outro polo ao longo de uma LTA-CC, deve ser igual ou inferior a 10^{-3} .

3.6.5. Desempenho quanto a descargas atmosféricas

3.6.5.1. Uma LTA-CA ou LTA-CC deve dispor de, no mínimo, dois cabos para-raios, sendo um desses do tipo *Optical Ground Wire* (OPGW).

3.6.5.2. O número máximo de desligamentos de uma LTA-CA ou LTA-CC devido a falha de blindagem e total por descargas atmosféricas consta da Tabela 3.

Tabela 3 – Desempenhos de uma LT aérea frente a descargas atmosféricas

Tipo de LT	Classe de tensão [kV]	Número máximo de desligamentos de um circuito por 100 km por ano	
		Por falha de blindagem	Total
LTA-CA	≥ 345	10^{-2}	1
	230	10^{-2}	2
LTA-CC	Todas	10^{-2}	1

3.7. Emissão eletromagnética

3.7.1. Interferência

3.7.1.1. As perturbações produzidas pela LT-CC sobre instalações de terceiros, como por exemplo, em sistemas de comunicação, são de responsabilidade do agente de transmissão responsável pela LT-CC, que deve atender às normas pertinentes e prover solução para as perturbações identificadas.

3.7.2. Corona visual

3.7.2.1. Nas condições atmosféricas predominantes na região atravessada, uma LTA-CA ou LTA-CC, inclusive cabos, acessórios e ferragens das cadeias de isoladores, não deve apresentar corona visual à tensão máxima operativa em 90% do tempo.

3.7.3. Radiointerferência

3.7.3.1. A mediana no período de um ano da distribuição da relação sinal/ruído no limite da faixa de segurança de uma LTA-CA ou LTA-CC deve ser igual ou superior a 24 dB. O ruído deve ser calculado para a tensão máxima operativa da LT e o sinal adotado para o cálculo deve ser inferior ou igual a 66 dB acima de 1 μ V/metro a 1 MHz.

3.7.4. Ruído audível

3.7.4.1. O ruído audível no limite da faixa de segurança de uma LTA-CA à tensão máxima operativa deve ser inferior ou igual a 58 dBA em qualquer uma das seguintes condições não simultâneas:

- (a) durante chuva fina ($< 0,00148$ mm/min);
- (b) durante névoa de 4 (quatro) horas de duração; ou

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

(c) durante os primeiros 15 (quinze) minutos após a ocorrência de chuva.

3.7.4.2. O ruído audível no limite da faixa de segurança de uma LTA-CC à tensão máxima operativa deve ser inferior ou igual a 42 dBA, para tempo bom.

3.7.5. Campos elétrico e magnético

3.7.5.1. Os campos elétrico e magnético de uma LT devem atender às determinações da regulação [4].

3.8. Desequilíbrio de tensão de uma LTA-CA

3.8.1. Uma LTA-CA com comprimento superior a 100 km deve conter, no mínimo, um ciclo completo de transposição de fases.

3.8.2. Uma LTA-CA de circuito duplo deve conter, no mínimo, dois ciclos completos de transposição de fases, um em cada circuito, com sentidos opostos entre si.

3.8.3. Uma LTA-CA com comprimento igual ou inferior a 100 km, caso os desequilíbrios de tensão de sequências negativa ou zero sejam superiores a 1,5%, em vazio e a plena carga, deve conter, no mínimo, um ciclo completo de transposição de fases.

3.8.4. Quando de uma LTA-CA paralela a outra(s) LTA-CA, em toda a extensão ou parcialmente, na mesma faixa de passagem ou em faixas contíguas, caso os desequilíbrios de tensão de sequência negativa ou zero sejam superiores a 1,5%, em vazio e a plena carga, o projeto básico deve propor adequação da(s) instalação(ões) envolvida(s). O desequilíbrio de tensão deve ser calculado considerando a geometria e a sequência de fases de cada circuito, a(s) distância(s) entre eixos e o comprimento do(s) trecho(s) de linha mais acoplados.

3.8.5. Quando do seccionamento de LTA-CA existente, caso os desequilíbrios de tensão de sequência negativa ou zero nos terminais dos trechos de LT que passam a existir após o seccionamento sejam superiores a 1,5%, em vazio e a plena carga, o projeto básico deve propor adequação da(s) instalação(ões) envolvida(s). O desequilíbrio deve ser calculado considerando a geometria da estrutura típica, os tipos e extensão dos cabos (condutor e para-raios), as características do(s) ciclo(s) de transposição implantado(s) e, no caso de seccionamento de LTA-CA existente de circuito duplo ou contendo mais de um circuito de LTA-CA na mesma faixa ou em faixas contíguas, a influência de todos os circuitos acoplados.

3.9. Cruzamento entre LT

3.9.1. O cruzamento de uma LTA-CA ou LTA-CC em projeto com outra existente (em operação) ou projetada (em fase de implantação, com processo de outorga mais antigo e/ou projeto executivo concluído) deve ocorrer sob a existente ou projetada quando:

- (a) um circuito simples (em projeto) cruzar, num mesmo vão de travessia, mais de um circuito de LT existente ou projetada de classe de tensão igual ou superior à de projeto; ou
- (b) a LT em projeto tiver tensão nominal menor que a da existente ou projetada.

3.9.2. Cruzamentos entre LT devem ser evitados. Caso o cruzamento seja inevitável, o agente de transmissão deve identificar esses casos, tanto nas entradas/saídas das subestações quanto ao longo do traçado da LT, e informar no projeto básico as providências que serão tomadas no sentido de minimizar os riscos inerentes a esses cruzamentos, ficando a critério da ANEEL a aprovação dessas providências.

3.9.3. O agente de transmissão deve relacionar no projeto básico o(s) cruzamento(s) da LT em projeto com outra(s) LT, incluindo as seguintes informações mínimas da(s) LT cruzada(s):

- (a) identificação do nome e sentido das subestações terminais;

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

- (b) categoria (LTA-CA, LTA-CC, LTS-CA ou LTAS-CA);
- (c) tensão nominal;
- (d) número de circuitos; e
- (e) agente de transmissão responsável.

4. REQUISITOS MECÂNICOS DE LT AÉREA

4.1. Confiabilidade

4.1.1. O projeto mecânico de uma LT aérea deve ser desenvolvido segundo prescrições de norma [5].

4.1.2. O período de retorno do vento extremo, que caracteriza o nível de confiabilidade do projeto mecânico de uma LTA-CA ou LTA-CC, deve ser:

- (a) igual ou superior a 150 anos, que corresponde ao nível 2 da norma [5], para LT com tensão nominal igual ou inferior a 230 kV; e
- (b) igual ou superior a 250 anos, que corresponde a um nível intermediário entre os níveis 2 e 3 da norma [5], para LT com tensão nominal superior a 230 kV.

4.2. Parâmetros de vento

4.2.1. Os carregamentos oriundos da ação do vento nos componentes físicos, a serem utilizados no projeto mecânico da LTA-CA ou LTA-CC, devem ser estabelecidos a partir da caracterização probabilística das velocidades de vento da região, com tratamento para fenômenos meteorológicos severos, tais como sistemas frontais, tempestades, tornados, furacões etc.

4.2.2. Os parâmetros explicitados a seguir devem ser obtidos a partir de dados fornecidos por estações anemométricas que caracterizem a região atravessada pela LTA-CA ou LTA-CC:

- (a) média e coeficiente de variação das séries de velocidades máximas anuais de vento a 10 m de altura, com tempos de integração para o cálculo da média de 10 (dez) minutos (vento médio) e 3 (três) segundos (rajada);
- (b) velocidade máxima anual de vento a 10 m de altura, com período de retorno correspondente ao vento extremo, como definido no item 4.1.2. deste submódulo, e tempos de integração para o cálculo da média de 10 (dez) minutos e 3 (três) segundos. Se o número de anos da série de dados de velocidade não for suficientemente representativo estatisticamente, a velocidade máxima anual deve ser estimada adotando-se, no mínimo, coeficiente de variação compatível com as séries mais longas de dados de velocidades de ventos medidas na região;
- (c) coeficiente de rajada para a velocidade do vento a 10 m de altura, referenciado ao tempo de integração para o cálculo da média de 10 (dez) minutos; e
- (d) velocidade máxima anual de vento a 10 m de altura, com período de retorno de 50 anos e tempo de integração para o cálculo da média de 10 (dez) minutos.

4.2.3. No tratamento das velocidades de vento, para fins de dimensionamento, deve ser considerada a categoria de terreno, conforme definida em norma [5], que melhor se ajuste à topologia do corredor da LTA-CA ou LTA-CC.

4.3. Cargas mecânicas sobre os cabos

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

4.3.1. O cabo deve ser dimensionado para suportar três estados de tracionamento – básico, de tração normal e de referência – definidos a partir da combinação de condições climáticas e de envelhecimento do cabo.

4.3.1.1. No estado básico:

- (a) para condições de temperatura mínima, a tração axial máxima deve ser limitada a 33% da tração de ruptura do cabo;
- (b) para condições de vento com período de retorno de 50 (cinquenta) anos, a tração axial máxima deve ser limitada a 50% da tração de ruptura do cabo; e
- (c) para condições de vento extremo, como estabelecido no item 4.1.2. deste submódulo, a tração axial máxima deve ser limitada a 70% da tração de ruptura do cabo.

4.3.1.2. No estado de tração normal – *Everyday stress* (EDS) – :

- (a) no assentamento final, à temperatura média, sem vento, o nível de tracionamento médio dos cabos deve atender ao prescrito em norma [2], bem como atender aos limites estabelecidos no item 4.3.1.1. deste submódulo; e
- (b) o tracionamento médio dos cabos deve ser compatível com seu desempenho mecânico no que diz respeito à fadiga ao longo da vida útil da LTA-CA ou LTA-CC.

4.3.1.3. No estado de referência, a distância de segurança do condutor ao solo (*clearance*) deve ser verificada sem considerar a pressão de vento atuante.

4.4. Cargas mecânicas sobre as estruturas

4.4.1. O projeto mecânico de uma LTA-CA ou LTA-CC deve ser desenvolvido segundo prescrição de norma [5]. Além das hipóteses previstas em [5], é obrigatória a introdução de hipóteses de carregamento que reflitam tempestades do tipo tormentas elétricas. Devem ser previstas necessariamente as cargas a que as estruturas estarão submetidas nas condições mais desfavoráveis de montagem e manutenção, inclusive em linha viva.

4.4.2. Para o caso de LTA-CA ou LTA-CC construída com estruturas metálicas em treliça, as cantoneiras de aço-carbono ou microligas laminadas a quente devem obedecer aos requisitos de segurança estabelecidos [6].

4.5. Fadiga mecânica dos cabos

4.5.1. Deve ser analisado e, eventualmente, previsto o desenvolvimento e a aplicação de dispositivos de amortecimento das vibrações eólicas e de limitação das oscilações de subvão, de modo a garantir que os cabos condutores e para-raios não venham a sofrer danos por fadiga ao longo da vida útil da LT. Esses dispositivos devem ser submetidos aos ensaios prescritos em norma [7] e nos documentos de especificação técnica para fornecimento, que demonstrem sua capacidade de amortecimento das vibrações eólicas e sua resistência à fadiga, sem perda de suas características de amortecimento e sem causar danos aos cabos.

4.6. Fundações

4.6.1. No projeto das fundações, para atender ao critério de coordenação de falha, as solicitações transmitidas pela estrutura às fundações devem ser majoradas pelo fator mínimo 1,10. Essas solicitações, calculadas a partir das cargas de projeto da estrutura, considerando suas condições particulares de aplicação – vão gravante, vão de vento, ângulo de deflexão, fim de linha e altura da estrutura – passam a ser consideradas cargas de projeto das fundações.

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

4.6.2. As fundações devem ser projetadas estrutural e geotécnicamente de forma a adequar todos os esforços resultantes de cada estrutura às condições específicas do solo.

4.6.3. As propriedades físicas e mecânicas do solo devem ser determinadas de modo a retratar com precisão os parâmetros geomecânicos do solo, o que deve ser feito a partir das seguintes etapas:

- (a) estudo e análise fisiográfica preliminar do traçado da LTA-CA ou LTA-CC, com a consequente elaboração do plano de investigação geotécnica;
- (b) estabelecimento dos parâmetros geomecânicos a partir do reconhecimento do subsolo, com a caracterização geológica e geotécnica do terreno, qualitativa e quantitativamente; e
- (c) parecer geotécnico com a elaboração de diretrizes técnicas e recomendações para o projeto das fundações.

4.6.3.1. No cálculo das fundações, devem ser considerados os aspectos regionais geomorfológicos que influenciem o estado do solo, seja no aspecto de sensibilidade, de expansibilidade e colapsividade, levando-se em conta a sazonalidade.

4.6.3.2. A definição do tipo de fundação, bem como o seu dimensionamento estrutural e geotécnico, deve considerar os limites de ruptura e deformabilidade para a capacidade de suporte do solo à compressão, ao arrancamento e aos esforços horizontais, valendo-se de métodos de cálculo incontestáveis e consagrados na engenharia geotécnica.

5. REQUISITOS ELETROMECÂNICOS DE LTA-CA OU LTA-CC

5.1. Descargas atmosféricas

5.1.1. Os cabos para-raios de qualquer tipo e formação devem ter desempenho mecânico frente a descargas atmosféricas igual ou superior ao do cabo de aço galvanizado EAR de diâmetro 3/8".

5.1.2. Todos os elementos sujeitos a descargas atmosféricas diretas da superestrutura de suporte dos cabos condutores e cabos para-raios, incluindo as armações flexíveis de estruturas tipo *Cross-Rope*, *Trapézio* ou *Chainette*, não devem sofrer redução da suportabilidade mecânica original após a ocorrência de descarga atmosférica. As cordoalhas de estruturas estaiadas monomastro ou V protegidas por cabos para-raios estão isentas desse requisito.

5.2. Corrosão eletrolítica

5.2.1. Devem ser mantidos a estabilidade estrutural dos suportes e o bom funcionamento do sistema de aterramento ao longo da vida útil da LT, no sentido de mitigar os efeitos relacionados à corrosão em elementos da LT em contato com o solo.

5.3. Corrosão ambiental

5.3.1. Todos os componentes da LTA-CA ou LTA-CC devem ter sua classe de galvanização compatível com a agressividade do meio ambiente, particularmente, em zonas litorâneas e industriais.

6. REQUISITOS ELÉTRICOS DE LT SUBTERRÂNEA

6.1. Capacidade de corrente dos condutores

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

6.1.1. Uma LTS-CA deve ser projetada de acordo com as prescrições de norma [8][9], observados os limites de temperatura no condutor indicados em norma [10], de forma a preservar em operação as condições de segurança nelas estabelecidas. O projeto básico deve considerar a circulação das correntes correspondentes às capacidades operativas de longa e de curta duração da FTLT e a ocorrência simultânea das seguintes condições:

- (a) curva de carga cíclica diária e fator de carga, não inferior a 80%, típicos da instalação;
- (b) máxima temperatura do solo da região;
- (c) média das máximas temperaturas ambientes da região;
- (d) resistividade térmica do *backfill* seco igual ou inferior a $1,2 \text{ }^{\circ}\text{C.m.W}^{-1}$;
- (e) máxima resistividade térmica do solo da região;
- (f) proximidade de outros circuitos operando simultaneamente; e
- (g) máxima tensão operativa do sistema.

6.1.2. Deve ser calculada e informada no projeto básico a capacidade de corrente temporária da LTS-CA, que corresponde ao valor de corrente máxima da FTLT para um período curto de tempo, conforme metodologia estabelecida em [9]. Essa capacidade de corrente está relacionada com a inércia térmica do equivalente solo/material de envoltória (*backfill*).

6.1.3. Na operação em regimes de longa duração ou temporário, a temperatura na superfície do condutor deve ser igual ou inferior à temperatura máxima admissível do isolante para a condição normal de operação, conforme estabelecido na norma [10].

6.1.4. Na operação em regime de curta duração, a temperatura na superfície do condutor deve ser igual ou inferior à temperatura máxima admissível do isolante para as condições de emergência, conforme estabelecido na norma [10].

6.1.5. A capacidade operativa de longa duração do trecho subterrâneo de LTAS-CA deve ser igual à capacidade operativa de curta duração do trecho aéreo da mesma, nas condições estabelecidas no item 6 deste submódulo.

6.1.6. Em condições climáticas comprovadamente mais favoráveis do que as estabelecidas no item 6 deste submódulo, a FTLT pode ser solicitada a operar com carregamento superior à capacidade operativa de longa ou curta duração.

6.1.7. O projeto básico de uma LTS-CA deve prever a instalação de sistema de monitoramento em tempo real de temperatura e de estimação da capacidade de corrente. Esse sistema deve monitorar, pelo menos, a fase mais desfavorável em condições de troca de calor. O agente de transmissão deve informar a capacidade temporária da LTS-CA, em tempo real, sempre que solicitado pelo ONS.

6.1.8. O sistema de estimação da capacidade de corrente deve fornecer, pelo menos, as seguintes informações: corrente temporária máxima para uma duração pré-estabelecida, duração para uma corrente temporária pré-estabelecida e correntes máximas em regime de longa e curta duração para as condições em tempo real.

6.1.9. Para LTS-CA que contém cabos isolados com seção transversal do condutor igual ou superior a 800 mm^2 , deve-se utilizar sistemas especiais de aterramento e conexão das blindagens metálicas tais como *cross bonding* ou *single point bonding*, conforme definidos na referência [15], para redução de perdas e dimensionamento ótimo da seção transversal do condutor.

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

6.1.10. Os acessórios, conexões e demais componentes que conduzem corrente devem ser dimensionados de forma a não criar restrição à operação da FTLT, incluindo as condições indicadas no item 6.1.8. deste submódulo.

6.1.11. O dimensionamento da seção do condutor e o cálculo das perdas no dielétrico devem ser feitos com base na tensão máxima operativa.

6.2. Capacidade de corrente das blindagens metálicas

6.2.1. Nas condições estabelecidas no item 6 deste submódulo, as blindagens metálicas – conectadas ou não à malha de aterramento das subestações terminais e ao sistema de aterramento de cada caixa de emenda – devem ser capazes de suportar, sem danos, durante o período de concessão da FTLT, a circulação da corrente associada à ocorrência de curto-circuito monofásico franco em qualquer ponto da LTS-CA por duração correspondente ao tempo de atuação da proteção de retaguarda. Para o dimensionamento das blindagens, devem ser observadas as prescrições de norma [11].

6.3. Perdas na LTS

6.3.1. Perdas joule no condutor e na blindagem

6.3.1.1. As perdas joule no condutor e na blindagem devem ser mantidas dentro de limites aceitáveis por meio da utilização de condutor e blindagem com resistência elétrica suficientemente reduzida.

6.3.1.2. As perdas nas blindagens devem ser reduzidas através da utilização de sistemas de aterramento especiais conforme mencionado no item 6.1.9. deste submódulo.

6.3.2. Perda no dielétrico

6.3.2.1. A perda no dielétrico deve ser calculada com base na tensão máxima operativa do sistema.

6.3.2.2. Devem ser empregados isolantes que apresentem perda dielétrica adequada para cada classe de tensão.

6.4. Tensão máxima operativa

6.4.1. A tensão máxima operativa de uma LTS-CA deve estar limitada aos valores descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Tensão máxima operativa de uma LTS-CA

Classe de tensão (kV)	Tensão máxima operativa (kV)
230	242
345	362
440	460
500 ou 525	550

6.5. Coordenação de isolamento

6.5.1. Geral

6.5.1.1. O agente de transmissão deve demonstrar que o dimensionamento da isolação dos cabos de potência foi feito de forma a assegurar o atendimento dos requisitos estabelecidos nos itens 6.5.2 e 6.5.3 deste submódulo. Adicionalmente, no caso específico de LTS-CA de circuito duplo, a coordenação de

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

isolamento dessa LTS-CA deve ser feita de forma a não haver o desligamento dos dois circuitos provocados por um mesmo fenômeno ou causa.

6.5.2. Isolamento para tensão máxima operativa

6.5.2.1. O dimensionamento do isolamento para tensão máxima operativa de uma LTS-CA, referente à espessura mínima da camada de isolamento dos cabos, deve obedecer as prescrições de norma [12] para cabos extrudados, conforme valores constantes da Tabela 5.

Tabela 5 – Limites de solicitação e espessura da isolamento para cabos extrudados [12]

Classe de tensão (kV)	Seção do condutor (mm ²)	Campo elétrico limite (kV/mm)	Espessura da isolamento (mm)
138	400 – 2.000	8	18
230	500 – 2.500	11	23
345	500 – 2.500	14	26
500 ou 525	NE	NE	NE

NE – não especificado.

6.5.3. Isolamento para manobras e descargas atmosféricas

6.5.3.1. O dimensionamento do isolamento às descargas atmosféricas e manobras, referente à espessura mínima da camada de isolamento dos cabos, deve considerar sobretensões limitadas às máximas indicadas na Tabela 6, conforme prescrição de norma [16].

Tabela 6 – Níveis máximos das sobretensões atmosféricas e de manobra para teste de cabos isolados CA, conforme [16]

Classe de tensão (kV)	Sobretensões máximas (kV)	
	Descargas atmosféricas	Manobra
230	1.050	NE
345	1.175	950
500 ou 525	1.550	1.175

NE – não especificado.

6.5.3.2. O agente de transmissão deve verificar a necessidade da instalação de dispositivo para-raios nas extremidades da LTS-CA para proteção dos cabos isolados contra sobretensões devidas a descargas atmosféricas e manobras.

6.5.3.3. Não é recomendado o religamento de uma LTS-CA, uma vez que as falhas nesse tipo de instalação são, em geral, permanentes. Em LTAS-CA, o religamento deve ser mantido se o trecho aéreo for predominante em extensão, no caso de novo empreendimento ou se esse recurso operativo já for previsto na LTA-CA a ser convertida em LTAS.

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

6.5.3.4. No caso de se permitir o religamento em LTAS-CA, deve ser avaliado o tempo de retardo do religamento.

6.6. Emissão eletromagnética

6.6.1. Campo magnético

6.6.1.1. Na avaliação do campo magnético de uma LTS-CA, devem ser atendidas as determinações da regulação em vigor [4] considerando os limites para o público em geral.

6.7. Desequilíbrio de tensão

6.7.1. Uma LTS-CA de circuito simples com disposição de cabos diferente do trifólio e comprimento superior a 1.000 m deve conter um ciclo completo de transposição de fases.

6.7.2. Uma LTS-CA de circuito simples com disposição de cabos diferente do trifólio e comprimento igual ou inferior a 1.000 m, caso os desequilíbrios de tensão de sequência negativa ou zero sejam superiores a 1,5%, em vazio e a plena carga, deve conter um ciclo completo de transposição de fases.

6.7.3. Nos casos de LTS-CA envolvendo mais de um circuito paralelo na mesma rota, deve-se considerar na simulação dos desequilíbrios de tensão a influência mútua entre circuitos.

6.7.4. Os requisitos dos itens 6.7. e 6.7.2. deste submódulo devem ser atendidos também nas instalações de LTS-CA que preveem cabo reserva.

6.7.5. Os desequilíbrios de tensão de sequências negativa e zero de LTAS-CA devem estar limitados a 1,5%, em vazio e a plena carga.

7. REQUISITOS MECÂNICOS DE LT SUBTERRÂNEA

7.1. Confiabilidade

7.1.1. O projeto mecânico da LTS-CA deve seguir as recomendações contidas em publicação [13] e em norma [14].

7.2. Cargas mecânicas sobre os cabos

7.2.1. Os cabos, acessórios e ferragens de fixação devem ser dimensionados para suportar as tensões mecânicas decorrentes da dilatação e retração do condutor provocadas pela variação de temperatura durante a operação normal da LTS-CA e na ocorrência de curto-circuito.

7.3. Cargas mecânicas nas estruturas de suporte dos terminais, nos dutos, nas caixas de passagem e nas caixas de emenda

7.3.1. O dimensionamento das estruturas de suporte dos terminais, dutos, caixas de passagem e caixas de emenda deve prever, necessariamente, as cargas nas condições mais desfavoráveis de montagem e manutenção.

7.4. Material de envoltória dos cabos

7.4.1. A especificação do material de envoltória (*backfill*) dos cabos e de preenchimento das valas deve conter, além da resistividade térmica em função da umidade, todos os dados físicos do material, tais como: tipo de material, granulometria, densidade após compactação, grau de umidade para compactação e dimensões da envoltória.

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para linhas de transmissão	2.7	Requisitos	2020.12	01/01/2021

8. OUTROS REQUISITOS DE LT SUBTERRÂNEA

- 8.1. Uma LTS deve ter pelo menos um cabo de fibra ótica instalado ao longo da sua rota.
- 8.2. Os cabos isolados devem possuir camadas e materiais que impeçam a penetração e migração de umidade no seu interior.
- 8.3. Nas regiões onde existe a presença de térmitas (cupins), os cabos isolados devem ter capa externa que previna e evite a sua perfuração por esses insetos e os possíveis danos associados à corrosão da blindagem metálica e à isolação com a penetração de umidade.

9. REFERÊNCIAS

- [1] ABNT. Norma Técnica ABNT NBR 7095.
- [2] ABNT. Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. ABNT NBR 5422.
- [3] IEC. *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions*. IEC 60815.
- [4] ANEEL. Resolução Normativa ANEEL nº 398, de 23 de março de 2010.
- [5] IEC. *Design criteria of overhead transmission lines*. IEC 60826.
- [6] Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria INMETRO nº 178, 18 de julho de 2006.
- [7] IEC. *Overhead lines – Requirements and tests for Stockbridge type aeolian vibration dampers*. IEC 61897.
- [8] IEC. *Electric cables - Calculation of the current rating - Part 1-1:Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses - General*. IEC 60287-1-1, 2006+A1:2014.
- [9] IEC. *Electric cables – Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables. Part 2*. IEC 60853-2.
- [10] ICEA. *Extruded Insulation Power Cables Rated Above 46 Through 500 kV*. ICEA S-108-720-2018.
- [11] IEC. *Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic effects*. IEC 60949.
- [12] *Association of Edison Illuminating Companies – AEIC. Specifications for Extruded Insulation Power Cables and Their Accessories Rated above 46 kV through 345 kV*. AEIC CS9 2nd Edition, 2015.
- [13] AEIC. *Underground Extruded Power Cable Pulling Guide*. AEIC CG5 3rd Edition, 2015.
- [14] IEC. *Cable Cleats for Electrical Installations*. IEC 61914.
- [15] Cigré. *Statistics of AC underground cables in power networks (Apêndice C). Technical Brochure Cigré nº 338*.
- [16] IEC. *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*. IEC 62067.
- [17] IEEE Standards Association. *National Electrical Safety Code*. NESC.