

NORMA
BRASILEIRA

ABNT NBR
6939

Segunda edição
16.10.2018

Coordenação do isolamento — Procedimento

Insulation co-ordination — Procedure



ICS 29.080.01

ISBN 978-85-07-07715-2



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 6939:2018
31 páginas

© ABNT 2018

ABNT NBR 6939:2018



© ABNT 2018

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

abnt@abnt.org.br

www.abnt.org.br

Sumário	Página
Prefácio	v
1 Escopo	1
2 Referências normativas	1
3 Termos e definições	2
4 Símbolos e abreviaturas	9
4.1 Geral	9
4.2 Índice	9
4.3 Símbolos	9
4.4 Abreviações	10
5 Procedimentos para coordenação do isolamento	11
5.1 Delineamento geral do procedimento	11
5.2 Determinação das sobretensões representativas U_{rp}	13
5.3 Determinação das tensões suportáveis de coordenação U_{CW}	14
5.4 Determinação das tensões suportáveis especificadas U_{rw}	15
5.5 Seleção do nível de isolamento nominal	15
5.6 Lista de tensões suportáveis nominais normalizadas de frequência fundamental de curta duração	16
5.7 Lista de tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso	16
5.8 Faixas para a tensão máxima do equipamento	17
5.9 Condições ambientais	17
5.9.1 Condições ambientais normais	17
5.9.2 Condições atmosféricas de referência normalizadas	17
5.10 Seleção dos níveis de isolamento normalizados	17
5.11 Base para a seleção dos níveis de isolamento normalizados	21
5.11.1 Geral	21
5.11.2 Tensão suportável nominal normalizada de impulso de manobra	22
5.11.3 Tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico	22
6 Requisitos para ensaios normalizados de tensão suportável	23
6.1 Requisitos gerais	23
6.2 Ensaio normalizado de tensão suportável de frequência fundamental de curta duração	23
6.3 Ensaio normalizado de tensão suportável de impulso	24
6.4 Situação alternativa de ensaio	25
6.5 Ensaios normalizados de tensão suportável para isolação fase-fase e longitudinal, para equipamentos na faixa 1	25
6.5.1 Ensaios de frequência fundamental	25
6.5.2 Ensaios de impulso atmosférico da isolação fase-fase ou longitudinal	26
6.6 Ensaios normalizados de tensão suportável para isolação fase-fase e longitudinal, para equipamentos na faixa 2	26
Anexo A (normativo) Espaçamentos em ar para assegurar a tensão suportável de impulso especificada para uma instalação	27

ABNT NBR 6939:2018

A.1	Geral	27
A.2	Faixa 1	28
A.3	Faixa 2	29
Anexo B	(informativo) Níveis de isolamento nominais na faixa de tensões $1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$, para tensões máximas do equipamento U_m não normalizadas pela IEC, baseados na prática usual em alguns países	31

Figura

Figura 1	– Fluxograma para a determinação do nível de isolamento nominal ou normalizado ...	12
-----------------	---	-----------

Tabelas

Tabela 1	– Classes e formas de onda normalizadas das tensões ou sobretensões, ensaios normalizados de tensão suportável	13
Tabela 2	– Níveis de isolamento normalizados para a faixa 1 ($1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$)	19
Tabela 3	– Níveis de isolamento normalizados para a faixa 2 ($U_m > 245 \text{ kV}$)	20
Tabela A.1	– Correlação entre as tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso atmosférico e espaçamentos mínimos em ar	28
Tabela A.2	– Correlação entre as tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso de manobra e espaçamentos mínimos fase-terra em ar	30
Tabela A.3	– Correlação entre as tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso de manobra e espaçamentos mínimos fase-fase em ar	30
Tabela B.1	– Níveis de isolamento nominais na faixa de tensões $1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$, para tensões máximas do equipamento U_m não normalizadas pela IEC, baseados na prática usual em alguns países	31

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Ressalta-se que Normas Brasileiras podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar outras datas para exigência dos requisitos desta Norma.

A ABNT NBR 6939 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-003), pela Comissão de Estudo de Coordenação do Isolamento em Sistemas de Alta Tensão (CE-003:028.001). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 07, de 27.07.2018 a 24.09.2018.

Esta Norma é baseada na IEC 60071-1:2011, Ed 8.1.

Esta segunda edição cancela e substitui a edição anterior (ABNT NBR 6939:2000), a qual foi tecnicamente revisada.

O Escopo em inglês desta Norma Brasileira é o seguinte:

Scope

This Standard applies to three-phase a.c. systems having a highest voltage for equipment above 1 kV. It specifies the procedure for the selection of the rated withstand voltages for the phase-to-earth, phase-to-phase and longitudinal insulation of the equipment and the installations of these systems. It also gives the lists of the standard withstand voltages from which the rated withstand voltages should be selected.

This Standard recommends that the selected withstand voltages should be associated with the highest voltage for equipment. This association is for insulation co-ordination purposes only. The requirements for human safety are not covered by this Standard. Although the principles of this standard also apply to transmission line insulation, the values of their withstand voltages may be different from the standard rated withstand voltages.



Coordenação do isolamento — Procedimento

1 Escopo

Esta Norma se aplica aos sistemas elétricos de corrente alternada, trifásicos, nos quais a tensão máxima dos equipamentos é superior a 1 kV.

Esta Norma especifica o procedimento para escolher as tensões suportáveis normalizadas para isolação fase-terra, isolação fase-fase e isolação longitudinal dos equipamentos e instalações utilizados nestes sistemas. Apresenta, também, listas de valores normalizados entre os quais as tensões suportáveis nominais devem ser escolhidas.

Esta Norma recomenda que as tensões suportáveis escolhidas sejam associadas à tensão máxima dos equipamentos. Esta associação é destinada somente a fins de coordenação do isolamento.

As prescrições referentes às regras de segurança para o ser humano não são cobertas por esta Norma.

Os princípios utilizados nesta Norma se aplicam também às isolações das linhas de transmissão, porém os valores das suas tensões suportáveis podem ser diferentes das tensões suportáveis nominais normalizadas.

NOTA Todas as regras de coordenação do isolamento apresentadas nesta Norma são justificadas, em detalhes, na ABNT NBR 8186, em particular, no que concerne à associação das tensões suportáveis nominais normalizadas com a tensão máxima dos equipamentos. Quando mais de um conjunto de tensões suportáveis nominais normalizadas é associado a uma mesma tensão máxima dos equipamentos, é dada uma indicação para a seleção do conjunto mais apropriado.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 5456, *Eletricidade geral – Terminologia*

ABNT NBR 8186:2011, *Guia de aplicação de coordenação de isolamento*

ABNT NBR 10621, *Isoladores utilizados em sistemas de alta-tensão em corrente alternada – Ensaios de poluição artificial*

ABNT NBR 16050, *Para-raios de resistor não linear de óxido metálico sem centelhadores, para circuitos de potência de corrente alternada*

ABNT NBR IEC 60060-1, *Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão – Parte 1: Definições gerais e requisitos de ensaios*

IEC 60071-1, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

ABNT NBR 6939:2018

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições da ABNT NBR 5456 e os seguintes.

3.1

classificação das tensões e sobretensões

subdivisão de tensão e sobretensão, de acordo com a forma e a duração, conforme 3.1.1 a 3.1.4 (ver a Tabela 1)

3.1.1

sobretensão combinada

duas componentes de tensão simultaneamente aplicadas entre cada um dos terminais de fase de uma isolação fase-fase e a terra ou de uma isolação longitudinal e a terra, sendo classificada pela componente de maior valor de crista (temporária, frente lenta, frente rápida ou frente muito rápida)

3.1.2

sobretensão temporária

TOV

sobretensão de frequência fundamental, de duração relativamente longa

NOTA A sobretensão pode ser não amortecida ou fracamente amortecida. Em alguns casos sua frequência pode ser várias vezes menor ou maior do que a frequência fundamental.

3.1.3

sobretensão transitória

sobretensão de curta duração, de alguns milissegundos ou menos, oscilatória ou não oscilatória, em geral fortemente amortecida

NOTA Sobretensões transitórias podem ser seguidas imediatamente por sobretensões temporárias. Em tais casos as duas sobretensões são consideradas eventos separados.

As sobretensões transitórias são classificadas em três tipos, tendo as seguintes definições:

- **sobretensões de frente lenta (SFO):** sobretensão transitória, usualmente unidirecional, com tempo até a crista tal que $20 \mu\text{s} < T_{cr} \leq 5\,000 \mu\text{s}$, e tempo até o meio valor (na cauda) $T_2 \leq 20 \mu\text{s}$;
- **sobretensões de frente rápida (FFO):** sobretensão transitória, usualmente unidirecional, com tempo de frente tal que $0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$, e tempo até o meio valor (na cauda) $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$;
- **sobretensões de frente muito rápida (VFFO):** sobretensão transitória, usualmente unidirecional, com tempo de frente tal que $T_f \leq 0,1 \mu\text{s}$, podendo apresentar oscilações superpostas de frequências $30 \text{ kHz} < f < 100 \text{ MHz}$.

3.1.4

tensão contínua de frequência fundamental

tensão de frequência fundamental, considerada como tendo valor eficaz constante, continuamente aplicada a qualquer par de terminais de uma configuração de isolação

3.2

condições atmosféricas de referência normalizadas

condições atmosféricas para as quais as tensões suportáveis normalizadas são aplicadas (ver 5.9.2)

3.3

configuração da isolação

configuração geométrica completa da isolação em serviço, consistindo na isolação e em todos os terminais, e incluindo todos os elementos (isolantes e condutores) que influenciam seu comportamento dielétrico. São identificados quatro tipos de configurações da isolação, tendo as seguintes definições:

- a) **trifásica:** uma configuração de isolação tendo três terminais de fase, um terminal de neutro e um terminal de terra;
- b) **fase-terra (f-t):** uma configuração de isolação trifásica onde dois terminais de fase são desconsiderados e, exceto em casos particulares, o terminal de neutro é aterrado;
- c) **fase-fase (f-f):** uma configuração de isolação trifásica onde um terminal de fase é desconsiderado. Em casos particulares, o terminal de neutro e o terminal de terra são também desconsiderados;
- d) **longitudinal (l-l):** uma configuração de isolação tendo dois terminais de fase e um terminal de terra. Os terminais de fase pertencem à mesma fase de um sistema trifásico, temporariamente separada em duas partes energizadas independentemente (dispositivos de chaveamento abertos). Os quatro terminais que pertencem às outras duas fases são desconsiderados ou aterrados. Em casos particulares, um dos dois terminais de fase considerados é aterrado.

3.4

coordenação do isolamento

seleção da suportabilidade dielétrica dos equipamentos em função das tensões que podem ocorrer no sistema ao qual estes equipamentos serão conectados, levando em conta as condições em que serão operados e as características dos dispositivos de proteção disponíveis

NOTA A suportabilidade dielétrica dos equipamentos é entendida aqui como o nível de isolamento nominal ou o nível de isolamento normalizado, conforme definido em 3.22 e 3.23, respectivamente.

3.5

critério de desempenho

base sobre a qual o isolamento é selecionado de forma a reduzir, a um nível econômico e operacionalmente aceitável, a probabilidade de que as solicitações de tensão resultantes impostas ao equipamento causem prejuízo a sua isolação ou afetem a continuidade do serviço, usualmente expresso por uma taxa de falha aceitável da configuração da isolação (número de falhas por ano, anos entre falhas, risco de falha etc.)

3.6

dispositivo limitador de sobretensão

dispositivo que limita o valor de crista da sobretensão ou sua duração ou ambas, classificado como dispositivo de prevenção (por exemplo, um resistor de pré-inserção) ou como dispositivo de proteção (por exemplo, um para-raios)

3.7

ensaio normalizado de tensão suportável

ensaio dielétrico realizado em condições especificadas para garantir que a isolação atenda a uma tensão suportável nominal normalizada

NOTA 1 Esta Norma cobre os seguintes ensaios:

- ensaios de tensão de frequência fundamental de curta duração;
- ensaios de impulso de manobra;

ABNT NBR 6939:2018

- ensaios de impulso atmosférico;
- ensaios de impulso de manobra combinado;
- ensaios de tensão combinada.

NOTA 2 Informações mais detalhadas sobre ensaios normalizados de tensão suportável são dadas na ABNT NBR IEC 60060-1 (ver também a Tabela 1 para as formas de onda de tensão de ensaio).

NOTA 3 Recomenda-se que os ensaios normalizados de tensão suportável, de impulsos de frente muito rápida, sejam especificados pelas Comissões de Estudo dos respectivos equipamentos, se necessários.

3.8

fator de aterramento (em um dado local de um sistema trifásico e para uma dada configuração do sistema)

k

razão entre o máximo valor eficaz de tensão fase-terra de frequência fundamental em uma fase sã, durante uma falta fase-terra, afetando uma ou mais fases em qualquer ponto do sistema, e o valor eficaz de tensão fase-terra de frequência fundamental que seria obtido no mesmo local na ausência de tal falta

3.9

fator de conversão de ensaio

K_{tc}

para determinado equipamento ou configuração da isolamento, fator aplicado à tensão suportável especificada, no caso onde a tensão suportável normalizada é selecionada com forma de onda diferente

NOTA O fator de conversão de ensaio de uma forma de tensão normalizada “a” para outra forma de tensão normalizada “b” é maior ou igual que a razão entre a tensão suportável real para a forma de onda normalizada “a” e a tensão suportável real para a forma de onda normalizada “b”.

3.10

fator de coordenação

K_c

fator pelo qual o valor da sobretensão representativa é multiplicado de maneira a obter a tensão suportável de coordenação

3.11

fator de correção atmosférico

K_t

fator a ser aplicado à tensão suportável de coordenação para considerar a diferença entre as condições atmosféricas médias em serviço e as condições atmosféricas normalizadas de referência, aplicado somente à isolamento externa, para todas as altitudes

NOTA 1 O fator K_t permite a correção das tensões de ensaio, considerando a diferença entre as condições atmosféricas reais durante o ensaio e as condições atmosféricas normalizadas de referência. Para o fator K_t , as condições atmosféricas levadas em conta são pressão, temperatura e umidade.

NOTA 2 Para o propósito de coordenação do isolamento, somente a correção da pressão atmosférica é normalmente levada em conta.

3.12

fator de correção de altitude

K_a

fator a ser aplicado à tensão suportável de coordenação para considerar a diferença na suportabilidade dielétrica entre a pressão atmosférica correspondente à altitude em serviço e à pressão normalizada de referência

NOTA O fator de correção de altitude K_a é parte do fator de correção atmosférico K_t .

3.13

fator de segurança

K_s

fator geral a ser aplicado à tensão suportável de coordenação, após a aplicação do fator de correção atmosférico (se necessário), para obter a tensão suportável especificada, considerando todas as outras diferenças entre as condições de serviço e aquelas no ensaio normalizado de tensão suportável

3.14

formas normalizadas de tensão para ensaios

as formas normalizadas de tensão são definidas em 3.14.1 a 3.14.5

NOTA Mais detalhes das próximas três formas de onda da tensão são dados na ABNT NBR IEC 60060-1 e também na Tabela 1.

3.14.1

impulso atmosférico normalizado

impulso de tensão com tempo de frente de 1,2 μ s e um tempo até o meio valor de 50 μ s

3.14.2

impulso de manobra combinado normalizado

para isolação fase-fase, tensão de impulso combinado com duas componentes de igual valor de crista que ocorrem no mesmo instante e de polaridade oposta. O valor de crista da tensão combinada é definido, portanto, pela soma dos valores de crista das componentes. A componente de polaridade positiva é definida como o impulso de manobra normalizado e a componente de polaridade negativa é definida como um impulso de manobra cujos tempos até a crista e até o meio valor podem ser menores do que aqueles do impulso de polaridade positiva

3.14.3

impulso de manobra normalizado

impulso de tensão com tempo até a crista de 250 μ s e um tempo até o meio valor de 2 500 μ s

3.14.4

tensão combinada normalizada

para isolação longitudinal, tensão combinada que apresenta um impulso normalizado em um terminal e tensão de frequência fundamental em outro terminal. A componente impulsiva deve ser aplicada no instante da crista da tensão de frequência fundamental de polaridade oposta

3.14.5

tensão de frequência fundamental de curta duração normalizada

tensão senoidal com frequência entre 48 Hz e 62 Hz e duração de 60 s

3.15

isolação

conjunto de materiais isolantes utilizados para isolar eletricamente

ABNT NBR 6939:2018

3.16

isolação autorrecuperante

isolação que, após um breve período, recupera completamente suas propriedades isolantes após uma descarga disruptiva durante o ensaio

NOTA Isolação desta natureza é, geralmente, mas não necessariamente, uma isolação externa.

3.17

isolação externa

distâncias em ar e superfícies de isolantes sólidos de um equipamento, em contato com o ar, que estão sujeitas a solicitações dielétricas e aos efeitos de condições atmosféricas e outras condições externas, como poluição, umidade, animais, insetos etc.

NOTA A isolação externa pode ser protegida ou exposta ao tempo, dependendo de ser a mesma projetada para operar no interior ou exterior de ambientes abrigados, respectivamente

3.18

isolação interna

distâncias internas da isolação sólida, líquida ou gasosa do equipamento, que são protegidas dos efeitos atmosféricos e de outras condições externas

3.19

isolação não autorrecuperante

isolação que perde suas propriedades isolantes, ou que não as recupera totalmente, após uma descarga disruptiva durante o ensaio

NOTA As definições 3.16 e 3.19 aplicam-se somente quando a descarga disruptiva é causada pela aplicação de uma tensão de ensaio durante um ensaio dielétrico. Entretanto, descargas disruptivas que ocorrem em serviço podem fazer com que uma isolação autorrecuperante perca parcialmente, ou completamente, suas propriedades isolantes originais.

3.20

isolamento

conjunto de propriedades adquiridas por um corpo condutor, decorrentes de sua isolação

3.21

isolante

material, em geral um dielétrico, utilizado para impedir a passagem de correntes de condução

3.22

nível de isolamento nominal

conjunto de tensões suportáveis nominais que caracterizam a suportabilidade dielétrica da isolação

3.23

nível de isolamento normalizado

conjunto de tensões suportáveis nominais normalizadas que estão associadas a U_m , como especificado nas Tabelas 2 e 3

3.24

nível de proteção a impulso atmosférico

U_{pl}

máximo valor permissível de crista de tensão nos terminais de um dispositivo de proteção sujeito a impulsos atmosféricos sob condições específicas

3.25**nível de proteção a impulso de manobra** U_{ps}

máximo valor permissível de crista de tensão nos terminais de um dispositivo de proteção sujeito a impulsos de manobra sob condições específicas

3.26**sistema com aterramento ressonante**

sistema no qual um ou mais pontos neutros são conectados à terra por meio de reatâncias que compensam aproximadamente a componente capacitiva da corrente de falta fase-terra

NOTA Com aterramento ressonante de um sistema, a corrente residual na falta é limitada a um valor tal que o arco no ar em uma falta é, normalmente, autoextinguível.

3.27**sistema de neutro aterrado por impedância**

sistema cujo(s) ponto(s) neutro(s) é(são) conectado(s) à terra por meio de impedâncias para limitar correntes de falta

3.28**sistema de neutro isolado**

sistema onde nenhum ponto neutro é intencionalmente conectado à terra, exceto por meio de conexões de alta impedância utilizadas para fins de proteção ou medição

3.29**sistema de neutro solidamente aterrado**

sistema cujo(s) ponto(s) neutro(s) é(são) diretamente conectado(s) à terra

3.30**sobretensão**

qualquer tensão

- entre fase e terra, ou aplicada a uma isolação longitudinal, apresentando um valor de crista superior ao da tensão máxima do sistema dividida por $\sqrt{3}$; ou
- entre fases, apresentando um valor de crista superior à amplitude da tensão máxima do sistema

NOTA A menos que claramente indicado, como para para-raios, valores de sobretensão expressos em p.u. são referenciados a:

$$U_s \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

3.31**sobretensões representativas** U_{rp}

sobretensões consideradas capazes de produzir o mesmo efeito dielétrico sobre a isolação que sobretensões de determinada classe que ocorrem em serviço, devido a várias origens, consistindo em tensões com a forma normalizada da classe que podem ser definidas por um valor ou um conjunto de valores, ou por uma distribuição de frequência de valores que caracterizem as condições de serviço

NOTA Esta definição também se aplica à tensão contínua de frequência fundamental que representa o efeito da tensão de serviço sobre a isolação.

ABNT NBR 6939:2018**3.32****tensão máxima do equipamento** U_m

máximo valor eficaz de tensão fase-fase para o qual o equipamento é projetado, considerando-se o seu isolamento, bem como outras características relacionadas a esta tensão, que pode ser aplicada continuamente ao equipamento, sob condições normais de serviço especificadas pela norma do equipamento em questão

3.33**tensão máxima do sistema** U_s

máximo valor eficaz de tensão de operação fase-fase que ocorre sob condições normais de operação em qualquer tempo e em qualquer ponto do sistema

3.34**tensão nominal de um sistema** U_n

valor de tensão fase-fase usado para designar ou identificar um sistema

3.35**tensão suportável**

valor de tensão de ensaio a ser aplicado sob condições especificadas em um ensaio de tensão suportável, durante o qual um número especificado de descargas disruptivas é tolerado. A tensão suportável é designada como:

- a) **tensão suportável assumida convencional**, quando o número de descargas disruptivas tolerado é zero. Seu significado corresponde a uma probabilidade de suportar $P_w = 100\%$
- b) **tensão suportável estatística**, quando o número de descargas disruptivas tolerado é relacionado a uma probabilidade de suportar especificada. Nesta Norma a probabilidade especificada é $P_w = 90\%$

NOTA Nesta Norma, para isolamento não autorrecuperante, são especificados valores de tensão suportável assumida convencional e, para isolamento autorrecuperante, são especificados valores de tensão suportável estatística.

3.36**tensão suportável de coordenação (para cada classe de tensão)** U_{cw}

valor da tensão suportável da configuração da isolamento, em condições reais de serviço, que atende ao critério de desempenho

3.37**tensão suportável especificada** U_{rw}

tensão de ensaio que a isolamento deve suportar em um ensaio normalizado, para assegurar que a isolamento atenderá ao critério de desempenho, quando sujeita a determinada classe de sobretensões, em condições reais de serviço, e para toda a duração de serviço; possui a forma da tensão suportável de coordenação e é especificada com referência a todas as condições do ensaio normalizado de tensão suportável selecionado para verificá-la

3.38

tensão suportável nominal

valor da tensão de ensaio aplicado a um ensaio normalizado de tensão suportável, que prova que a isolamento atende a uma ou a mais tensões suportáveis especificadas, sendo o valor nominal do isolamento do equipamento

3.39

tensão suportável nominal normalizada

U_w

valor normalizado da tensão suportável nominal como especificado nesta Norma (ver 5.6 e 5.7)

3.40

tensão suportável real de um equipamento ou de uma configuração da isolamento

U_{aw}

maior valor possível da tensão de ensaio que pode ser aplicado em um equipamento ou em uma configuração da isolamento durante um ensaio normalizado de tensão suportável

3.41

terminal da configuração da isolamento

qualquer um entre dois terminais em que a tensão que solicita a isolamento pode ser aplicada, podendo ser dos seguintes tipos:

- **terminal de fase**, entre o qual e o neutro é aplicada, em serviço, a tensão fase-neutro do sistema
- **terminal de neutro**, representado, ou conectado ao ponto neutro do sistema (terminal de neutro de transformadores etc.)
- **terminal de terra**, sempre solidamente conectado à terra em serviço (tanque de transformadores, base de seccionadores, estrutura de torres, plano de terra etc.)

4 Símbolos e abreviaturas

4.1 Geral

As listas de 4.2 a 4.4 abrangem apenas os símbolos e abreviações mais utilizados, que são úteis para a coordenação do isolamento.

4.2 Índice

- f-t relacionado à fase-terra
- f-f relacionado à fase-fase
- l-l relacionado à longitudinal

4.3 Símbolos

- b_0 pressão atmosférica de referência normalizada
- f frequência
- h_0 umidade absoluta de referência normalizada

ABNT NBR 6939:2018

k	fator de aterramento
K_a	fator de correção de altitude
K_c	fator de coordenação
K_s	fator de segurança
K_t	fator de correção atmosférico
K_{tc}	fator de conversão de ensaio
P_w	probabilidade de suportabilidade
t_0	temperatura ambiente de referência normalizada
T_1	tempo de frente para sobretensões de frente rápida
T_2	tempo até o meio valor (na cauda)
T_{cr}	tempo até a crista
T_f	tempo de frente para sobretensões de frente muito rápida
T_t	duração total da sobretensão
U_{50}	tensão com probabilidade de descarga de 50 %
U_{aw}	tensão suportável real de um equipamento ou de uma configuração da isolação
U_{cw}	tensão suportável de coordenação
U_m	tensão máxima do equipamento
U_n	tensão nominal do sistema
U_{pl}	nível de proteção de impulso atmosférico de um dispositivo de proteção
U_{ps}	nível de proteção de impulso de manobra de um dispositivo de proteção
U_{rp}	sobretensão representativa
U_{rw}	tensão suportável especificada
U_s	tensão máxima do sistema
U_w	tensão suportável nominal normalizada
s	desvio-padrão

4.4 Abreviações

ACWV tensão suportável nominal de frequência fundamental de curta duração normalizada de um equipamento ou de uma configuração da isolação

FFO sobretensão de frente rápida

GIL	linha isolada a gás
GIS	subestação isolada a gás
LIPL	nível de proteção de impulso atmosférico de um para-raio
LIWV	tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico de um equipamento ou de uma configuração da isolação
SFO	sobretensão de frente lenta
SIPL	nível de proteção de impulso de manobra de um para-raio
SIWV	tensão suportável nominal normalizada de impulso de manobra de um equipamento ou de uma configuração da isolação
TOV	sobretensão temporária
VFFO	sobretensão de frente muito rápida

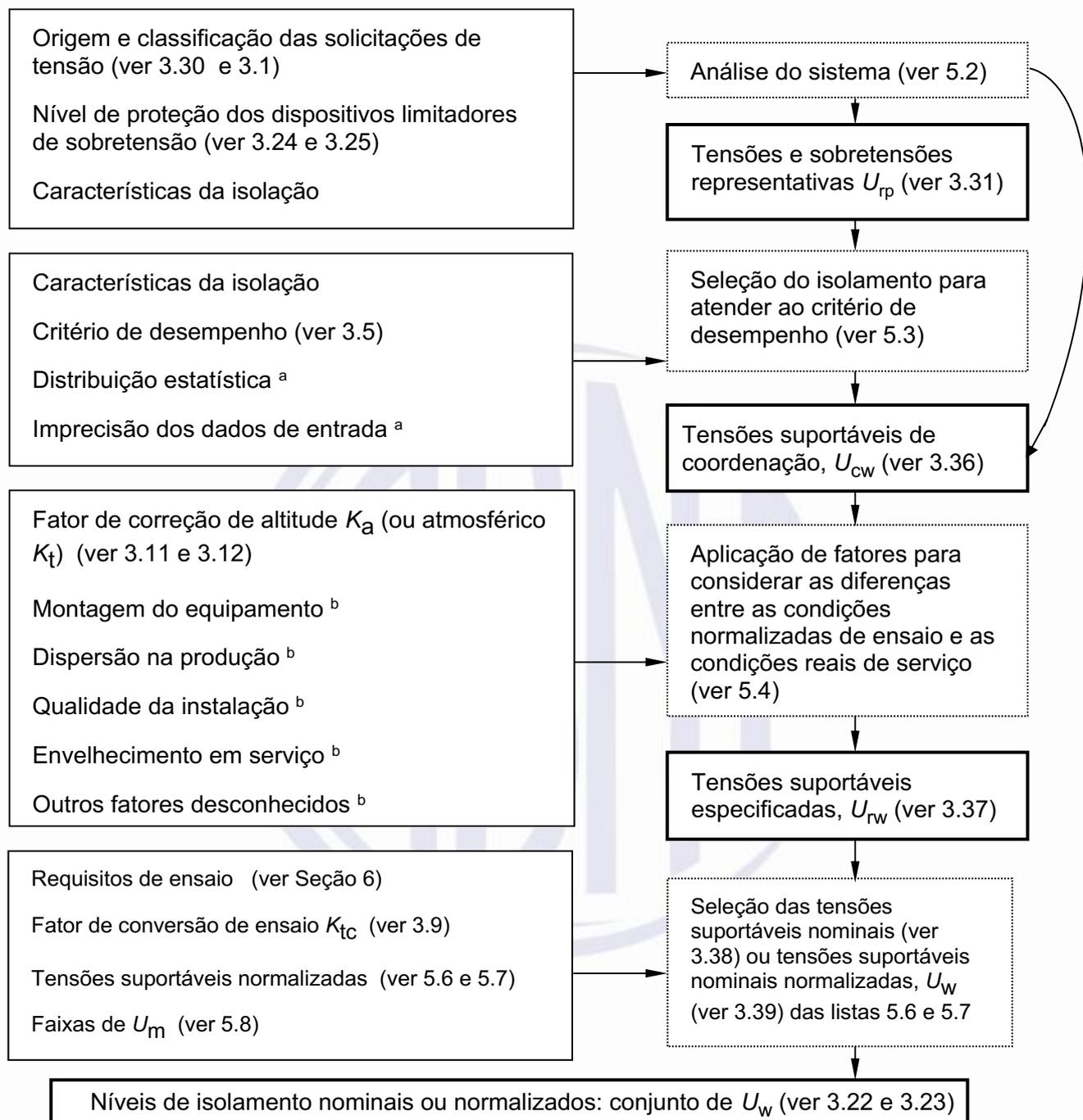
5 Procedimentos para coordenação do isolamento

5.1 Delineamento geral do procedimento

O procedimento para coordenação do isolamento consiste na seleção da tensão máxima do equipamento e no correspondente conjunto de tensões suportáveis nominais normalizadas que caracterizam a isolação do equipamento necessário para aplicação. Este procedimento é delineado na Figura 1 e suas etapas são descritas em 5.1 a 5.5. A otimização do conjunto selecionado de U_w pode requerer reconsideração de alguns dados de entrada e a repetição de parte do procedimento.

As tensões suportáveis nominais devem ser selecionadas das listas de tensões apresentadas em 5.6 e 5.7. O conjunto de tensões normalizadas selecionado constitui o nível de isolamento nominal. Se as tensões suportáveis nominais normalizadas forem também associadas à mesma tensão U_m , de acordo com 5.10, este conjunto constitui o nível de isolamento normalizado.

ABNT NBR 6939:2018



Legenda

Entre parênteses encontra-se a subseção que define o termo ou a descrição da ação.

- _____ indica o dado de entrada necessário;
- indica a ação a ser desenvolvida;
- _____ indica o resultado obtido.

^a Efeitos combinados no fator de coordenação K_C (ver 3.10).

^b Efeitos combinados no fator de segurança K_S (ver 3.13).

Figura 1 – Fluxograma para a determinação do nível de isolamento nominal ou normalizado

5.2 Determinação das sobretensões representativas U_{rp}

5.2.1 As tensões e as sobretensões que solicitam a isolamento devem ser determinadas em amplitude, forma e duração por meio de uma análise do sistema que inclui a seleção e a localização dos dispositivos de limitação e proteção contra sobretensão.

Para cada classe de tensão e sobretensão, esta análise deve então determinar as tensões e as sobretensões representativas, levando em consideração as características da isolamento com respeito aos diferentes comportamentos para as formas de onda das tensões ou sobretensões no sistema e para as formas de onda normalizadas das tensões aplicadas no ensaio de tensão suportável normalizada, como descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Classes e formas de onda normalizadas das tensões ou sobretensões, ensaios normalizados de tensão suportável

Classe	Baixa frequência		Transitório		
	Contínua	Temporária	Frente lenta	Frente rápida	Frente muito rápida
Formas de onda das tensões ou sobretensões					
Faixas de formas de onda das tensões ou sobretensões	$f = 50 \text{ Hz}$ ou 60 Hz $T_t \geq 3\,600 \text{ s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_t \leq 3\,600 \text{ s}$	$20 \mu\text{s} < T_{cr} \leq 5\,000 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$T \leq 0,1 \mu\text{s}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$
Formas de onda normalizada das tensões	 $f = 50 \text{ Hz}$ ou 60 Hz T_t^*	 $48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_t = 60 \text{ s}$	 $T_{cr} = 250 \mu\text{s}$ $T_2 = 2\,500 \mu\text{s}$	 $T_1 = 1,2 \mu\text{s}$ $T_2 = 50 \mu\text{s}$	a
Ensaio normalizado de tensão suportável	a	Ensaio de frequência fundamental de curta duração	Ensaio de impulso de manobra	Ensaio de impulso atmosférico	a

^a A ser especificado pela norma do respectivo equipamento.

5.2.2 As tensões e sobretensões representativas podem ser caracterizadas por:

- um valor máximo assumido, ou
- um conjunto de valores de crista, ou
- uma distribuição estatística completa de valores de crista.

NOTA No último caso, pode ser necessário considerar características adicionais das formas de onda da sobretensão.

ABNT NBR 6939:2018

5.2.3 Quando a adoção de um valor máximo assumido for considerado adequado, a sobretensão representativa das várias classes deve ser:

- para tensão contínua de frequência fundamental: uma tensão de frequência fundamental com valor eficaz igual à tensão máxima do sistema e com duração correspondente à vida útil do equipamento;
- para sobretensão temporária: uma tensão de frequência fundamental normalizada, de curta duração, com um valor eficaz igual ao valor máximo assumido das sobretensões temporárias, dividido pela raiz quadrada de dois;
- para sobretensão de frente lenta: um impulso de manobra normalizado com valor de crista igual ao valor de crista máximo assumido das sobretensões de frente lenta;
- para sobretensão de frente rápida: um impulso atmosférico normalizado com valor de crista igual ao valor de crista máximo assumido das sobretensões de frente rápida fase-terra;

NOTA Para GIS ou GIL com as três fases encapsuladas e níveis de isolamento escolhidos entre os menores valores para uma dada U_m , as sobretensões fase-fase podem ser consideradas.

- para sobretensão de frente muito rápida: as características para esta classe de sobretensão são especificadas pelas normas dos respectivos equipamentos;
- para sobretensão fase-fase de frente lenta: um impulso de manobra combinado normalizado, com valor de crista igual ao valor de crista máximo assumido das sobretensões fase-fase de frente lenta;
- para sobretensão longitudinal de frente lenta (ou frente rápida): uma tensão combinada, consistindo em um impulso de manobra (ou atmosférico) normalizado e em uma tensão de frequência fundamental, cada uma com valor de crista igual aos respectivos valores de crista máximos assumidos, e com o instante do valor de crista do impulso coincidindo com o da crista da tensão de frequência fundamental de polaridade oposta.

5.3 Determinação das tensões suportáveis de coordenação U_{cw}

A determinação das tensões suportáveis de coordenação consiste em estabelecer os valores mínimos das tensões suportáveis da isolação que atendem ao critério de desempenho, quando a isolação é sujeita às sobretensões representativas sob condições de serviço.

As tensões suportáveis de coordenação da isolação têm a forma das sobretensões representativas da respectiva classe, e seus valores são obtidos pela multiplicação dos valores das sobretensões representativas por um fator de coordenação. O valor do fator de coordenação depende da exatidão na obtenção das sobretensões representativas e de uma avaliação empírica, ou estatística, da distribuição das sobretensões e das características da isolação.

As tensões suportáveis de coordenação podem ser determinadas como tensões suportáveis assumidas convencionais ou tensões suportáveis estatísticas. Isto afeta o procedimento de determinação e os valores do fator de coordenação.

As simulações das sobretensões em combinação com a avaliação simultânea do risco de falha, usando as características da isolação pertinentes, permitem a determinação direta das tensões suportáveis de coordenação estatísticas sem o passo intermediário de determinação das sobretensões representativas.

5.4 Determinação das tensões suportáveis especificadas U_{rw}

A determinação das tensões suportáveis especificadas da isolação consiste em converter as tensões suportáveis de coordenação às condições de ensaio normalizadas apropriadas. Isto é obtido pela multiplicação das tensões suportáveis de coordenação por fatores que compensem as diferenças entre as condições reais de serviço da isolação e aquelas dos ensaios normalizados de tensão suportável.

Os fatores a serem aplicados devem compensar as condições atmosféricas, por meio do fator de correção atmosférico K_t , e os efeitos listados abaixo por meio de um fator de segurança K_s ;

- diferenças na montagem do equipamento;
- dispersão da qualidade do produto;
- qualidade da instalação;
- envelhecimento da isolação durante a vida útil prevista;
- outras influências desconhecidas.

Se, entretanto, estes efeitos não puderem ser avaliados individualmente, um fator de segurança geral, derivado da experiência, deve ser adotado (ver ABNT NBR 8186).

O fator de correção atmosférico K_t é aplicável somente à isolação externa, levando em conta as diferenças entre as condições atmosféricas normalizadas de referência e aquelas esperadas em serviço.

Para a correção da altitude, o fator K_a , que considera somente a pressão atmosférica média correspondente à altitude, deve ser aplicado, qualquer que seja a altitude.

5.5 Seleção do nível de isolamento nominal

A seleção do nível de isolamento nominal consiste na seleção do conjunto mais econômico de tensões suportáveis nominais normalizadas (U_w) da isolação suficientes para garantir que todas as tensões suportáveis especificadas sejam atendidas.

A tensão máxima do equipamento é escolhida como o próximo valor normalizado U_m igual ou maior que a tensão máxima do sistema onde o equipamento será instalado.

Para equipamentos a serem instalados sob condições ambientais normais, relativas à isolação, U_m deve ser no mínimo igual a U_s .

Para equipamentos a serem instalados fora das condições ambientais normais, relativas à isolação, U_m pode ser escolhido maior do que o próximo valor normalizado de U_m , igual ou maior que U_s , de acordo com as necessidades especiais envolvidas.

NOTA Como exemplo, a seleção de um valor de U_m maior do que o próximo valor normalizado de U_m , igual ou maior que U_s , pode ocorrer quando o equipamento for instalado em uma altitude maior que 1 000 m para compensar o decréscimo da tensão suportável da isolação externa.

A normalização dos ensaios, bem como a seleção das respectivas tensões de ensaio, para garantir a conformidade com U_m , é realizada pelas respectivas normas de equipamentos (por exemplo, ensaios de poluição ou ensaios de tensão de início de descargas parciais).

ABNT NBR 6939:2018

As tensões suportáveis a serem utilizadas nos ensaios para garantir que as tensões suportáveis especificadas temporárias, de frente lenta ou de frente rápida, sejam atendidas para isolação fase-terra, fase-fase e longitudinal, podem ser selecionadas com a mesma forma de onda que a tensão suportável especificada, ou com uma forma de onda diferente, explorando, para o caso desta última, as características intrínsecas da isolação.

O valor da tensão suportável nominal é então selecionado da lista de tensões suportáveis nominais normalizadas relacionadas em 5.6 e 5.7, como o valor mais próximo, igual ou maior que:

- a tensão suportável especificada, no caso da mesma forma de onda;
- a tensão suportável especificada, multiplicada pelo fator de conversão do ensaio pertinente, no caso de forma de onda diferente.

NOTA Isto pode permitir a adoção de uma única tensão suportável nominal normalizada, para garantir o atendimento a mais de uma tensão suportável especificada, dando assim a possibilidade de reduzir o número de tensões suportáveis nominais normalizadas que poderiam definir um nível de isolamento normalizado (ver 5.10).

Para equipamentos a serem usados em condições ambientais normais, o nível de isolamento nominal deve ser preferencialmente selecionado das Tabelas 2 e 3, correspondentes à tensão máxima aplicável ao equipamento, tal que as tensões suportáveis nominais sejam atendidas.

A seleção da tensão suportável nominal normalizada para garantir o atendimento à tensão suportável de frente muito rápida especificada deve ser considerada pelas respectivas normas de equipamentos.

Para para-raios, as tensões suportáveis especificadas do invólucro são baseadas nos níveis de proteção U_{pl} e U_{ps} com aplicação dos fatores de segurança segundo a ABNT NBR 16050. Em geral, as tensões suportáveis não podem ser selecionadas das listas de 5.6 e 5.7.

5.6 Lista de tensões suportáveis nominais normalizadas de frequência fundamental de curta duração

Os seguintes valores eficazes, expressos em quilovolts, são normalizados como tensões suportáveis:

4	10	20	28	34	38	50	70	95
115	140	150	185	230	275	325	360	395
460	510	570	630	680				

NOTA Os valores 4, 34 e 150 não constam na IEC 60071-1.

Os seguintes valores eficazes, expressos em quilovolts, estão sob avaliação como tensões suportáveis:

710	790	830	880	960	975	1 050	1 100	1 200
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------	-------	-------

5.7 Lista de tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso

Os seguintes valores de crista, expressos em quilovolts, são normalizados como tensões suportáveis:

20	30	40	60	75	95	110	125	145	170	200
250	325	350	380	450	550	650	750	850	950	1 050
1 175	1 300	1 425	1 550	1 675	1 800	1 950	2 100	2 250	2 400	2 550
2 700	2 900	3 100								

NOTA Os valores 30, 110 e 350 não constam na IEC 60071-1.

5.8 Faixas para a tensão máxima do equipamento

As tensões máximas do equipamento normalizadas são divididas em duas faixas:

- faixa 1: acima de 1 kV até 245 kV, inclusive (ver Tabela 2). Esta faixa cobre tanto sistemas de transmissão como de distribuição. Os diferentes aspectos operacionais, entretanto, devem ser levados em consideração na seleção do nível de isolamento nominal do equipamento;
- faixa 2: acima de 245 kV (ver Tabela 3). Esta faixa cobre principalmente sistemas de transmissão.

5.9 Condições ambientais

5.9.1 Condições ambientais normais

As condições ambientais normais relativas à coordenação do isolamento e para as quais as tensões suportáveis são normalmente selecionadas das Tabelas 2 e 3 são as seguintes:

- a) a temperatura do ar ambiente não excede 40 °C e seu valor médio, medido ao longo de um período de 24 h, não excede 35 °C. A temperatura mínima do ar ambiente é função da temperatura para a qual o equipamento foi especificado;
- b) a altitude não excede 1 000 m acima do nível do mar;
- c) o ar ambiente não é significativamente poluído por poeira, fumaça, gases corrosivos, vapores ou sal. A poluição não pode exceder o nível leve, de acordo com a ABNT NBR 8186:2011, Tabela F.1;
- d) a presença de condensação ou precipitação é normal. É considerada precipitação na forma de orvalho, a condensação, névoa, chuva, neve, gelo ou geadas.

NOTA As características da precipitação para o isolamento são descritas na ABNT NBR IEC 60060-1. Para outras finalidades, as características da precipitação são descritas na IEC 60721-2-2.

5.9.2 Condições atmosféricas de referência normalizadas

As condições atmosféricas de referência normalizadas para as quais são aplicadas as tensões suportáveis normalizadas são:

- a) temperatura: $t_0 = 20$ °C;
- b) pressão: $b_0 = 101,3$ kPa (1 013 mbar);
- c) umidade absoluta: $h_0 = 11$ g/m³.

5.10 Seleção dos níveis de isolamento normalizados

5.10.1 A associação das tensões suportáveis nominais normalizadas com a tensão máxima do equipamento tem sido normalizada para se beneficiar da experiência obtida com a operação dos sistemas projetados, de acordo com as Normas Brasileiras aplicáveis e para melhorar a normalização.

As tensões suportáveis nominais normalizadas são associadas à tensão máxima do equipamento, de acordo com a Tabela 2, para a faixa 1, e de acordo com a Tabela 3, para a faixa 2. Estas tensões suportáveis nominais normalizadas são válidas para as condições ambientais normais e são ajustadas para as condições atmosféricas de referência normalizadas.

ABNT NBR 6939:2018

As associações obtidas com a conexão das tensões suportáveis normalizadas de todas as colunas, sem cruzar as linhas horizontais marcadas, são definidas como níveis de isolamento normalizados.

5.10.2 Além disso, as seguintes associações são normalizadas para as isolações fase-fase e longitudinal:

- para isolação fase-fase, faixa 1, as tensões suportáveis nominais normalizadas fase-fase de frequência fundamental de curta duração e de impulso atmosférico são iguais às respectivas tensões suportáveis fase-terra (ver Tabela 2). Os valores entre parênteses, entretanto, podem ser insuficientes para garantir que as tensões suportáveis especificadas sejam obtidas, e ensaios adicionais de tensão suportável fase-fase podem ser necessários;
- para isolação fase-fase, faixa 2, a tensão suportável normalizada de impulso atmosférico fase-fase é igual ao impulso atmosférico fase-terra (ver Tabela 3);
- para isolação longitudinal, faixa 1, as tensões suportáveis nominais normalizadas de frequência fundamental de curta duração e de impulso atmosférico são iguais às respectivas tensões suportáveis fase-terra (ver Tabela 2);
- para isolação longitudinal, faixa 2, a componente de impulso de manobra normalizada, da tensão suportável combinada, é dada na Tabela 3, enquanto que o valor de crista da componente de frequência fundamental de polaridade oposta é dado pela expressão a seguir:

$$U_m \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

- para isolação longitudinal, faixa 2, a componente de impulso atmosférico normalizada da tensão suportável combinada é igual à respectiva tensão suportável fase-terra (ver Tabela 3), enquanto que o valor de crista da componente de frequência fundamental de polaridade oposta é dado pela expressão a seguir:

$$0,7 \times U_m \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

Mais de uma associação preferencial é prevista para a maioria das tensões máximas do equipamento, para permitir a aplicação de diferentes critérios de desempenho ou formas de sobretensão.

5.10.3 Para as associações preferenciais, somente duas tensões suportáveis nominais normalizadas são suficientes para definir o nível de isolamento normalizado do equipamento:

- a) para equipamento na faixa 1:
 - 1) a tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico, e
 - 2) a tensão suportável nominal normalizada de frequência fundamental de curta duração;
- b) para equipamento na faixa 2:
 - 1) a tensão suportável nominal normalizada de impulso de manobra, e
 - 2) a tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico.

5.10.4 Se técnica e economicamente justificadas, outras associações podem ser adotadas. As recomendações de 5.1 a 5.8 devem ser seguidas em cada caso. O conjunto de tensões suportáveis nominais normalizadas resultante será designado, assim, de nível de isolamento nominal. Exemplos particulares são:

- para isolação externa, para os maiores valores de U_m da faixa 1, pode ser mais econômico especificar a tensão suportável nominal normalizada de impulso de manobra ao invés da tensão suportável nominal normalizada de frequência fundamental de curta duração;
- para isolação interna, na faixa 2, valores elevados de sobretensões temporárias podem requerer a especificação de tensão suportável nominal normalizada de frequência fundamental de curta duração.

Tabela 2 – Níveis de isolamento normalizados para a faixa 1 ($1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$) (continua)

Tensão máxima do equipamento U_m kV (eficaz)	Tensão suportável nominal normalizada de frequência fundamental de curta duração kV (eficaz)	Tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico kV (crista)
0,6 ^a	4 ^c	-
1,2 ^c	10	30 ^c
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
15 ^c	34 ^c	95 110 ^c
17,5	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170 200 ^c
52	95	250
72,5	140	325 350 ^c
92,4 ^c	150 ^c 185	380 ^c 450
123	(185) ^b 230	450 550
145	(185) ^b 230 275	(450) ^b 550 650

ABNT NBR 6939:2018

Tabela 2 (conclusão)

Tensão máxima do equipamento U_m kV (eficaz)	Tensão suportável nominal normalizada de frequência fundamental de curta duração kV (eficaz)	Tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico kV (crista)
170	(230) ^b 275 325	(550) ^b 650 750
245	(275) ^b (325) ^b 360 395 460	(650) ^b (750) ^b 850 950 1 050

^b O nível de isolamento correspondente a $U_m = 0,6$ kV só é aplicável ao secundário de transformador, cujo primário tem U_m superior a 1 kV.

^c Se os valores entre parênteses forem considerados insuficientes para provar que as tensões suportáveis fase-fase especificadas são satisfeitas, ensaios adicionais de suportabilidade fase-fase são necessários.

^d Indica valores não constantes na IEC 60071-1.

Tabela 3 – Níveis de isolamento normalizados para a faixa 2 ($U_m > 245$ kV) (continua)

Tensão máxima do equipamento U_m kV (eficaz)	Tensão suportável normalizada de impulso de manobra kV (crista)			Tensão suportável normalizada de impulso atmosférico (Nota 2) kV (crista)
	Isolação longitudinal (Nota 1)	Fase-terra	Fase-fase (relação para o valor de crista fase-terra)	
300	750	750	1,50	850 950
	750	850	1,50	950 1 050
362	850	850	1,50	950 1 050
	850	950	1,50	1 050 1 175
420	850	850	1,60	1 050 1 175
	950	950	1,50	1 175 1 300
420/460 ^a	950	1 050	1,50	1 300 1 425
525	950	950	1,70	1 175 1 300
525/550 ^a	950	1 050	1,60	1 300 1 425
	950	1 175	1,50	1 425 1 550
550 ^a	950	1 300	1,50	1 550 1 675

Tabela 3 (conclusão)

Tensão máxima do equipamento U_m kV (eficaz)	Tensão suportável normalizada de impulso de manobra kV (crista)			Tensão suportável normalizada de impulso atmosférico (Nota 2) kV (crista)
	Isolação longitudinal (Nota 1)	Fase-terra	Fase-fase (relação para o valor de crista fase-terra)	
765	1 175	1 300	1,70	1 675 1 800
765/800 ^a	1 175	1 425	1,70	1 800 1 950
	1 175	1 550	1,60	1 950 2 100
1 100	–	1425	–	1 950 2 100
	1 425	1 550	1,70	2 100 2 250
	1 550	1 675	1,65	2 250 2 400
	1 675	1 800	1,60	2 400 2 550
1 200	1 550	1 675	1,70	2 100 2 250
	1 675	1 800	1,65	2 250 2 400
	1 800	1 950	1,60	2 550 2 700

^a Indica valores não constantes na IEC 60071-1.

NOTA 1 Valor da componente do impulso do ensaio combinado aplicável, enquanto que o valor de crista da componente de frequência fundamental de polaridade oposta é dado por:

$$U_m \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

NOTA 2 Estes valores são aplicados às isolações fase-terra e fase-fase; para isolação longitudinal, são aplicados como a componente de impulso atmosférico nominal normalizado do ensaio combinado, enquanto que o valor de crista da componente de frequência fundamental de polaridade oposta é dado pela expressão:

$$0,7 \times U_m \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

5.11 Base para a seleção dos níveis de isolamento normalizados

5.11.1 Geral

Os níveis de isolamento normalizados apresentados nas Tabelas 2 e 3 refletem a experiência mundial, levando em consideração modernos equipamentos de proteção e métodos de limitação das sobretensões. A seleção de um nível de isolamento normalizado deve ser baseada nos procedimentos de coordenação do isolamento, de acordo com a ABNT NBR 8186, e deve levar em conta as características da isolação do equipamento específico.

ABNT NBR 6939:2018

Na faixa 1, a tensão suportável nominal normalizada de frequência fundamental de curta duração e a tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico devem cobrir as tensões suportáveis de impulso de manobra fase-terra e fase-fase especificadas, assim como a tensão suportável longitudinal especificada.

Na faixa 2, a tensão suportável nominal normalizada de impulso de manobra deve cobrir a tensão suportável de frequência fundamental de curta duração especificada, caso nenhum valor seja previsto nas normas específicas dos equipamentos.

Com o intuito de satisfazer os requisitos gerais, as tensões suportáveis especificadas devem ser convertidas às formas de onda para as quais as tensões suportáveis nominais normalizadas são especificadas, usando os fatores de conversão de ensaio. Os fatores de conversão de ensaio são determinados a partir de resultados existentes, a fim de prover um valor conservativo para as tensões suportáveis nominais.

É recomendado que a norma específica de cada equipamento estabeleça um ensaio de frequência fundamental de longa duração para determinar a resposta do equipamento com relação ao envelhecimento da isolação interna ou à poluição externa (ver ABNT NBR 10621).

5.11.2 Tensão suportável nominal normalizada de impulso de manobra

Na Tabela 3, as tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso de manobra associadas a cada tensão máxima do equipamento têm sido escolhidas considerando os seguintes aspectos:

- a) para equipamentos protegidos por para-raios contra sobretensões de manobra:
 - os valores esperados para sobretensões temporárias;
 - as características disponíveis dos para-raios atuais;
 - os fatores de segurança e de coordenação entre o nível de proteção dos para-raios e a tensão suportável de impulso de manobra dos equipamentos;
- b) para equipamentos não protegidos por para-raios contra sobretensões de manobra:
 - o risco aceitável de descarga disruptiva, considerando a faixa provável de sobretensões que ocorrem no local do equipamento;
 - o grau de controle de sobretensão que geralmente considera aspectos econômicos e é obtido por meio de uma seleção cuidadosa dos dispositivos de manobra e no projeto do sistema.

5.11.3 Tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico

Na Tabela 3, as tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso atmosférico associadas a cada tensão suportável nominal normalizada de impulso de manobra têm sido escolhidas considerando os seguintes aspectos:

- a) para equipamentos protegidos por para-raios nas suas proximidades, os valores mais baixos da tensão suportável de impulso atmosférico são aplicados. Eles são escolhidos levando-se em conta a razão entre o nível de proteção a impulso atmosférico e o nível de proteção a impulso de manobra plausível de ser obtido com para-raios, adicionando margens de segurança apropriadas;
- b) para equipamentos não protegidos por para-raios (ou não eficazmente protegidos), somente os maiores valores das tensões suportáveis de impulso atmosférico devem ser usados. Estes valores

são baseados na relação típica entre as tensões suportáveis de impulso atmosférico e de manobra de isolações externas dos equipamentos (por exemplo, disjuntores, chaves, transformadores de instrumento etc.). Eles são escolhidos de tal forma que o projeto da isolamento seja determinado principalmente pela capacidade da isolamento externa de suportar tensões de ensaio de impulso de manobra;

- c) em poucos casos extremos, devem ser previstos valores mais elevados para a tensão suportável de impulso atmosférico. Estes valores devem ser selecionados da série de valores normalizados dados em 5.6 e 5.7.

6 Requisitos para ensaios normalizados de tensão suportável

6.1 Requisitos gerais

Ensaio normalizados de tensão suportável são executados para demonstrar, com confiança adequada, que a tensão suportável real da isolamento não é menor do que a tensão suportável especificada correspondente. As tensões aplicadas nos ensaios normalizados de tensão suportável são tensões suportáveis nominais normalizadas, a menos que especificado diferentemente pelas respectivas normas de equipamentos.

Em geral, ensaios de tensão suportável consistem em ensaios a seco, executados em uma condição-padrão (com o arranjo do ensaio especificado pelas respectivas normas de equipamentos e sob condições atmosféricas normalizadas de referência). Para isolamento externa não protegida das intempéries, entretanto, os ensaios normalizados de tensão suportável de frequência fundamental de curta duração e de impulso de manobra consistem em ensaios sob chuva executados sob as condições especificadas na ABNT NBR IEC 60060-1.

Durante os ensaios sob chuva, esta será aplicada simultaneamente ao ar e à superfície da isolamento sob tensão.

Se as condições atmosféricas no laboratório de ensaio diferirem das condições normalizadas, as tensões de ensaio devem ser corrigidas de acordo com a ABNT NBR IEC 60060-1. Todas as tensões suportáveis de impulso devem ser verificadas para ambas as polaridades, a menos que as respectivas normas de equipamentos especifiquem uma polaridade apenas.

Quando for demonstrado que uma condição (a seco ou sob chuva) ou uma polaridade ou a combinação destas produz a menor tensão suportável, então é suficiente verificar a tensão suportável para esta condição particular.

As falhas na isolamento que ocorrerem durante o ensaio são a base para a aceitação ou rejeição da amostra sob ensaio. As respectivas normas dos equipamentos e dos ensaios elétricos definem a ocorrência de uma falha e o método para detectá-la.

Quando a tensão suportável nominal normalizada das isolações fase-fase ou longitudinal for igual à da isolamento fase-terra, é recomendado que ensaios das isolações fase-fase ou longitudinal e ensaios da isolamento fase-terra sejam executados simultaneamente, pela conexão de um dos dois terminais de fase para a terra.

6.2 Ensaio normalizado de tensão suportável de frequência fundamental de curta duração

O ensaio normalizado de tensão suportável de frequência fundamental de curta duração consiste em uma aplicação da respectiva tensão suportável nominal normalizada nos terminais da configuração da isolamento.

ABNT NBR 6939:2018

A menos que especificado de outra forma pelas respectivas normas de equipamentos, a isolação é considerada aprovada no ensaio se não ocorrerem descargas disruptivas. Entretanto, se uma descarga disruptiva ocorrer na isolação autorrecuperante durante um ensaio sob chuva, o ensaio pode ser repetido mais uma vez e o equipamento será considerado aprovado no ensaio se não ocorrer qualquer outra descarga disruptiva.

Quando o ensaio não puder ser executado (como no caso de transformadores com isolação não uniforme), as respectivas normas destes equipamentos podem especificar frequências de até algumas centenas de hertz e durações menores do que 1 min. A menos que justificado de outra maneira, as tensões de ensaio devem ser as mesmas.

6.3 Ensaio normalizado de tensão suportável de impulso

O ensaio normalizado de tensão suportável de impulso consiste em um número especificado de aplicações da respectiva tensão suportável nominal normalizada nos terminais da configuração da isolação. Diferentes procedimentos de ensaio podem ser selecionados para demonstrar que as tensões suportáveis são atendidas com um grau de confiança que a experiência demonstrou ser aceitável.

O procedimento de ensaio deve ser selecionado pelas normas de equipamentos entre os seguintes procedimentos de ensaio que são normalizados e totalmente descritos na ABNT NBR IEC 60060-1:

- ensaio de tensão suportável de três impulsos, no qual nenhuma descarga disruptiva é tolerada;
- ensaio de tensão suportável de 15 impulsos, no qual são toleradas até duas descargas disruptivas sobre a isolação autorrecuperante;
- ensaio de tensão suportável de três impulsos, no qual é tolerada uma descarga disruptiva sobre a isolação autorrecuperante. Se isso ocorrer, nove impulsos adicionais devem ser aplicados, durante os quais nenhuma descarga disruptiva é tolerada;
- ensaio de tensão suportável pelo método de acréscimos e decréscimos com sete impulsos por nível, no qual são toleradas descargas disruptivas sobre a isolação autorrecuperante;
- ensaio de tensão suportável pelo método de acréscimos e decréscimos com um impulso por nível, que é recomendado somente se o desvio-padrão (referido a U_{50}), estabelecido na ABNT NBR IEC 60060-1, for conhecido. Os valores sugeridos por esta Norma, $s = 6\%$ para impulsos de manobra e $s = 3\%$ para impulsos atmosféricos, devem ser utilizados se, e somente se, for conhecido que $s \leq 6\%$ e $s \leq 3\%$, respectivamente. De outra forma, outros métodos devem ser utilizados.

Em todos os procedimentos de ensaio descritos anteriormente, nenhuma descarga disruptiva é tolerada na isolação não autorrecuperante. No caso do ensaio de tensão suportável de 15 impulsos aplicado em equipamentos onde estão envolvidas tanto a isolação autorrecuperante quanto a não autorrecuperante, o procedimento do ensaio de tensão suportável de 15 impulsos da ABNT NBR IEC 60060-1 é adaptado e usado para verificar que não ocorrem descargas disruptivas na isolação não autorrecuperante. O procedimento adaptado é o seguinte para cada polaridade:

- o número de impulsos é de no mínimo 15;
- nenhuma descarga disruptiva na isolação não autorrecuperante deve ocorrer; isto é confirmado pela suportabilidade à aplicação de cinco impulsos consecutivos após a última descarga disruptiva;
- o número de descargas disruptivas não pode exceder dois.

Este procedimento adaptado (ensaio de suportabilidade 2/15) pode finalmente levar ao máximo número possível de 25 impulsos para cada polaridade.

Nenhum significado estatístico pode ser dado ao ensaio de tensão suportável de três impulsos, no qual nenhuma descarga disruptiva é tolerada (P_w é assumida como sendo 100 %). Seu uso é limitado a casos em que a isolamento não autorrecuperante pode ser danificada por um grande número de aplicações de tensão.

Quando da seleção de um ensaio para equipamento no qual existe isolamento não autorrecuperante em paralelo com isolamento autorrecuperante, deve ser considerado seriamente o fato de que, em alguns procedimentos de ensaio, tensões maiores do que as tensões suportáveis nominais podem ser aplicadas e muitas descargas disruptivas podem ocorrer.

6.4 Situação alternativa de ensaio

Quando for muito dispendioso, muito difícil ou mesmo impossível executar os ensaios de tensão suportável em condições normalizadas de ensaio, as normas de equipamentos ou a norma de Ensaio Elétrico de Alta Tensão devem especificar a melhor solução para comprovar as respectivas tensões suportáveis nominais normalizadas. Uma possibilidade é executar o ensaio em uma situação alternativa de ensaio.

Uma situação alternativa de ensaio consiste em uma ou mais condições de ensaio diferentes das condições de ensaio normalizadas (arranjos de ensaio, valores ou tipos de tensões de ensaios etc.). É necessário, assim, demonstrar que as condições físicas para o desenvolvimento de descargas disruptivas, relativas à condição normalizada, não são alteradas.

NOTA Um exemplo típico é o uso de uma única fonte de tensão para os ensaios da isolamento longitudinal, com a base isolada, em vez de um ensaio de tensão combinada. Neste caso, a demonstração mencionada anteriormente, concernente ao desenvolvimento da descarga disruptiva, é uma condição muito restritiva para a aceitação da alternativa.

6.5 Ensaios normalizados de tensão suportável para isolamento fase-fase e longitudinal, para equipamentos na faixa 1

6.5.1 Ensaios de frequência fundamental

Para alguns equipamentos com $123 \text{ kV} \leq U_m \leq 245 \text{ kV}$, o isolamento fase-fase ou longitudinal pode requerer uma tensão suportável de frequência fundamental maior do que a tensão suportável normalizada de frequência fundamental fase-terra da Tabela 2. Em tais casos o ensaio deve, preferencialmente, ser executado com duas fontes de tensão. Um terminal deve ser energizado com a tensão suportável de frequência fundamental fase-terra e o outro com a diferença entre a tensão suportável de frequência fundamental fase-fase ou longitudinal e a tensão suportável de frequência fundamental fase-terra. O terminal de terra deve ser aterrado.

Alternativamente, o ensaio pode ser executado:

- a) com duas fontes de tensão de frequência fundamental em oposição de fases, cada uma energizando um terminal de fase com a metade da tensão suportável de frequência fundamental da isolamento fase-fase ou longitudinal. O terminal de terra deve ser aterrado;
- b) com uma fonte de tensão de frequência fundamental. No terminal de terra é permitida uma tensão para terra suficiente para evitar descargas disruptivas para a terra ou para o terminal de terra.

ABNT NBR 6939:2018

Se a tensão que o terminal, que está aterrado em serviço, assumir para a terra durante o ensaio influenciar a solicitação elétrica no terminal de fase (como ocorre em isolamento longitudinal a gás comprimido com $U_m \geq 72,5$ kV), algumas maneiras para manter esta tensão tão próxima quanto possível à diferença entre a tensão de ensaio da isolamento fase-fase ou longitudinal e aquela da isolamento fase-terra devem ser adotadas.

6.5.2 Ensaio de impulso atmosférico da isolamento fase-fase ou longitudinal

O isolamento fase-fase ou longitudinal pode requerer uma tensão suportável de impulso atmosférico maior do que a tensão suportável normalizada de impulso atmosférico fase-terra da Tabela 2. Nestes casos, os ensaios pertinentes devem ser executados imediatamente após os ensaios da isolamento fase-terra, aumentando a tensão sem alterar o arranjo de ensaio. Para avaliar os resultados dos ensaios, os impulsos que causarem descargas disruptivas para a terra não são considerados eventos.

Quando o número de descargas disruptivas para a terra não permite a execução do ensaio, um ensaio combinado deve ser adotado com uma componente do impulso igual à tensão suportável de impulso atmosférico fase-terra e uma componente de frequência fundamental com o valor de crista de polaridade oposta igual à diferença entre os valores das tensões suportáveis de impulso atmosférico fase-fase ou longitudinal e fase-terra. Alternativamente, para a isolamento externa, as respectivas normas de equipamentos podem especificar que o isolamento fase-terra seja aumentado.

6.6 Ensaio normalizados de tensão suportável para isolamento fase-fase e longitudinal, para equipamentos na faixa 2

O ensaio de tensão suportável combinado deve ser executado de acordo com os seguintes requisitos:

- a configuração do ensaio deve reproduzir adequadamente a configuração de serviço, especialmente com referência à influência do plano de terra;
- cada componente da tensão de ensaio deve ter os valores especificados em 5.10;
- o terminal de terra deve ser conectado à terra;
- em ensaios fase-fase, o terminal da terceira fase deve ser removido ou aterrado;
- em ensaios de isolamento longitudinal, os terminais das outras duas fases devem ser removidos ou aterrados.

O ensaio deve ser repetido para todas as possíveis combinações dos terminais de fase, a menos que seja provado desnecessário por considerações de simetria elétrica.

Na avaliação dos resultados dos ensaios qualquer descarga disruptiva é contada. Recomendações mais detalhadas para os ensaios são dadas pelas respectivas normas de equipamentos e pela ABNT NBR IEC 60060-1.

Para aplicações especiais, as respectivas normas de equipamentos podem estender aos equipamentos da faixa 2 os mesmos procedimentos de ensaio de tensão suportável de impulso atmosférico da isolamento longitudinal aplicáveis aos equipamentos da faixa 1.

Anexo A (normativo)

Espaçamentos em ar para assegurar a tensão suportável de impulso especificada para uma instalação

A.1 Geral

Em instalações completas (por exemplo, subestações), que não podem ser ensaiadas como um todo, é necessário garantir que a rigidez dielétrica seja adequada.

As tensões suportáveis de impulso atmosférico e de manobra no ar nas condições atmosféricas de referência normalizadas devem ser iguais ou maiores que as tensões suportáveis de impulso atmosférico e de manobra nominais normalizadas como especificado nesta Norma. De acordo com este princípio, os espaçamentos mínimos têm sido determinados para diferentes configurações de eletrodo. Os espaçamentos mínimos especificados são determinados de forma conservativa, levando em conta a experiência prática.

Estes espaçamentos se referem somente aos requisitos de coordenação do isolamento. Requisitos de segurança podem resultar em espaçamentos substancialmente maiores.

As Tabelas A.1 a A.3 são próprias para aplicação geral, uma vez que fornecem os espaçamentos mínimos que asseguram o nível de isolamento especificado.

Estes espaçamentos podem ser menores se for provado por ensaios em configurações reais ou similares que as tensões suportáveis de impulso normalizadas foram obtidas, considerando todas as condições ambientais relevantes que podem criar irregularidades nas superfícies dos eletrodos, por exemplo, chuva, poluição. Estas distâncias não são, portanto, aplicáveis a equipamentos que possuem um ensaio de tipo de impulso mandatório na especificação, já que um espaçamento mínimo obrigatório poderia prejudicar o projeto do equipamento, aumentar seu custo e impedir o progresso.

Os espaçamentos também podem ser menores onde for confirmado por experiência operativa que as sobretensões são menores do que aquelas esperadas na seleção das tensões suportáveis nominais normalizadas ou que a configuração do gap é mais favorável do que aquela assumida para os espaçamentos recomendados.

A Tabela A.1 correlaciona espaçamentos mínimos em ar com a tensão suportável de impulso atmosférico nominal normalizada para configurações de eletrodo do tipo haste-estrutura e, para a faixa 2, do tipo condutor-estrutura. Eles são aplicáveis para espaçamentos fase-terra, assim como para espaçamentos entre fases (ver nota na Tabela A.1).

A Tabela A.2 correlaciona espaçamentos mínimos em ar para configurações de eletrodo dos tipos condutor-estrutura e haste-estrutura, com a tensão suportável de impulso de manobra nominal normalizada fase-terra. A configuração condutor-estrutura cobre uma ampla faixa de configurações normalmente utilizadas.

A Tabela A.3 correlaciona espaçamentos mínimos em ar para configurações de eletrodo dos tipos condutor-condutor e haste-condutor, com a tensão suportável de impulso de manobra nominal normalizada fase-fase. A configuração assimétrica haste-condutor é a pior configuração de eletrodo normalmente encontrada em serviço. A configuração condutor-condutor cobre todas as configurações simétricas com formas de eletrodo similares nas duas fases.

ABNT NBR 6939:2018

Os espaçamentos em ar aplicáveis em serviço são determinados de acordo com as regras descritas nas Seções A.2 e A.3.

A.2 Faixa 1

O espaçamento em ar fase-terra e fase-fase é determinado na Tabela A.1 para a tensão suportável de impulso atmosférico nominal. A tensão suportável de frequência fundamental de curta duração nominal normalizada pode ser desprezada quando a razão entre a tensão suportável de impulso atmosférico nominal normalizada e a tensão suportável de frequência fundamental de curta duração nominal normalizada é maior do que 1,7.

Tabela A.1 – Correlação entre as tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso atmosférico e espaçamentos mínimos em ar (continua)

Tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico kV (crista)	Espaçamento mínimo mm	
	Haste-estrutura	Condutor-estrutura
20	60	
30 ^a	60	
40	60	
60	90	
75	120	
95	160	
110 ^a	220	
125	220	
145	270	
170	320	
200	380	
250	480	
325	630	
350 ^a	750	
380	750	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900

Tabela A.1 (conclusão)

Tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico kV (crista)	Espaçamento mínimo mm	
	Haste-estrutura	Condutor-estrutura
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 425	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900
2 250	4 500	4 150
2 400	4 800	4 450
2 550	5 100	4 700
2 700	5 400	5 000

^a Indica valores não constantes na IEC 60071-1.

NOTA 1 As tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso atmosférico são aplicáveis para fase-fase e fase-terra

NOTA 2 Para fase-terra, o espaçamento mínimo para condutor-estrutura e haste-estrutura é aplicável.

NOTA 3 Para fase-fase, o espaçamento mínimo para haste-estrutura é aplicável.

A.3 Faixa 2

O espaçamento fase-terra é o maior valor entre os espaçamentos determinados para a configuração haste-estrutura da Tabela A.1 para as tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso atmosférico e da Tabela A.2 para as tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso de manobra respectivamente.

O espaçamento fase-fase é o maior valor entre os espaçamentos determinados para a configuração haste-estrutura da Tabela A.1 para as tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso atmosférico e da Tabela A.3 para as tensões suportáveis normalizadas de impulso de manobra, respectivamente.

Os valores são válidos para altitudes que foram consideradas na determinação das tensões suportáveis especificadas.

Os espaçamentos necessários para a tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico para a isolamento longitudinal na faixa 2 podem ser obtidos adicionando-se 0,7 vez o valor de crista fase-terra da tensão máxima de um sistema (U_S) ao valor da tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico, dividindo esta soma por 500 kV/m.

Os espaçamentos necessários para a tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico longitudinal na faixa 2 são menores que os valores correspondentes fase-fase. Tais espaçamentos normalmente existem somente em ensaios de tipo de equipamentos e, portanto, valores mínimos não são fornecidos nesta Norma.

ABNT NBR 6939:2018

Tabela A.2 – Correlação entre as tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso de manobra e espaçamentos mínimos fase-terra em ar

Tensão suportável nominal normalizada de impulso de manobra kV (crista)	Espaçamento mínimo fase-terra mm	
	Haste-estrutura	Condutor-estrutura
750	1 900	1 600
850	2 400	1 800
950	2 900	2 200
1 050	3 400	2 600
1 175	4 100	3 100
1 300	4 800	3 600
1 425	5 600	4 200
1 550	6 400	4 900
1 675	7 400 ^a	5 600 ^a
1 800	8 300 ^a	6 300 ^a
1 950	9 500 ^a	7 200 ^a

^a Valores ainda sob consideração

Tabela A.3 – Correlação entre as tensões suportáveis nominais normalizadas de impulso de manobra e espaçamentos mínimos fase-fase em ar

Tensão suportável nominal normalizada de impulso de manobra			Espaçamento mínimo fase-fase mm	
Fase-terra kV (crista)	Valor fase-fase Valor fase-terra	Fase-fase kV (crista)	Condutor-condutor em paralelo	Haste-condutor
750	1,50	1 125	2 300	2 600
850	1,50	1 275	2 600	3 100
850	1,60	1 360	2 900	3 400
950	1,50	1 425	3 100	3 600
950	1,70	1 615	3 700	4 300
1 050	1,50	1 575	3 600	4 200
1 050	1,60	1 680	3 900	4 600
1 175	1,50	1 763	4 200	5 000
1 300	1,70	2 210	6 100	7 400
1 425	1,70	2 423	7 200	9 000
1 550	1,60	2 480	7 600	9 400
1 550	1,70	2 635	8 400 ^a	10 000 ^a
1 675	1,65	2 764	9 100 ^a	10 900 ^a
1 675	1,70	2 848	9 600 ^a	11 400 ^a
1 800	1,60	2 880	9 800 ^a	11 600 ^a
1 800	1,65	2 970	10 300 ^a	12 300 ^a
1 950	1,60	3 120	11 200 ^a	13 300 ^a

^a Valores ainda sob consideração.

Anexo B (informativo)

Níveis de isolamento nominais na faixa de tensões $1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$, para tensões máximas do equipamento U_m não normalizadas pela IEC, baseados na prática usual em alguns países

Tabela B.1 – Níveis de isolamento nominais na faixa de tensões $1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$, para tensões máximas do equipamento U_m não normalizadas pela IEC, baseados na prática usual em alguns países

Tensão máxima do equipamento U_m kV (eficaz)	Tensão suportável normalizada de frequência fundamental de curta duração kV (eficaz)	Tensão suportável nominal normalizada de impulso atmosférico kV (crista)
40,5	80	185
	80	190
	85	200
82,5	140	325
	150	380