



SPDA

MEMORIAL DESCRITIVO

FASE: Projeto Básico

PROPRIETÁRIO: Prefeitura Municipal de Telêmaco Borba - PR

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Paulo Bacilla

CAU: 15164-5

PROJETO SPDA

OBJETIVO

O presente memorial descritivo tem como objetivo, descrever as instalações de SPDA projetadas para o Condomínio do Idoso – Telêmaco Borba/PR

Por definição Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) protegem as edificações, equipamentos, instalações elétricas e de telecomunicações, reduzindo os danos impostos às estruturas, os impactos dos desligamentos e manutenções corretivas. Esses sistemas tem a função de proteção captando e direcionando a corrente elétrica proveniente da queda de raios para sistemas de aterramento (SOUZA, 2014).

CARACTERIZAÇÃO DA OBRA

O projeto é caracterizado por um condomínio fechado com 40 residências térreas geminadas exclusivamente para moradias de pessoas idosas de baixa renda, será implementado no município de Irati – PR, e contempla as seguintes edificações:

- **Casa unifamiliar geminada** em alvenaria de 40,61 m², 4,60m de altura;
- **Centro de convivência** em alvenaria com 218,62 m², 6,50 m de altura;
- **Guarita** em alvenaria com 13,84 m², 4,00m de altura;
- **Quiosque** com 13,84 m², 4,00 m de altura;
- **Castelo D'água** em alvenaria de bloco de concreto com 36,00 m², 4,00 m de altura.

DEFINIÇÕES E NOMENCLATURAS

Descarga Atmosférica – Descarga elétrica de origem atmosférica entre uma nuvem e a terra ou entre nuvens, constituindo em um ou mais impulsos de vários quilo/ampère;

Raio – Um dos impulsos elétricos de uma descarga;

Ponto de impacto – Ponto onde uma descarga atmosférica que atinge a terra, uma estrutura ou o sistema de proteção captor.

Eletrodo de Aterramento – Elemento ou conjunto ou conjunto de elementos do subsistema de aterramento que assegura o contato elétrico com o solo e dispersa a corrente de descarga atmosférica a terra;

Eletrodo de aterramento em anel ou malha de aterramento – Eletrodo de aterramento formando um anel fechado em volta da edificação ou estrutura;

Descida – Parte do SPDA destinada a conduzir a corrente de descarga atmosférica desde o sistema captor até a malha de aterramento;

Captor – Componente pontiagudo instalado no topo da edificação, destinado a interceptar as descargas atmosféricas;

BEP – Barramento equipotencial de potência;

DPS – Dispositivo de proteção de surto destinado a limitar as sobretensões transitórias;
LEP – Ligação equipotencial principal;
TAP - Terminal de aterramento principal

NORMAS TÉCNICAS DE REFERÊNCIA

ABNT NBR 5419/2015	Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas
ABNT NBR 5410	Instalações elétricas de baixa tensão
ABNT NBR 6326	Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente"
ABNT NBR 13571	Hastes de aterramento em aço cobreado e acessórios especificação
ABNT NBR15749: 2009	Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento

1. VERIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE SPDA NAS EDIFICAÇÕES

CONDIÇÕES GERAIS

Critério de avaliação da necessidade de proteção (SPDA)

Análise das edificações no Condomínio do Idoso-Telêmaco Borba/PR.

1.1 Casa unifamiliar geminada

Em alvenaria de 40,61 m², 4,60m de altura

Com base na ABNT NBR 5419-2, *item 4.3 Composição das componentes de Risco*, foram realizados os cálculos para o subitem a) R1: Risco de perda de vida humana.

R₁: Risco de perda de vida humana:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^1 + R_{M1}^1 + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^1 + R_{Z1}^1 \quad (1)$$

¹ Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa por em perigo a vida humana.

R _A	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)
R _B	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)
R _C	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)
R _M	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)

R_U	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)
R_V	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)
R_W	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)
R_X	Componente de risco para uma estrutura
R_Z	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)

Para cálculos de R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W , R_Z , foi utilizado o item **1.1 Análise dos componentes de risco** da **ABNT NBR 5419-2**, e seus subitens para encontrar as fórmulas referentes a cada termo, são listados a seguir:

1.1.1 Equação básica;

Cada componente de risco R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W e R_Z , como descrito em 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 e 4.2.5, pode ser expressa pela seguinte equação geral:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (5)$$

onde

N_X é o número de eventos perigosos por ano (ver também Anexo A);

P_X é a probabilidade de dano à estrutura (ver também Anexo B);

L_X é a perda consequente (ver também Anexo C).

1.1.2 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura (S1);

a) componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1)

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (6)$$

b) componente relacionado a danos físicos (D2)

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (7)$$

c) componente relacionado à falha de sistemas internos (D3)

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (8)$$

1.1.3 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura (S2);

— componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3):

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (9)$$

1.1.4 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S3);

a) componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1)

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (10)$$

b) componente relacionado a danos físicos (D2)

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (11)$$

c) componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3)

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad (12)$$

NOTA 1 Em muitos casos, N_{DJ} pode ser desprezado.

Para os respectivos cálculos como descrito no item 1.1 os termos N_x foram calculados junto ao anexo A, termos P_x anexo B e L_x anexo C, anexos referidos NBR 5419-2.

TERMOS N_X , REFERENTES AO ANEXO A.

1.1.5 Número de eventos perigosos para a estrutura (ND)

Termo ND referente ao cálculo de RA, RB e RC.

N_D pode ser avaliado como o produto:

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (A.4)$$

onde

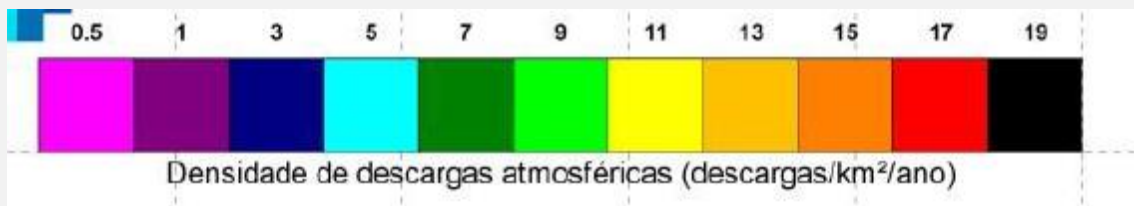
N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_D é a área de exposição equivalente da estrutura, expressa em metro quadrado (m^2) (ver Figura A.5);

C_D é o fator de localização da estrutura (ver Tabela A.1).

$$ND = 6 * 1443,070835 * 0,25 * 10^{-6} = 0,002164606$$

N_G → Mapas Impressos: Brasil e as cinco regiões brasileiras (Anexo F NBR 5419-2)



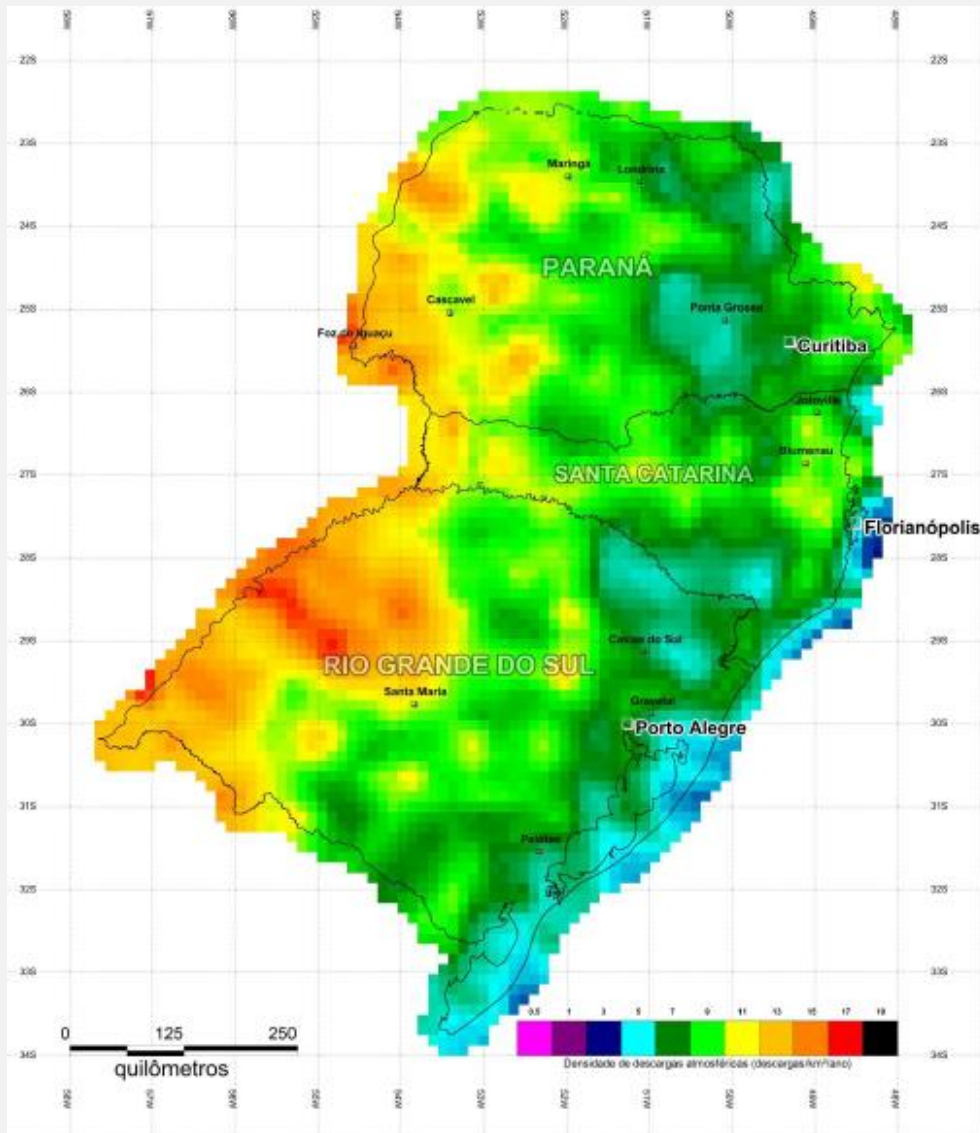


Figura F.6 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região sul (descargas atmosféricas/km²/ano)

N_G ADOTADO $\rightarrow 6$ (DESCARGAS/KM²/ANO)

$A_D \rightarrow$ ITEM A.2.1.1 ESTRUTURA RETANGULAR, ANEXO A, ABNT NBR 5419-2

A.2.1.1 Estrutura retangular

Para uma estrutura retangular isolada com comprimento L , largura W , e altura H em um solo plano, a área de exposição equivalente é dada por:

$$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad (A.2)$$

L =	15,58
W =	8,66
H =	4,7
AD =	1443,070835

CD Adotado → Em acordo com a Tabela A.1 Anexo A

Tabela A.1 – Fator de localização da estrutura C_D

Localização relativa	C_D
Estrutura cercada por objetos mais altos	0,25
Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	0,5
Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

CD → 0,25.

1.1.6 Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da estrutura (NM)

Termo NM referente ao cálculo de RM.

N_M pode ser avaliado como o produto:

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}$$

onde

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_M é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura, expressa em metro quadrado (m^2).

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2$$

$$A_M = 2 \times 500 \times (15,58 + 8,66) + \pi \times 500^2 = 809638,2$$

$$N_M = 6 \times 809638,2 \times 10^{-6} = 4,857829$$

1.1.7 Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha (NL)

Termo NL referente ao cálculo de RU, RV e RW.

Uma linha pode consistir em diversas seções. Para cada seção da linha, o valor de N_L pode ser avaliado por:

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (A.8)$$

onde

N_L é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_L é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em metro quadrado (m^2). (ver Figura A.5);

C_I é o fator de instalação da linha (ver Tabela A.2);

C_T é o fator tipo de linha (ver Tabela A.3);

C_E é o fator ambiental (ver Tabela A.4);

Com a área de exposição equivalente para a linha:

$$A_L = 40 \times L_L \quad (A.9)$$

onde

L_L é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m).

Onde o comprimento da seção da linha é desconhecido, pode ser assumido $L_L = 1\ 000$ m.

$$AL = 40 * 1000 = 40000$$

Tabela A.2 – Fator de instalação da linha C_I

Roteamento	C_I
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (ABNT NBR 5419-4:2015, 5.2).	0,01

Tabela A.3 – Fator tipo de linha C_T

Instalação	C_T
Linha de energia ou sinal	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	0,2

Tabela A.4 – Fator ambiental da linha C_E

Ambiente	C_E
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20 m.	0,01

$$NL = 6 * 40000 * 0,01 * 0,5 * 1 * 10^{-6} = 0,0002$$

1.1.8 Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da linha (NI)

Termo **NI** referente ao cálculo de **RZ**.

Uma linha pode consistir em diversas seções. Para cada seção da linha, o valor de N_I pode ser avaliado por

$$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.10})$$

onde

N_I é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_I é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra perto da linha, expressa em metro quadrado (m^2) (ver Figura A.5);

C_I é o fator de instalação (ver Tabela A.2);

C_T é o fator tipo da linha (ver Tabela A.3);

C_E é o fator ambiental (ver Tabela A.4).

Com a área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto da linha

$$A_I = 4\,000 \times L_L \quad (\text{A.11})$$

onde

L_L é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m).

$$NI = NL$$

TERMOS PX, REFERENTES AO ANEXO B.

1.1.9 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico (PA)

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (\text{B.1})$$

onde

P_{TA} depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo, como as listadas na Tabela B.1. Valores de P_{TA} são obtidos na Tabela B.1.

P_B depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA de acordo com o ABNT NBR 5419-3 foi projetado. Valores de P_B são obtidos na Tabela B.2.

$$PA = 0,01 * 1 = 0,01$$

Tabela B.1 – Valores de probabilidade P_{TA} de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas

Medida de proteção adicional	P_{TA}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	10 ⁻¹
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas))	10 ⁻²
Equipotencialização efetiva do solo	10 ⁻²
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

1.1.10 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos (PB)

Tabela B.2 – Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos

Características da estrutura	Classe do SPDA	P_B
Estrutura não protegida por SPDA	–	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural		0,001

1.1.11 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falhas a sistemas internos (PC)

A probabilidade P_C de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha dos sistemas internos é dada por:

$$P_C = P_{SPD} \times C_{LD} \quad (B.2)$$

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS conforme a ABNT NBR 5419-4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são fornecidos na Tabela B.3.

C_{LD} é um fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado. Valores de C_{LD} são fornecidos na Tabela B.4.

$$PC = 1 * 1 = 1$$

Tabela B.3 – Valores de probabilidade de P_{SPD} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	P_{SPD}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 2	0,005 – 0,001

Tabela B.4 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

1.1.12 Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falhas em sistemas internos (PM)

Para sistemas internos com equipamentos não conformes com a suportabilidade de tensão dados nas normas específicas de produto, $P_M = 1$ deve ser assumido.

1.1.13 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico (PU)

O valor de P_U é dado por:

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (B.8)$$

onde

P_{TU} depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta. Valores de P_{TU} são dados na Tabela B.6;

P_{EB} depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi projetado. Valores de P_{EB} são dados na Tabela B.7;

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descargas atmosféricas na linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{LD} são dados na Tabela B.8;

C_{LD} é um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolamento da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

$$PU = 0,01 * 0,01 * 1 * 1 = 0,0001$$

Tabela B.6 – Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas

Medida de proteção	P_{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica	10^{-2}
Restrições físicas	0

Tabela B.7 – Valor da probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	P_{EB}
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 – 0,001

Tabela B.8 – Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento

Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação	Tensão suportável U_W em kV					
		1	1,5	2,5	4	6	
Linhas de energia ou sinal	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	1	1	1	1	1	
	Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$5\Omega/\text{km} < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

1.1.14 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos (PV)

O valor de P_V é dado por:

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (\text{B.9})$$

onde

P_{EB} depende da ligação equipotencial para descarga atmosférica (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{EB} são dados na Tabela B.7;

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica em uma linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{LD} são dados na Tabela B.8;

C_{LD} é um fator que depende da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

$$PV = 0,01 * 1 * 1 = 0,01$$

1.1.15 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar falha de sistemas internos (PW)

O valor de P_W é dado por:

$$P_W = P_{SPD} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (\text{B.10})$$

onde

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são dados na Tabela B.3;

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica em uma linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{LD} são dados na Tabela B.8;

C_{LD} é um fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolamento da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

$$P_W = 1 * 1 * 1 = 1$$

1.1.16 Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha dos sistemas internos (PZ)

O valor de P_Z é dado por:

$$P_Z = P_{SPD} \times P_{LI} \times C_{LI} \quad (B.11)$$

onde

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são dados na Tabela B.3;

P_{LI} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica perto de uma linha conectada dependendo das características da linha e dos equipamentos. Valores de P_{LI} são dados na Tabela B.9;

C_{LI} é um fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolamento da linha. Valores de C_{LI} são dados na Tabela B.4.

Tabela B.4 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiaterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

$$P_Z = 1 * 1 * 1 = 1$$

TERMOS LX, REFERENTES AO ANEXO C.

Tabela C.1 – Tipo de perda L1: Valores da perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760$	(C.1)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760$	(C.2)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8760$	(C.3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z / n_t \times t_z / 8760$	(C.4)

onde

- L_T é número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- L_F é número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- L_O é número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- r_t é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso (ver Tabela C.3);
- r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio (ver Tabela C.4);
- r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (ver Tabela C.5);
- h_z é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (ver Tabela C.6);
- n_z é o número de pessoas na zona;
- n_t é o número total de pessoas na estrutura;
- t_z é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.

Tabela C.2 – Tipo de perda L1: Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O

Tipos de danos	Valor de perda típico	Tipo da estrutura
D1 ferimentos	L_T	10 ⁻² Todos os tipos
D2 danos físicos	L_F	10 ⁻¹ Risco de explosão
		10 ⁻¹ Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		5 × 10 ⁻² Entretenimento público, igreja, museu
		2 × 10 ⁻² Industrial, comercial
		10 ⁻² Outros
D3 falhas de sistemas internos	L_O	10 ⁻¹ Risco de explosão
		10 ⁻² Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		10 ⁻³ Outras partes de hospital

Tabela C.3 – Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso

Tipo de superfície ^b	Resistência de contato $k \Omega^a$	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Marmore, cerâmica	1 – 10	10^{-3}
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10^{-5}

^a Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm² comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

^b Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.

Tabela C.4 – Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

Providências	r_p
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático ^a	0,2

^a Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.

Tabela C.5 – Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura

Risco	Quantidade de risco	r_f
Explosão	Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	1
	Zonas 1, 21	10^{-1}
	Zonas 2, 22	10^{-3}
Incêndio	Alto	10^{-1}
	Normal	10^{-2}
	Baixo	10^{-3}
Explosão ou incêndio	Nenhum	0

Tabela C.6 – Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

Tipo de perigo especial	h_z
Sem perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	2
Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	5
Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	5
Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1 000 pessoas)	10

nz = 1

nt = 2

tz=0,65*8760 = 5694

La =	0,00000325
LU=	0,00000325
LB=LV=	0,01625
LC=LM=LW=LZ=	0,00325

Cálculos referentes a item **6. Análise dos componentes de risco ABNT NBR 5419-2**

Item 6.2	RA =	1,40699E-11
	RB =	7,03497E-06
	RC =	7,03497E-08
Item 6.3	RM =	0,015787944
Item 6.4	RU =	6,5E-14
	RV =	3,25E-08
	RW =	6,5E-09
Item 6.5	RZ =	6,5E-09

Retornando ao item 4.3 temos:

R_1 : Risco de perda de vida humana:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^1 + R_{M1}^1 + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^1 + R_{Z1}^1 \quad (1)$$

¹ Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa por em perigo a vida humana.

$$R_1 = (1,4 * 10^{-11}) + (7,035 * 10^{-6}) + (6,5 * 10^{-14}) + (3,25 * 10^{-8})$$

$$R_1 = 7,07 * 10^{-6}$$

Como parâmetro de verificação foi avaliado o R_r , o qual representa um risco tolerável, presente no item **5.3 Risco Tolerável**, da NBR 5419-2. Utilizou-se o parâmetro L1 que representa a perda de vida humana e ferimentos permanentes.

5.3 Risco tolerável R_T

É de responsabilidade da autoridade que tenha jurisdição identificar o valor do risco tolerável.

Valores representativos de risco tolerável R_T , onde as descargas atmosféricas envolvem perdas de vida humana ou perda de valores sociais ou culturais, são fornecidos na Tabela 4.

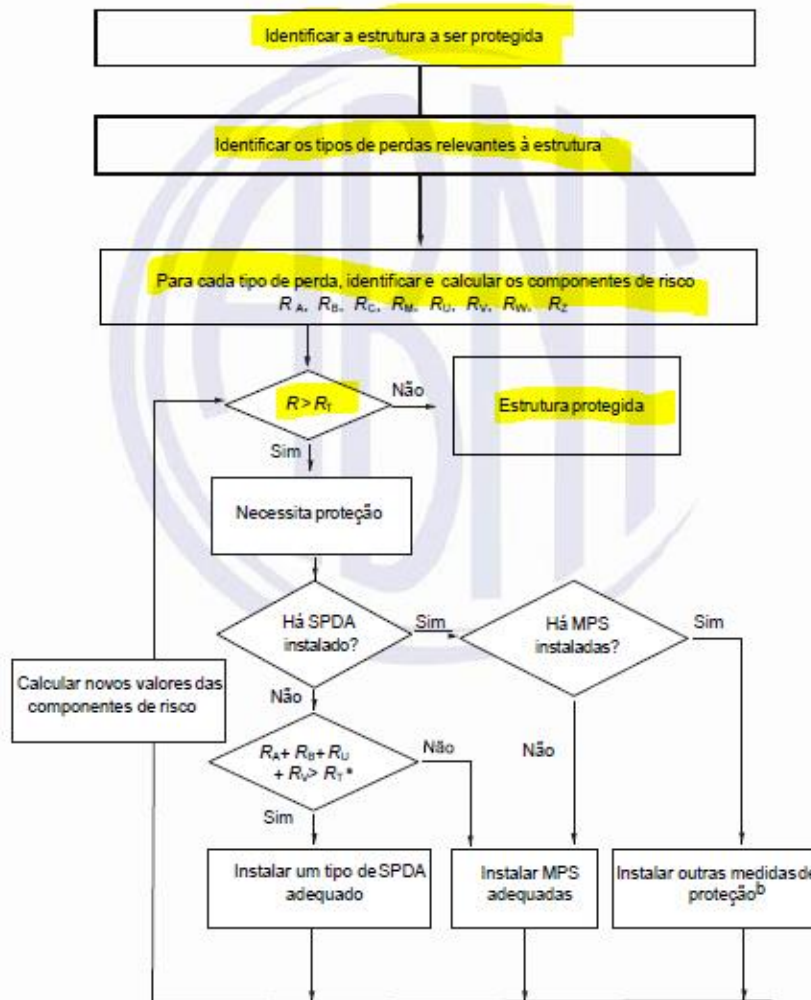
Tabela 4 – Valores típicos de risco tolerável R_T

Tipo de perda		$R_T (y^{-1})$
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
L3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Em princípio, para perda de valor econômico (L4), a rotina a ser seguida é a comparação custo/benefício dada no Anexo D. Se os dados para esta análise não estão disponíveis, o valor representativo de risco tolerável $R_T = 10^{-3}$ pode ser utilizado.

Utilizando também dos itens **5.4 Procedimento específico para avaliar a necessidade de proteção**, onde afirma-se que se $R \leq R_T$, a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária, e **5.5 Procedimento para avaliar o custo da eficiência da proteção**, onde em seu corpo de texto afirma que se $R_A + R_B < R_T$, um SPDA completo não é necessário; neste caso DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 são suficientes.

Devido ao R calculado ser menor que o valor R_T segue o caminho adotado pelo fluxograma do item **5.5 Procedimento para avaliar o custo da eficiência da proteção**.



^a Se $R_A + R_B < R_T$, um SPDA completo não é necessário; neste caso DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 são suficientes.

^b Ver Tabela 3.

1.2 Centro Comunitário (Social)

Com base na ABNT NBR 5419-2, **item 4.3 Composição das componentes de Risco**, foram realizados os cálculos para o subitem a) R1: Risco de perda de vida humana.

R_1 : Risco de perda de vida humana:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^1 + R_{M1}^1 + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^1 + R_{Z1}^1 \quad (1)$$

¹ Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa por em perigo a vida humana.

R_A	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)
R_B	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)
R_C	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)
R_M	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)

R_U	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)
R_V	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)
R_W	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)
R_X	Componente de risco para uma estrutura
R_Z	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)

Para cálculos de R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W , R_Z , foi utilizado o item **6. Análise dos componentes de risco** da **ABNT NBR 5419-2**, e seus subitens para encontrar as fórmulas referentes a cada termo, são listados a seguir:

1.2.1 Equação básica;

Cada componente de risco R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W e R_Z , como descrito em 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 e 4.2.5, pode ser expressa pela seguinte equação geral:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (5)$$

onde

N_X é o número de eventos perigosos por ano (ver também Anexo A);

P_X é a probabilidade de dano à estrutura (ver também Anexo B);

L_X é a perda consequente (ver também Anexo C).

1.2.2 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura (S1);

a) componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1)

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (6)$$

b) componente relacionado a danos físicos (D2)

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (7)$$

c) componente relacionado à falha de sistemas internos (D3)

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (8)$$

1.2.3 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura (S2);

— componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3):

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (9)$$

1.2.4 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S3);

a) componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1)

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (10)$$

b) componente relacionado a danos físicos (D2)

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (11)$$

c) componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3)

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad (12)$$

NOTA 1 Em muitos casos, N_{DJ} pode ser desprezado.

Para os respectivos cálculos como descrito no item 6.1 os termos N_x foram calculados junto ao anexo A, termos P_x anexo B e L_x anexo C, anexos referidos NBR 5419-2.

1.2.5 Termos N_x , referentes ao Anexo A.

Número de eventos perigosos para a estrutura (ND)

Termo ND referente ao cálculo de RA, RB e RC.

N_D pode ser avaliado como o produto:

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (A.4)$$

onde

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_D é a área de exposição equivalente da estrutura, expressa em metro quadrado (m^2) (ver Figura A.5);

C_D é o fator de localização da estrutura (ver Tabela A.1).

$$ND = 6 * 2561,87 * 0,25 * 10^{-6} = 0,003842806$$

$N_G \rightarrow$ Mapas Impressos: Brasil e as cinco regiões brasileiras (Anexo F NBR 5419-2)



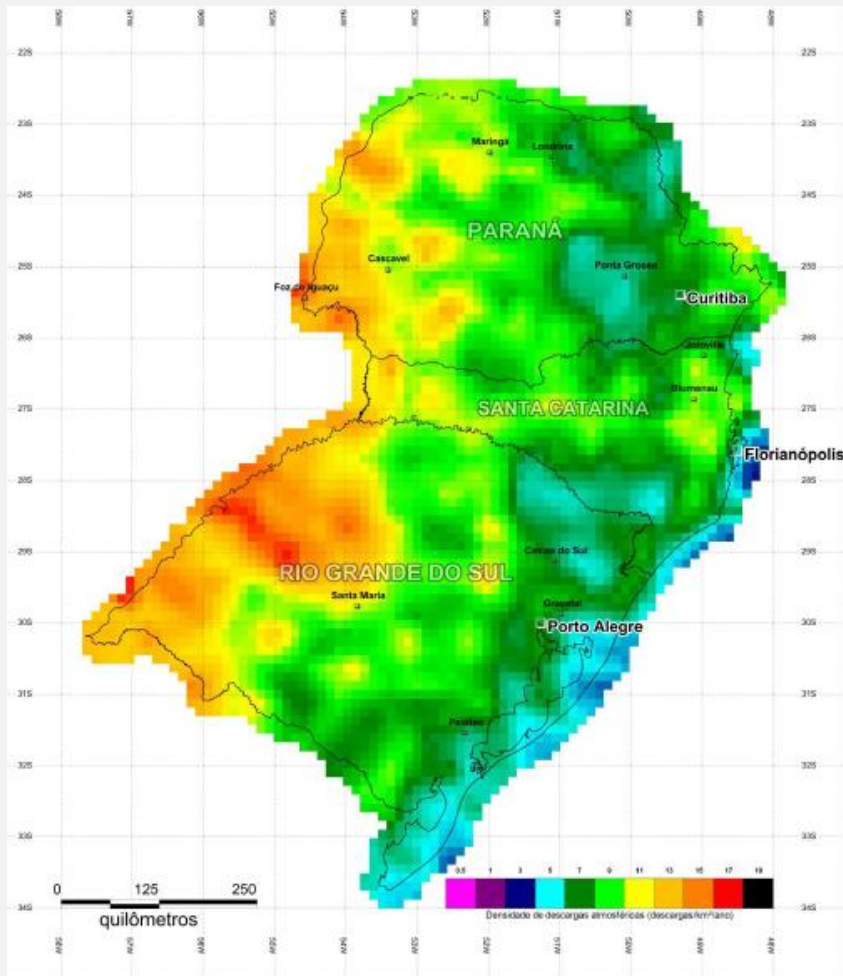


Figura F.6 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região sul (descargas atmosféricas/km²/ano)

N_G adotado → 6 (descargas/km²/ano)

A_D → ITEM A.2.1.1 Estrutura retangular, ANEXO A, ABNT NBR 5419-2

A.2.1.1 Estrutura retangular

Para uma estrutura retangular isolada com comprimento L , largura W , e altura H em um solo plano, a área de exposição equivalente é dada por:

$$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad (A.2)$$

L =	23,74
W =	15,4
H =	5,59
A _D =	2561,87

CD Adotado → Em acordo com a Tabela A.1 Anexo A

Tabela A.1 – Fator de localização da estrutura C_D

Localização relativa	C_D
Estrutura cercada por objetos mais altos	0,25
Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	0,5
Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

CD → 0,25.

1.2.6 Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da estrutura (NM)

Termo NM referente ao cálculo de RM.

N_M pode ser avaliado como o produto:

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}$$

onde

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_M é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura, expressa em metro quadrado (m^2).

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2$$

$$A_M = 2 \times 500 \times (23,74 + 15,4) + \pi \times 500^2 = 824538,2$$

$$N_M = 6 \times 824538,2 \times 10^{-6} = 4,95$$

1.2.7 Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha (NL)

Termo NL referente ao cálculo de RU, RV e RW.

Uma linha pode consistir em diversas seções. Para cada seção da linha, o valor de N_L pode ser avaliado por:

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (A.8)$$

onde

N_L é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_L é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em metro quadrado (m^2). (ver Figura A.5);

C_I é o fator de instalação da linha (ver Tabela A.2);

C_T é o fator tipo de linha (ver Tabela A.3);

C_E é o fator ambiental (ver Tabela A.4);

Com a área de exposição equivalente para a linha:

$$A_L = 40 \times L_L \quad (A.9)$$

onde

L_L é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m).

Onde o comprimento da seção da linha é desconhecido, pode ser assumido $L_L = 1\ 000$ m.

$$AL = 40 * 1000 = 40000$$

Tabela A.2 – Fator de instalação da linha C_I

Roteamento	C_I
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (ABNT NBR 5419-4:2015, 5.2).	0,01

Tabela A.3 – Fator tipo de linha C_T

Instalação	C_T
Linha de energia ou sinal	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	0,2

Tabela A.4 – Fator ambiental da linha C_E

Ambiente	C_E
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20 m.	0,01

$$NL = 6 * 40000 * 0,01 * 0,5 * 1 * 10^{-6} = 0,0002$$

1.2.8 Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da linha (NI)

Termo NI referente ao cálculo de RZ.

Uma linha pode consistir em diversas seções. Para cada seção da linha, o valor de N_i pode ser avaliado por

$$N_i = N_G \times A_i \times C_i \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.10})$$

onde

- N_i é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;
- N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km² × ano);
- A_i é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra perto da linha, expressa em metro quadrado (m²) (ver Figura A.5);
- C_i é o fator de instalação (ver Tabela A.2);
- C_T é o fator tipo da linha (ver Tabela A.3);
- C_E é o fator ambiental (ver Tabela A.4).

Com a área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto da linha

$$A_i = 4\,000 \times L_L \quad (\text{A.11})$$

onde

- L_L é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m).

$$NI = NL$$

Termos Px, referentes ao Anexo B.

1.2.9 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico (PA)

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (\text{B.1})$$

onde

- P_{TA} depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo, como as listadas na Tabela B.1. Valores de P_{TA} são obtidos na Tabela B.1.
- P_B depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA de acordo com o ABNT NBR 5419-3 foi projetado. Valores de P_B são obtidos na Tabela B.2.

$$PA = 0,01 * 1 = 0,01$$

Tabela B.1 – Valores de probabilidade P_{TA} de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas

Medida de proteção adicional	P_{TA}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	10 ⁻¹
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas)	10 ⁻²
Equipotencialização efetiva do solo	10 ⁻²
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

1.2.10 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos (PB)

Tabela B.2 – Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos

Características da estrutura	Classe do SPDA	P_B
Estrutura não protegida por SPDA	–	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural		0,001

1.2.11 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falhas a sistemas internos (PC)

A probabilidade P_C de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha dos sistemas internos é dada por:

$$P_C = P_{SPD} \times C_{LD} \quad (B.2)$$

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS conforme a ABNT NBR 5419-4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são fornecidos na Tabela B.3.

C_{LD} é um fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado. Valores de C_{LD} são fornecidos na Tabela B.4.

$$P_C = 1 * 1 = 1$$

Tabela B.3 – Valores de probabilidade de P_{SPD} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	P_{SPD}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 2	0,005 – 0,001

Tabela B.4 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

1.2.12 Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falhas em sistemas internos (PM)

Para sistemas internos com equipamentos não conformes com a suportabilidade de tensão dados nas normas específicas de produto, $P_M = 1$ deve ser assumido.

1.2.13 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico (PU)

O valor de P_U é dado por:

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (B.8)$$

onde

P_{TU} depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta. Valores de P_{TU} são dados na Tabela B.6;

P_{EB} depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi projetado. Valores de P_{EB} são dados na Tabela B.7;

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descargas atmosféricas na linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{LD} são dados na Tabela B.8;

C_{LD} é um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolação da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

$$P_U = 0,01 * 0,01 * 1 * 1 = 0,0001$$

Tabela B.6 – Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas

Medida de proteção	P_{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica	10^{-2}
Restrições físicas	0

Tabela B.7 – Valor da probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	P_{EB}
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 – 0,001

Tabela B.8 – Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento

Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação		Tensão suportável U_W em kV				
			1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia ou sinal	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento		1	1	1	1	1
	Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$5\Omega/\text{km} < R_S \leq 20\Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5\Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq 1\Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

1.2.14 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos (PV)

O valor de P_V é dado por:

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (B.9)$$

onde

P_{EB} depende da ligação equipotencial para descarga atmosférica (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{EB} são dados na Tabela B.7;

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica em uma linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{LD} são dados na Tabela B.8;

C_{LD} é um fator que depende da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

$$P_V = 0,01 * 1 * 1 = 0,01$$

1.2.15 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar falha de sistemas internos (PW)

O valor de P_W é dado por:

$$P_W = P_{SPD} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (B.10)$$

onde

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são dados na Tabela B.3;

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica em uma linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{LD} são dados na Tabela B.8;

C_{LD} é um fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolamento da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

$$P_W = 1 * 1 * 1 = 1$$

1.2.16 Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha dos sistemas internos (PZ)

O valor de P_Z é dado por:

$$P_Z = P_{SPD} \times P_{LI} \times C_{LI} \quad (B.11)$$

onde

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são dados na Tabela B.3;

P_{LI} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica perto de uma linha conectada dependendo das características da linha e dos equipamentos. Valores de P_{LI} são dados na Tabela B.9;

C_{LI} é um fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolamento da linha. Valores de C_{LI} são dados na Tabela B.4.

Tabela B.4 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

$$PZ = 1 * 1 * 1 = 1$$

Termos L_x , referentes ao Anexo C.

Tabela C.1 – Tipo de perda L1: Valores da perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760$	(C.1)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760$	(C.2)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8760$	(C.3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z / n_t \times t_z / 8760$	(C.4)

onde

- L_T é número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- L_F é número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- L_O é número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- r_t é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso (ver Tabela C.3);
- r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio (ver Tabela C.4);
- r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (ver Tabela C.5);
- h_z é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (ver Tabela C.6);
- n_z é o número de pessoas na zona;
- n_t é o número total de pessoas na estrutura;
- t_z é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.

Tabela C.2 – Tipo de perda L1: Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo da estrutura
D1 ferimentos	L_T	10 ⁻²	Todos os tipos
D2 danos físicos	L_F	10 ⁻¹	Risco de explosão
		10 ⁻¹	Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		5 × 10 ⁻²	Entretenimento público, igreja, museu
		2 × 10 ⁻²	Industrial, comercial
		10 ⁻²	Outros
D3 falhas de sistemas internos	L_O	10 ⁻¹	Risco de explosão
		10 ⁻²	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		10 ⁻³	Outras partes de hospital

Tabela C.3 – Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso

Tipo de superfície ^b	Resistência de contato $k \Omega^a$	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10 ⁻²
Marmore, cerâmica	1 – 10	10 ⁻³
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	10 ⁻⁴
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10 ⁻⁵

^a Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm² comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

^b Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.

Tabela C.4 – Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

Providências	r_p
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático ^a	0,2

^a Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.

Tabela C.5 – Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura

Risco	Quantidade de risco	r_f
Explosão	Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	1
	Zonas 1, 21	10^{-1}
	Zonas 2, 22	10^{-3}
Incêndio	Alto	10^{-1}
	Normal	10^{-2}
	Baixo	10^{-3}
Explosão ou incêndio	Nenhum	0

Tabela C.6 – Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

Tipo de perigo especial	h_z
Sem perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	2
Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	5
Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	5
Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1 000 pessoas)	10

$n_z = 40$

$n_t = 80$

$t_z = 0,20 \cdot 8760 = 1752$

$L_a =$	0,000001
$L_U =$	0,000001
$L_B = L_V =$	0,0002
$L_C = L_M = L_W = L_Z =$	0,0001

Cálculos referentes a item **6. Análise dos componentes de risco ABNT NBR 5419-2**

	RA =	3,84281E-11
	RB =	7,68561E-07
	RC =	3,84281E-07
	RM =	0,000494723
	RU =	2E-14
	RV =	4E-10
	RW =	0,00000002
	RZ =	0,00000002

Retornando ao item 4.3 temos:

R_1 : Risco de perda de vida humana:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1} + R_{M1} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1} + R_{Z1} \quad (1)$$

¹ Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa por em perigo a vida humana.

$$R_1 = (3,84 * 10^{-11}) + (7,68 * 10^{-7}) + (2 * 10^{-14}) + (4 * 10^{-8})$$

$$R_1 = 7,69 * 10^{-7}$$

Como parâmetro de verificação foi avaliado o R_r , o qual representa um risco tolerável, presente no item **5.3 Risco Tolerável**, da NBR 5419-2. Utilizou-se o parâmetro L1 que representa a perda de vida humana e ferimentos permanentes.

5.3 Risco tolerável R_T

É de responsabilidade da autoridade que tenha jurisdição identificar o valor do risco tolerável.

Valores representativos de risco tolerável R_T , onde as descargas atmosféricas envolvem perdas de vida humana ou perda de valores sociais ou culturais, são fornecidos na Tabela 4.

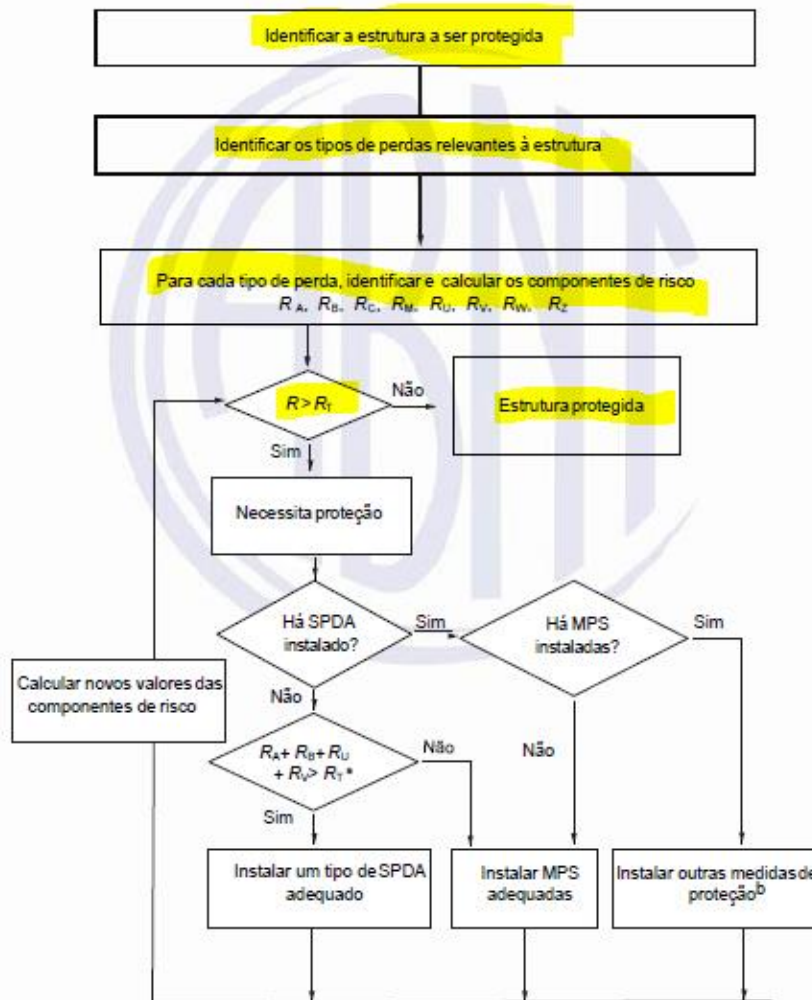
Tabela 4 – Valores típicos de risco tolerável R_T

Tipo de perda		$R_T (y^{-1})$
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
L3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Em princípio, para perda de valor econômico (L4), a rotina a ser seguida é a comparação custo/benefício dada no Anexo D. Se os dados para esta análise não estão disponíveis, o valor representativo de risco tolerável $R_T = 10^{-3}$ pode ser utilizado.

Utilizando também dos itens **5.4 Procedimento específico para avaliar a necessidade de proteção**, onde afirma-se que se $R \leq R_T$, a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária, e **5.5 Procedimento para avaliar o custo da eficiência da proteção**, onde em seu corpo de texto afirma que se $R_A + R_B < R_T$, um SPDA completo não é necessário; neste caso DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 são suficientes.

Devido ao R calculado ser menor que o valor R_T segue o caminho adotado pelo fluxograma do item **5.5 Procedimento para avaliar o custo da eficiência da proteção**.



^a Se $R_A + R_B < R_T$, um SPDA completo não é necessário; neste caso DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 são suficientes.

^b Ver Tabela 3.

1.3 Reservatório D'água

Com base na ABNT NBR 5419-2, **item 4.3 Composição das componentes de Risco**, foram realizados os cálculos para o subitem a) R1: Risco de perda de vida humana.

R_1 : Risco de perda de vida humana:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^1 + R_{M1}^1 + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^1 + R_{Z1}^1 \quad (1)$$

¹ Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa por em perigo a vida humana.

R_A Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)

R_B Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)

R_C Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)

R_M Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)

R_U	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)
R_V	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)
R_W	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)
R_X	Componente de risco para uma estrutura
R_Z	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)

Para cálculos de R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W , R_Z , foi utilizado o item **6. Análise dos componentes de risco** da **ABNT NBR 5419-2**, e seus subitens para encontrar as fórmulas referentes a cada termo, são listados a seguir:

1.3.1 Equação básica:

Cada componente de risco R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W e R_Z , como descrito em 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 e 4.2.5, pode ser expressa pela seguinte equação geral:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (5)$$

onde

N_X é o número de eventos perigosos por ano (ver também Anexo A);

P_X é a probabilidade de dano à estrutura (ver também Anexo B);

L_X é a perda consequente (ver também Anexo C).

1.3.2 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura (S1);

a) componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1)

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (6)$$

b) componente relacionado a danos físicos (D2)

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (7)$$

c) componente relacionado à falha de sistemas internos (D3)

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (8)$$

1.3.3 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura (S2);

— componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3):

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (9)$$

1.3.4 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S3);

a) componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1)

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (10)$$

b) componente relacionado a danos físicos (D2)

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (11)$$

c) componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3)

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad (12)$$

NOTA 1 Em muitos casos, N_{DJ} pode ser desprezado.

Para os respectivos cálculos como descrito no item 6.1 os termos N_x foram calculados junto ao anexo A, termos P_x anexo B e L_x anexo C, anexos referidos NBR 5419-2.

TERMOS N_X , REFERENTES AO ANEXO A.

1.3.5 Número de eventos perigosos para a estrutura (ND)

Termo ND referente ao cálculo de RA, RB e RC.

N_D pode ser avaliado como o produto:

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-8} \quad (A.4)$$

onde

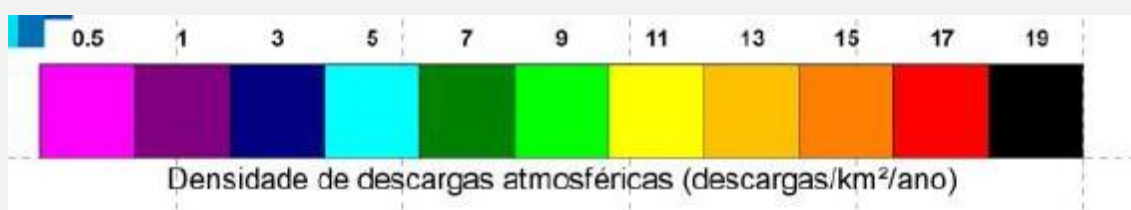
N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_D é a área de exposição equivalente da estrutura, expressa em metro quadrado (m^2) (ver Figura A.5);

C_D é o fator de localização da estrutura (ver Tabela A.1).

$$ND = 6 * 8641,12777 * 1,0 * 10^{-6} = 0,0518$$

N_G → Mapas Impressos: Brasil e as cinco regiões brasileiras (Anexo F NBR 5419-2)



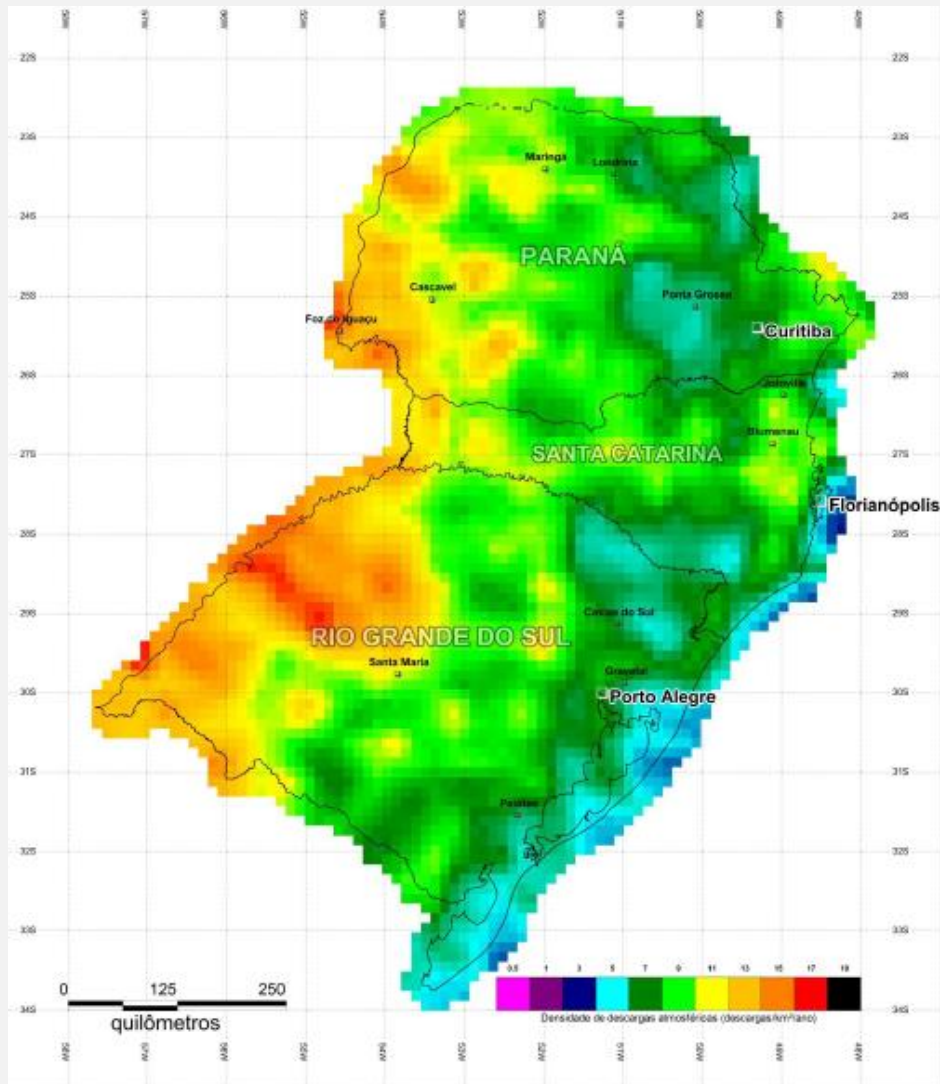


Figura F.6 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região sul (descargas atmosféricas/km²/ano)

N_G ADOTADO $\rightarrow 6$ (DESCARGAS/KM²/ANO)

$A_D \rightarrow$ ITEM A.2.1.1 ESTRUTURA RETANGULAR, ANEXO A, ABNT NBR 5419-2

A.2.1.1 Estrutura retangular

Para uma estrutura retangular isolada com comprimento L , largura W , e altura H em um solo plano, a área de exposição equivalente é dada por:

$$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad (A.2)$$

L =	4,56
W =	4,56
H =	4,00
$A_D =$	500,04

CD Adotado \rightarrow Em acordo com a Tabela A.1 Anexo A

Tabela A.1 – Fator de localização da estrutura C_D

Localização relativa	C_D
Estrutura cercada por objetos mais altos	0,25
Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	0,5
Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

$C_D \rightarrow 1,00$.

1.3.6 Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da estrutura (NM)

Termo NM referente ao cálculo de RM.

N_M pode ser avaliado como o produto:

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-8}$$

onde

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_M é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura, expressa em metro quadrado (m^2).

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2$$

$$A_M = 2 \times 500 \times (4,56 + 4,56) + \pi \times 500^2 = 794518,2$$

$$N_M = 6 \times 794518,2 \times 10^{-6} = 4,767$$

1.3.7 Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha (NL)

Termo NL referente ao cálculo de RU, RV e RW.

Uma linha pode consistir em diversas seções. Para cada seção da linha, o valor de N_L pode ser avaliado por:

$$N_L = N_G \times A_L \times C_1 \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (A.8)$$

onde

N_L é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_L é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em metro quadrado (m^2). (ver Figura A.5);

C_1 é o fator de instalação da linha (ver Tabela A.2);

C_T é o fator tipo de linha (ver Tabela A.3);

C_E é o fator ambiental (ver Tabela A.4);

Com a área de exposição equivalente para a linha:

$$A_L = 40 \times L_L \quad (A.9)$$

onde

L_L é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m).

Onde o comprimento da seção da linha é desconhecido, pode ser assumido $L_L = 1\ 000$ m.

$$AL = 40 * 1000 = 40000$$

Tabela A.2 – Fator de instalação da linha C_1

Roteamento	C_1
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (ABNT NBR 5419-4:2015, 5.2).	0,01

Tabela A.3 – Fator tipo de linha C_T

Instalação	C_T
Linha de energia ou sinal	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	0,2

Tabela A.4 – Fator ambiental da linha C_E

Ambiente	C_E
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20 m.	0,01

2.

$$NL = 6 * 40000 * 0,01 * 0,5 * 1 * 10^{-6} = 0,0002$$

1.3.8 Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da linha (NI)

Termo NI referente ao cálculo de RZ.

Uma linha pode consistir em diversas seções. Para cada seção da linha, o valor de N_l pode ser avaliado por

$$N_l = N_G \times A_l \times C_l \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.10})$$

onde

- N_l é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;
- N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);
- A_l é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra perto da linha, expressa em metro quadrado (m^2) (ver Figura A.5);
- C_l é o fator de instalação (ver Tabela A.2);
- C_T é o fator tipo da linha (ver Tabela A.3);
- C_E é o fator ambiental (ver Tabela A.4).

Com a área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto da linha

$$A_l = 4\,000 \times L_L \quad (\text{A.11})$$

onde

- L_L é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m).

$$NI = NL$$

TERMOS PX, REFERENTES AO ANEXO B.

1.3.9 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico (PA)

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (\text{B.1})$$

onde

- P_{TA} depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo, como as listadas na Tabela B.1. Valores de P_{TA} são obtidos na Tabela B.1.
- P_B depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA de acordo com o ABNT NBR 5419-3 foi projetado. Valores de P_B são obtidos na Tabela B.2.

$$PA = 1 \times 0,1 = 0,1$$

Tabela B.1 – Valores de probabilidade P_{TA} de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas

Medida de proteção adicional	P_{TA}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas)	10^{-2}
Equipotencialização efetiva do solo	10^{-2}
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

1.3.10 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos (PB)

Tabela B.2 – Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos

Características da estrutura	Classe do SPDA	P_B
Estrutura não protegida por SPDA	–	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural		0,001

1.3.11 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falhas a sistemas internos (PC)

A probabilidade P_C de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha dos sistemas internos é dada por:

$$P_C = P_{SPD} \times C_{LD} \quad (B.2)$$

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS conforme a ABNT NBR 5419-4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são fornecidos na Tabela B.3.

C_{LD} é um fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado. Valores de C_{LD} são fornecidos na Tabela B.4.

$$PC = 1 * 1 = 1$$

Tabela B.3 – Valores de probabilidade de P_{SPD} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	P_{SPD}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 2	0,005 – 0,001

Tabela B.4 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiaterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

1.3.12 Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falhas em sistemas internos (PM)

Para sistemas internos com equipamentos não conformes com a suportabilidade de tensão dados nas normas específicas de produto, $P_M = 1$ deve ser assumido.

1.3.13 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico (PU)

O valor de P_U é dado por:

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (B.8)$$

onde

P_{TU} depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta. Valores de P_{TU} são dados na Tabela B.6;

P_{EB} depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi projetado. Valores de P_{EB} são dados na Tabela B.7;

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descargas atmosféricas na linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{LD} são dados na Tabela B.8;

C_{LD} é um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolação da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

$$P_U = 0,01 * 0,01 * 1 * 1 = 0,0001$$

Tabela B.6 – Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas

Medida de proteção	P_{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica	10^{-2}
Restrições físicas	0

Tabela B.7 – Valor da probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	P_{EB}
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 – 0,001

Tabela B.8 – Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento

Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação	Tensão suportável U_W em kV					
		1	1,5	2,5	4	6	
Linhas de energia ou sinal	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	1	1	1	1	1	
	Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$5\Omega/\text{km} < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

1.3.14 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos (PV)

O valor de P_V é dado por:

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (\text{B.9})$$

onde

P_{EB} depende da ligação equipotencial para descarga atmosférica (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{EB} são dados na Tabela B.7;

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica em uma linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{LD} são dados na Tabela B.8;

C_{LD} é um fator que depende da blindagem, aterramento e condições de isolação da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

$$PV = 0,01 * 1 * 1 = 0,01$$

1.3.15 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar falha de sistemas internos (PW)

O valor de P_W é dado por:

$$P_W = P_{SPD} * P_{LD} * C_{LD} \quad (B.10)$$

onde

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são dados na Tabela B.3;

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica em uma linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{LD} são dados na Tabela B.8;

C_{LD} é um fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolação da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

$$P_W = 1 * 1 * 1 = 1$$

1.3.16 Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha dos sistemas internos (PZ)

O valor de P_Z é dado por:

$$P_Z = P_{SPD} * P_{LI} * C_{LI} \quad (B.11)$$

onde

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são dados na Tabela B.3;

P_{LI} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica perto de uma linha conectada dependendo das características da linha e dos equipamentos. Valores de P_{LI} são dados na Tabela B.9;

C_{LI} é um fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolação da linha. Valores de C_{LI} são dados na Tabela B.4.

Tabela B.4 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

$$PZ = 1 * 1 * 1 = 1$$

TERMOS LX, REFERENTES AO ANEXO C.

Tabela C.1 – Tipo de perda L1: Valores da perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times n_Z / n_t \times t_z / 8760$	(C.1)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times n_Z / n_t \times t_z / 8760$	(C.2)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_Z / n_t \times t_z / 8760$	(C.3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_Z / n_t \times t_z / 8760$	(C.4)

onde

- L_T é número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- L_F é número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- L_O é número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- r_t é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso (ver Tabela C.3);
- r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio (ver Tabela C.4);
- r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (ver Tabela C.5);
- h_z é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (ver Tabela C.6);
- n_z é o número de pessoas na zona;
- n_t é o número total de pessoas na estrutura;
- t_z é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.

Tabela C.2 – Tipo de perda L1: Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo da estrutura
D1 ferimentos	L_T	10^{-2}	Todos os tipos
D2 danos físicos	L_F	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-1}	Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		5×10^{-2}	Entretenimento público, igreja, museu
		2×10^{-2}	Industrial, comercial
		10^{-2}	Outros
D3 falhas de sistemas internos	L_O	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-2}	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		10^{-3}	Outras partes de hospital

Tabela C.3 – Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso

Tipo de superfície ^b	Resistência de contato $k \Omega^a$	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Marmore, cerâmica	1 – 10	10^{-3}
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10^{-5}

^a Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm² comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

^b Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.

Tabela C.4 – Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

Providências	r_p
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático ^a	0,2

^a Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.

Tabela C.5 – Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura

Risco	Quantidade de risco	r_f
Explosão	Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	1
	Zonas 1, 21	10^{-1}
	Zonas 2, 22	10^{-3}
Incêndio	Alto	10^{-1}
	Normal	10^{-2}
	Baixo	10^{-3}
Explosão ou incêndio	Nenhum	0

Tabela C.6 – Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

Tipo de perigo especial	h_z
Sem perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	2
Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	5
Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	5
Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1 000 pessoas)	10

$$n_z = 1$$

$$n_t = 1$$

$$t_z = 0,01 * 8760 = 87,6$$

La =	0,000001
LU =	0,000001
LB=LV =	0,0005
LC=LM=LW=LZ =	0,00001

Cálculos referentes a item **6. Análise dos componentes de risco ABNT NBR 5419-**

	RA =	5,18468E-09
	RB =	2,59234E-06
	RC =	5,18468E-07
	RM =	4,76711E-05
	RU =	2E-14
	RV =	0,000000001
	RW =	0,000000002
	Rz =	0,000000002

R_1 : Risco de perda de vida humana:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1} + R_{M1} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1} + R_{Z1} \quad (1)$$

¹ Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa por em perigo a vida humana.

$$R_1 = (5,18 * 10^{-9}) + (2,60 * 10^{-6}) + (2 * 10^{-14}) + (10^{-9})$$

$$R_1 = 2,6 * 10^{-6}$$

Como parâmetro de verificação foi avaliado o R_T , o qual representa um risco tolerável, presente no item **5.3 Risco Tolerável**, da NBR 5419-2. Utilizou-se o parâmetro L1 que representa a perda de vida humana e ferimentos permanentes.

5.3 Risco tolerável R_T

É de responsabilidade da autoridade que tenha jurisdição identificar o valor do risco tolerável.

Valores representativos de risco tolerável R_T , onde as descargas atmosféricas envolvem perdas de vida humana ou perda de valores sociais ou culturais, são fornecidos na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores típicos de risco tolerável R_T

Tipo de perda		$R_T (y^{-1})$
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
L3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

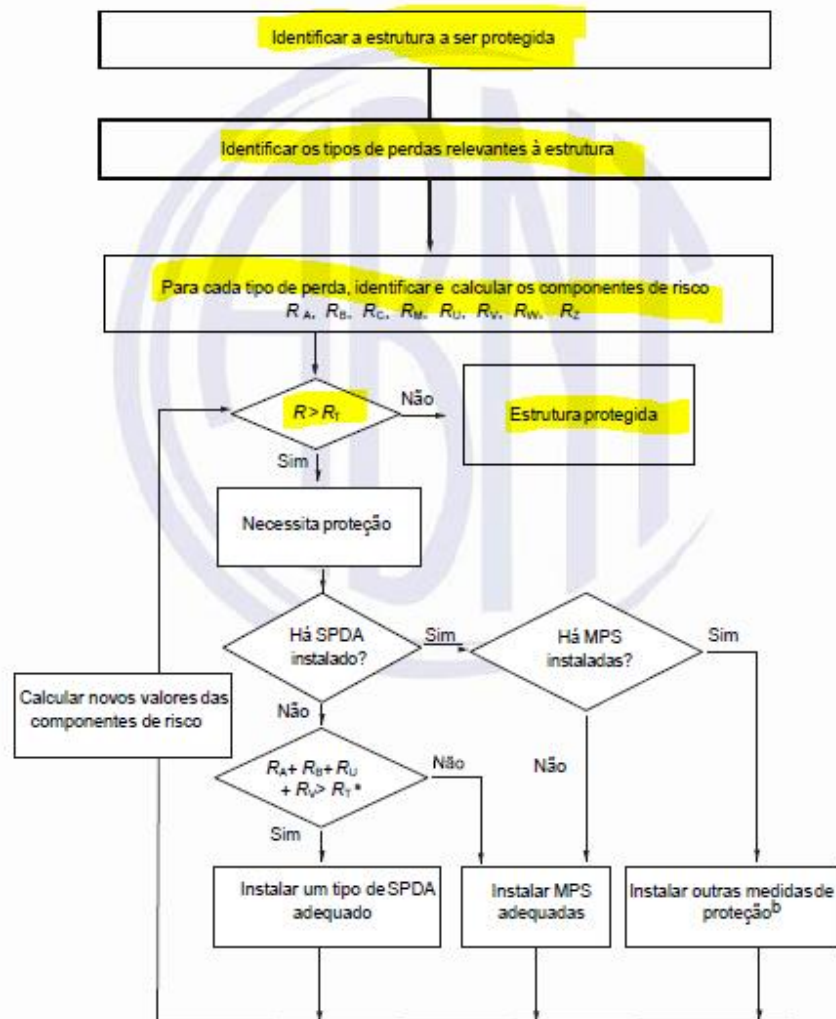
Em princípio, para perda de valor econômico (L4), a rotina a ser seguida é a comparação custo/benefício dada no Anexo D. Se os dados para esta análise não estão disponíveis, o valor representativo de risco tolerável $R_T = 10^{-3}$ pode ser utilizado.

1.3.18 Conclusão:

Procedimento para avaliar o custo da eficiência da proteção, afirma que se $RA + RB < RT$, necessário SPDA

Devido ao R_1 calculado ser menor que o valor RT segue o caminho adotado pelo fluxograma.

Como a edificação está protegida por sistema SPDA tipo Franklin verifica-se a condição de $R_T < R_I$ estando a mesma protegida.



^a Se $R_A + R_B < R_T$, um SPDA completo não é necessário; neste caso DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 são suficientes.

^b Ver Tabela 3.

3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO

O SPDA foi projetado para realizar a proteção das edificações e áreas descobertas contra descargas atmosféricas e localizado de forma a ficar no ponto mais alto da área do empreendimento.

Sistema de captação projetado é do tipo Franklin montagem tipo porta bandeira com mastro de 10,00m de altura ao lado da edificação da caixa d'água, o cone de proteção projetado a 45° cobrindo totalmente a edificação.

Os condutores utilizados no projeto de SPDA não poderão ser lançados, em hipótese alguma, junto aos condutores e conduites de eletricidade e cabeamento estruturado. Os condutores de SPDA devem ser lançados conforme projeto respeitando as determinações da NBR 5419:2015.

O projeto deverá ser executado respeitando as determinações da NBR5419:2015.

Observo que todos os materiais especificados e citados no projeto deverão obedecer às suas respectivas normas técnicas. Essas normas técnicas são estabelecidas pela NBR (ABNT) no Brasil. Em caso de omissão da NBR

4. SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO

O sistema de captação será do com um captor Franklin, com 1 descida externa, utilizando cabos de 35mm², com um sistema de aterramento todo interligado por cabo de cobre nu 7 fios de 50mm², utilizando 3 hastes de terra de 5/8" x 2,4m de alta camada.

O cabo a ser utilizado na captação é o cabo de cobre nu de 35 mm², 7 fios. Esse cabo será fixado nas platibandas conforme detalhes apresentados em projeto.

5. SUBSISTEMA DE DESCIDA

As descidas naturais utilizaram cabo de 35mm², para tal será utilizado o mastro de 10,00m. Os cabos da descida deverão ser passados pelos isoladores conduzindo o mesmo ao aterramento conectando as hastes e interligando ao aterramento geral.

A conexão entre a captação e as descidas serão feitas através de solda Exotérmica.

6. SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO

Os condutores de aterramento serão conforme desenho em projeto. Os condutores de aterramento deverão ser de cobre nu, 7 fios, com 50 mm² de bitola.

Todas as hastes de terra deverão ser interligadas por um cabo de cobre nu e serão Cobreadas Alta Camada, Ø5/8" x 2,40m (Ø 14,3mm – Efetivo) de modo a formar um anel. Esse cabo deve ser enterrado no solo a uma profundidade mínima de 0,5 metros. Os cabos de aterramento que interliga as hastes de terra deverão distar pelo menos 1 metro da edificação.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Caso venha a ser instaladas estruturas metálicas, antena coletiva de TV, parabólica, placas de aquecimento solar, boiler de água quente, unidades condensadoras de ar condicionado, etc) no topo das edificações, deverá ser instalado um mastro com captor tipo Franklin, superando a altura destas estruturas de 2 a 3 metros de modo a protegê-las contra descargas diretas. Todas as estruturas metálicas no topo da edificação deverão ser interligadas ao sistema de captação do SPDA.

O sistema deverá ter uma manutenção preventiva anual e sempre que atingido por descargas atmosféricas, para verificar eventuais irregularidades e garantir a eficiência do SPDA.

Não é função do SPDA a proteção de equipamentos eletroeletrônicos.

Para tal, está previsto supressores de surtos de tensão no projeto elétrico.

Todos os materiais a serem empregados na execução dos serviços deverão ser de primeira qualidade, obedecendo às especificações e normas técnicas.

A empresa responsável pela execução da obra não é obrigada a utilizar os produtos/equipamentos das marcas de referência, podendo utilizar qualquer outro produto/equipamento similar.

Deverão ser empregados, para melhor desenvolvimento dos serviços contratados, em conformidade com a boa técnica de execução, materiais e equipamentos adequados. A Fiscalização da obra poderá determinar a substituição dos equipamentos e ferramentas julgados como deficientes, cabendo à contratada providenciar a troca dos mesmos, sem prejuízo no prazo contratado.

A fim de que os trabalhos possam ser desenvolvidos com segurança e dentro da boa técnica, compete ao instalador o perfeito entendimento das respectivas especificações e do projeto apresentado.

Em caso de dúvidas, quanto à interpretação do projeto, das especificações e dos desenhos, estas deverão ser informadas a Fiscalização, que poderá vir a consultar o autor do projeto.

Todos os serviços a serem executados deverão obedecer à melhor técnica vigente, enquadrando-se rigorosamente dentro das normas técnicas.

8. RELAÇÃO DE MATERIAIS

Quantitativo de Materiais - Componentes - SPDA			
Descrição do Material	Dimensões	Quantidade (peças/m)	Referência Fabricante
SPDA e Aterramento			
Caixa de inspeção para instalação de Haste, Ø300mm, com tampa de ferro fundido reforçada	Ø300mm	3	Termotécnica Ref. TEL-552
Hastes de aterramento Cobreada Alta Camada, Ø5/8" x 2,40m (Ø 14,3mm – Efetivo)	Ø5/8" x 2,40m	3	Termotécnica Ref. TEL-5814
Para-Raio Tipo Franklin, fornecido completo com mastro de 10mx2", com 1 descida, conjunto de estaiamento, com captor, com sinaleiro, com abraçadeiras guia reforçadas e base para mastro	10mx2"	1	Termotécnica Ref. TEL-010
Solda Exotérmica, molde HCL 5/8.50-5 REF.: MHCL5850-05, cartucho Nº115 REF.: NSEC0115, alicate Z-201 REF.: NSEZ0201)	Solda Exotérmica, cabo Ø50mm ²	6	Termotécnica
Sinalizador noturno de topo com relé fotoelétrico bivolt LED, cor vermelha, luz contínua 360º horizontal.		1	Termotécnica Ref. TEL-592
Cabo de cobre nú #35mm ² , conforme NBR6524	#35mm ²	11,75	Termotécnica Ref. TEL-5735
Cabo de cobre nú #50mm ² , conforme NBR6524	#50mm ²	11,71	Termotécnica Ref. TEL-5750