



HC SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Projetos e Consultoria em Engenharia

GERENCIAMENTO DE RISCOS

Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas - SPDA

Objeto: Elaboração de projeto executivo de cobertura em estrutura metálica, incluindo projeto de fundações, estrutura metálica e Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas para cobertura da quadra da Escola Municipal Alice da Fonseca Braga

Itararé, Dezembro de 2022



HC SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Projetos e Consultoria em Engenharia

SUMÁRIO

1. OBJETIVO	2
2. APLICAÇÃO	2
3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	2
4. NORMAS	2
5. INTERPRETAÇÃO DOS TERMOS	2
6. METODOLOGIA.....	5
6.1 IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA, TIPOS DE PERDAS E RISCOS ASSOCIADOS ...	5
6.2 COMPOSIÇÃO DOS COMPONENTES DE RISCO R1	5
7. ANÁLISE DO GERENCIAMENTO DE RISCO	7
7.1 INFORMAÇÕES DA ESTRUTURA	7
7.2 CARACTERÍSTICAS E DADOS RELEVANTES.....	7
7.3 DEFINIÇÃO DAS ZONAS	8
7.4 CÁLCULO DAS QUANTIDADES RELEVANTES.....	11
7.5 CÁLCULO DO RISCO R1	11
7.6 SELEÇÃO DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO	12
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	14



HC SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Projetos e Consultoria em Engenharia

1. OBJETIVO

Objetiva-se com este documento apresentar o estudo de gerenciamento de risco a fim de determinar as medidas de proteção adequadas contra descargas atmosféricas, quando for necessário.

2. APLICAÇÃO

O estudo do gerenciamento de risco aplica-se sobre a quadra poliesportiva da Escola Municipal Alice da Fonseca Braga, localizada no distrito de Santa Cruz dos Lopes-SP.

3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

O arquivo relacionado foi utilizado em sua versão atual na elaboração deste documento.

Projeto_Basico_Cobertura_EM_Alice	Projeto Arquitetônico da quadra Poliesportiva da Escola Municipal Alice da Fonseca Braga
-----------------------------------	--

4. NORMAS

Os códigos e normas abaixo relacionados foram utilizados na elaboração deste documento em suas versões atuais.

Tabela 1 - Normas utilizadas

NBR-5419-1:2015	Proteção contra descargas atmosféricas Parte 1: Princípios gerais
NBR-5419-2:2015	Proteção contra descargas atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de risco
NBR-5419-3:2015	Proteção contra descargas atmosféricas Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida
NBR-5419-4:2015	Proteção contra descargas atmosféricas Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura

5. INTERPRETAÇÃO DOS TERMOS

A tabela a seguir contém informações sobre danos, perdas, risco e componentes de risco.

Tabela 2 - Simbologia de Danos, Perdas, Risco e Componentes de Risco

Símbolo	-	Fontes de danos
S1	-	Descargas atmosféricas na estrutura
S2	-	Descargas atmosféricas perto da estrutura
S3	-	Descargas atmosféricas na linha (força ou telecomunicações)
S4	-	Descargas atmosféricas perto da linha (força ou telecomunicações)



HC SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Projetos e Consultoria em Engenharia



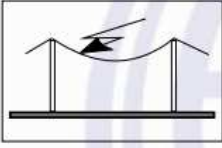
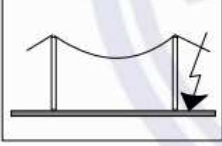
Símbolo	-	Tipos de danos
D1	-	Ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico
D2	-	Danos físicos na estrutura
D3	-	Falhas de sistemas elétricos ou eletrônicos
Símbolo	-	Tipos de perdas
L1	-	Perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes)
L2	-	Perda de serviço ao público
L3	-	Perda de patrimônio cultural
L4	-	Perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo e perdas de atividades).
Símbolo	-	Risco
R ₁	-	Risco de perda da vida humana (incluindo invalidez permanente)
R ₂	-	Risco de perda do serviço público
R ₃	-	Risco de perda do patrimônio cultural
R ₄	-	Risco de perda de valores econômicos
Símbolo	-	Risco Tolerável
R _T	-	Risco Tolerável
Símbolo	-	Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura
R _A	-	Componente relacionado com o dano aos seres vivos, causado por choque elétrico devido à tensão de toque ou tensão de passo dentro da estrutura ou fora das mesmas nas zonas até 3m entorno dos condutores de descida.
R _B	-	Componente relacionado com o dano físico causado por descargas na estrutura, provocando fogo ou explosão.
R _C	-	Componente relacionado à falha dos sistemas internos causada por efeitos eletromagnéticos decorrentes da corrente elétrica do raio, que provocam surtos e campos - eletromagnéticos.
Símbolo	-	Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura
R _M	-	Componente relacionado à falha dos sistemas internos causada por efeitos eletromagnéticos decorrentes da corrente elétrica do raio, que provocam surtos e campos eletromagnéticos.
Símbolo	-	Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura
R _U	-	Componente relacionado com o dano aos seres vivos, causado por choque elétrico devido à tensão de toque ou tensão de passo dentro da estrutura.
R _V	-	Componente relacionado com o dano físico (fogo ou explosão causada por centelhamentos perigosos entre instalação externa e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) devido a corrente do raio transmitida ao longo das linhas de força ou telecomunicação.
R _W	-	Componente relacionado à falha dos sistemas internos causada por sobretensões induzidas nas linhas de força ou telecomunicação e transmitida para a estrutura.
Símbolo	-	Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura
R _Z	-	Componente relacionado a falhas dos sistemas internos causadas por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura transmitida a esta.



HC SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Projetos e Consultoria em Engenharia

Símbolo	-	Probabilidade de Danos
P_A	-	Probabilidade de choque a seres vivos devido à tensão de toque e passo devido a uma descarga atmosférica em uma estrutura.
P_B	-	Probabilidade de danos físicos por uma descarga atmosférica em uma estrutura.
P_C	-	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causa falha dos sistemas internos.
P_M	-	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto da estrutura causar falha em sistemas internos.
P_U	-	Probabilidade de ferimentos a seres vivos dentro da estrutura devido à tensão de toque por uma descarga atmosférica em uma linha que adentra a estrutura.
P_V	-	Probabilidade de danos físicos devido a uma descarga atmosférica em uma linha que adentra a estrutura.
P_W	-	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha que adentra a estrutura causa uma falha dos sistemas internos.
P_Z	-	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha de sistemas internos.

Descarga atmosférica		Estrutura	
Ponto de impacto	Fonte de danos	Tipo de danos	Tipo de perdas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4

^a Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

^b Somente para estruturas com risco de explosão ou para hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos podem imediatamente colocar em perigo a vida humana.

Figura 1 - Fontes e tipos de Danos e as perdas relacionadas



6. METODOLOGIA

Para avaliar se a nova estrutura necessita de proteção contra descargas atmosféricas o procedimento abaixo foi aplicado de acordo com a ABNT NBR 5419-2:2015 – Gerenciamento de Risco:

- ✓ Identificação da estrutura a ser protegida;
- ✓ Identificação das perdas na estrutura e os componentes de risco relevantes;
- ✓ Comparação entre o risco R e o risco tolerável (R_T) associado;
- ✓ Se $R < R_T$ a estrutura é considerada **PROTEGIDA** e nenhuma medida de proteção é necessária;
- ✓ Se $R > R_T$ estrutura é considerada **NÃO PROTEGIDA** e uma medida de proteção é necessária;

Nota: Em caso de falta de informações, o cálculo considerará os parâmetros que representem as condições mais críticas da edificação, buscando priorizar a segurança.

6.1 IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA, TIPOS DE PERDAS E RISCOS ASSOCIADOS

A estrutura avaliada se trata de uma quadra poliesportiva e não é responsável por serviços públicos a pessoas que estejam fora do seu interior; não possui patrimônio cultural em seu interior e não será realizado estudo de perdas de valores econômicos dela. Sendo assim, a perda relevante para a estrutura é **L1** e o risco associado e que deve ser calculado é o **R1**.

6.2 COMPOSIÇÃO DOS COMPONENTES DE RISCO R1

O risco R1 é calculado de acordo com a equação “a” da seção 4.3 da norma NBR 5419:2015.

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

Nota: Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha nos sistemas internos imediatamente possa colocar a vida humana em risco.



HC SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Projetos e Consultoria em Engenharia

Neste caso a estrutura não possui risco de explosão e, portanto, somente os componentes de risco R_{A1} , R_{B1} , R_{U1} e R_{V1} serão considerados.

6.2.1 Cálculo para componente de risco

Cada componente de risco R_A , R_B , R_U , R_V pode ser descrito através da equação geral:

$$R_x = N_x \times P_x \times L_x$$

Onde:

- N_x : número de eventos perigosos por ano;
- P_x : probabilidade de dano à estrutura;
- L_x : perda consequente dos efeitos das descargas atmosféricas.

6.2.2 Constantes utilizadas

Tabela 3 - Constantes utilizadas

$R_{T1} = 1 \times 10^{-5}$	-	Risco de perda de vida humana ou ferimentos permanentes (Tabela 4 da ABNT NBR 5419-2:2015)
$U_W = 2.5 \text{ kV}$	-	Tensão máxima que os sistemas elétricos internos suportam
$L_T = 1 \times 10^{-2}$	-	Valor da perda típico - D1 Ferimentos (Tabela 4 da ABNT NBR 5419-2:2015)
$L_f = 1 \times 10^{-2}$	-	Valor da perda típico - D2 danos físicos (Tabela 4 da ABNT NBR 5419-2:2015)
$K_{S1} = 1$	-	Blindagem espacial externa (desconsiderada)
$N_g = 7$	-	Número de descargas atmosféricas para a terra por km^2 por ano (Figura F.5 da ABNT NBR 5419-2:2015)
$P_{LD} = 1$	-	Probabilidade dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento físicos (Tabela B.8 da ABNT NBR 5419-2:2015)



HC SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Projetos e Consultoria em Engenharia

7. ANÁLISE DO GERENCIAMENTO DE RISCO

7.1 INFORMAÇÕES DA ESTRUTURA

Tabela 4 - Identificação da estrutura ser protegida

IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA A SER PROTEGIDA	
Estrutura	Quadra Poliesportiva da Escola Municipal Alice da Fonseca Braga
Localização	Distrito de Santa Cruz dos Lopes - SP
Número de Pessoas	300
Linha de energia chegando à estrutura	Baixa tensão
Estrutura adjacente	Estrutura mais baixa

Notas:

- i. Considerou-se que um número máximo de 300 pessoas utiliza o espaço durante um período de tempestade;
- ii. O tipo de linha de energia que chega à estrutura foi escolhido de acordo com a imagem do Google maps;
- iii. De acordo com o Google maps, não existe linha de sinal chegando à estrutura;
- iv. As dimensões da estrutura adjacente não foram fornecidas, porém, de acordo com a imagem do Google maps, estima-se que ela seja mais baixa que a quadra em questão;

7.2 CARACTERÍSTICAS E DADOS RELEVANTES

Tabela 5 - Características da estrutura e do meio ambiente

Parâmetros de Entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km ² /ano)		Ng	7	http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng/
Dimensões da estrutura (m)		L	22	Proj. Arquitetônico
		W	12,6	
		H	6,32	
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C _D	0,5	Tabela A.1
SPDA	Nenhum	P _B	1	Tabela B.2
Ligação equipotencial	Sem DPS	P _{EB}	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K _{S1}	1	Equação B.5



HC SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Projetos e Consultoria em Engenharia

Tabela 6 - Linha de energia

Parâmetros de Entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento m		L_L	1000	
Fator de instalação	Aéreo	C_I	1	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha BT	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Urbano	C_E	1	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Não blindada	R_S	-	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolação	Indefinida	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente	Não fornecido	LJ, WJ, HJ	-	
Fator de localização da estrutura adjacente	Não fornecido	CDJ	-	Tabela A1
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)		UW	2,5	

Nota: Foi considerado o valor máximo de L_L considerado pela NBR 5419-2:2015

7.3 DEFINIÇÃO DAS ZONAS

As seguintes zonas são definidas:

Tabela 7 - Dados referentes às zonas

Zona	Nome	Nº de pessoas por zona n_z	Tempo de presença (h/ano) t_z
Z1	Área interna à quadra	250	4380
Z2	Jardim externo à quadra	40	4380
Z3	Entrada da quadra (área da rampa)	10	4380
Total	-	$N_t = 300$	-

Nota: Considerou-se que pessoas ocupam o espaço 12 horas por dia.

7.3.1 Fatores referentes à zona 1

Tabela 8 - Parâmetros referentes à zona 1

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso	Concreto	r_t	1×10^{-2}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura) Tensões de toque e passo perigosas	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1



HC SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Projetos e Consultoria em Engenharia

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha) Tensões de toque perigosas	Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio	baixo	r_f	1×10^{-3}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
L1: perda de vida humana	Nível médio de pânico	h_z	5	Tabela C.6
Fator para pessoas na zona	$(n_z/n_t) \times (t_z/8760)$	-	0.42	-
	Parâmetros resultantes	L_A	$4,2 \times 10^{-5}$	Equação C.1
		L_U	$4,2 \times 10^{-5}$	Equação C.2
		L_B, L_V	$2,1 \times 10^{-5}$	Equação C.3

7.3.2 Fatores referentes à zona 2

Tabela 9 - Parâmetros referentes à zona 2

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso	Grama	r_t	1×10^{-2}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura) Tensões de toque e passo perigosas	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha) Tensões de toque perigosas	Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio	baixo	r_f	1×10^{-3}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
L1: perda de vida humana	Sem perigo especial	h_z	1	Tabela C.6
Fator para pessoas na zona	$(n_z/n_t) \times (t_z/8760)$	-	$6,6 \times 10^{-2}$	-
	Parâmetros resultantes	L_A	$6,6 \times 10^{-6}$	Equação C.1
		L_U	$6,6 \times 10^{-6}$	Equação C.2
		L_B, L_V	$6,6 \times 10^{-7}$	Equação C.3



7.3.3 Fatores referentes à zona 3

Tabela 10 – Parâmetros referentes à zona 3

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso	Concreto	r_t	1×10^{-2}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura) Tensões de toque e passo perigosas	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha) Tensões de toque perigosas	Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio	Baixo	r_f	1×10^{-3}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
L1: perda de vida humana	Sem perigo especial	h_z	1	Tabela C.6
Fator para pessoas na zona	$(n_z/n_t) \times (t_z/8760)$	-	$1,6 \times 10^{-2}$	-
	Parâmetros resultantes	L_A	$1,6 \times 10^{-6}$	Equação C.1
		L_U	$1,6 \times 10^{-6}$	Equação C.2
		L_B, L_V	$1,6 \times 10^{-7}$	Equação C.3

Os parâmetros resultantes são calculados através das seguintes equações:

Tabela 11 - Equações referência para cálculo das perdas

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)



7.4 CÁLCULO DAS QUANTIDADES RELEVANTES

Tabela 12 – Área de exposição equivalentes da estrutura e da linha

	Símbolo	Resultado m ²	Ref. Eq.	Equação
Estrutura	A _D	2.72E+03	A.2	$A = (L \times W) + (2 \times (3 \times H) \times (L + W)) + \pi \times (3 \times H)^2$
Linha de energia	A _L /P	4.00E+04	A.9	$A_L = 40 \times LL$
	A _{DJ} /P	-	A.2	$A_{DJ} = L_J \times W_J + 2 \times (3 \times H_J) \times (L_J + W_J) + \pi \times (3 \times H_J)^2$

Nota: O parâmetro A_{Dj} se refere à estrutura adjacente e os valores não são conhecidos

Tabela 13 - Número esperado de evento perigoso

	Simbolo	Resultado m ²	Referência Equação	Equação
Estrutura	N _D	9.52x10 ⁻³	A.4	$ND = NG \times AD \times CD \times 10^{-6}$
Linha de Energia	N _L /P	2.8x10 ⁻¹	A.8	$NL = NG \times AL \times CI \times CE \times CT \times 10^{-6}$
	N _{DJ} /P	-	A.5	$NDJ = NG \times ADJ \times CDJ \times CT \times 10^{-6}$

Nota: O parâmetro N_{Dj} se refere à estrutura adjacente e os valores não são conhecidos

7.5 CÁLCULO DO RISCO R1

Tabela 14 - Risco Rx: Valores da Probabilidade P para a Estrutura sem Proteção

Tipo de danos	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Referência equação	Equação
D1 Ferimento devido a choque	P _A	1	1	1	B.1	$P_A = P_{TA} \times P_B$
	P _U /P	1	1	1	B.8	$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD}$
D2 Danos físicos	P _B	1	1	1	-	Tabela B.2
	P _V /P	1	1	1	B.9	$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD}$



HC SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Projetos e Consultoria em Engenharia

Tabela 15 - Risco R1 para estrutura não protegida

Tipo de danos	Símbolo	Z1	Z2	Z3	ZT
D1 Ferimento devido a choque	R_A	$3,99 \times 10^{-07}$	$6,28 \times 10^{-08}$	$1,52 \times 10^{-08}$	$4,77 \times 10^{-7}$
	$R_U = R_U/P$	$1,17 \times 10^{-5}$	$1,84 \times 10^{-6}$	$4,48 \times 10^{-7}$	$1,39 \times 10^{-5}$
D2 Danos físicos	R_B	$1,99 \times 10^{-7}$	$6,28 \times 10^{-9}$	$1,52 \times 10^{-9}$	$2,06 \times 10^{-7}$
	$R_V = R_V/P$	$5,88 \times 10^{-6}$	$1,84 \times 10^{-7}$	$4,48 \times 10^{-8}$	$6,10 \times 10^{-6}$
Total (Risco R1)	$R1 = R_A + R_U + R_B + R_V$	$1,81 \times 10^{-05}$	$2,09 \times 10^{-06}$	$5,09 \times 10^{-07}$	$2,06 \times 10^{-05}$
TOLERÁVEL	Risco máximo para perda L_1 $R_T = 1,0 \times 10^{-05}$				
			Se $R_1 > R_T$: proteção contra descargas atmosféricas é requerida		

Porque $R_1 = 2,06 \times 10^{-5}$ é superior ao valor tolerável $R_T = 1,0 \times 10^{-5}$, a proteção contra descargas atmosféricas para a estrutura é requerida.

7.6 SELEÇÃO DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO

A componente de risco R_A representa 2,31 % do risco total.;

A componente de risco R_U representa 67,47 % do risco total;

A componente de risco R_B representa 1 % do risco total;

A componente de risco R_V representa 29,6 % do risco total.

Diante de tais resultados, percebe-se que o risco R_1 é principalmente influenciado pelas componentes R_U e R_V .

Estes componentes podem ser reduzidos:

- Provendo à estrutura completa um SPDA de acordo com a ABNT NBR 5419-3 reduzindo o risco R_B por meio da probabilidade P_B ;
- Ligação equipotencial para descargas atmosféricas conforme a ABNT NBR 5419-3 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas para o qual o DPS foi projetado, reduzindo os componentes R_V e R_U por meio da probabilidade P_{EB} .
- Instalar avisos visíveis de alerta, reduzindo as probabilidades P_{TU} e P_{TA} e conseqüentemente os componentes R_A e R_U .



HC SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Projetos e Consultoria em Engenharia

Combinando estas medidas de proteção, a seguinte solução é proposta:

- Proteger a instalação com SPDA classe IV de acordo com a ABNT NBR 5419-3 para reduzir a componente R_B ($P_B = 0,2$);
- Este SPDA deve incluir a interligação equipotencial de descargas atmosféricas obrigatória na entrada com DPS projetados para nível de proteção IV ($P_{EB} = 0,05$), reduzindo os componentes R_V e R_U ;
- Devem ser instalados avisos de alerta em cada descida do subsistema de descida do SPDA, a fim de reduzir as componentes R_A e R_U ($P_{TA} = P_{TU} = 10^{-1}$).

Para a solução determinada, um novo valor do risco R_1 é encontrado de acordo com a tabela 16.

Tabela 16 - Risco R_1 para estrutura protegida

Tipo de danos	Símbolo	Z1	Z2	Z3	ZT
D1 Ferimento devido a choque	R_A	$3,99 \times 10^{-8}$	$6,28 \times 10^{-9}$	$1,52 \times 10^{-9}$	$4,77 \times 10^{-8}$
	$R_U = R_U/P$	$5,85 \times 10^{-8}$	$9,2 \times 10^{-9}$	$2,24 \times 10^{-9}$	$6,99 \times 10^{-8}$
D2 Danos físicos	R_B	$3,98 \times 10^{-8}$	$1,25 \times 10^{-9}$	$3,04 \times 10^{-10}$	$4,13 \times 10^{-8}$
	$R_V = R_V/P$	$2,94 \times 10^{-7}$	$9,2 \times 10^{-9}$	$2,24 \times 10^{-9}$	$3,05 \times 10^{-7}$
Total (Risco R_1)	$R_1 = R_A + R_U + R_B + R_V$	$4,32 \times 10^{-7}$	$2,59 \times 10^{-8}$	$6,30 \times 10^{-9}$	$4,6 \times 10^{-7}$
TOLERÁVEL	Risco máximo para perda L_1 $R_T = 1,0 \times 10^{-5}$				
	Se $R_1 > R_T$: proteção contra descargas atmosféricas é requerida				

Como $R_1 = 4,6 \times 10^{-7}$ é inferior ao valor tolerável $R_T = 1,0 \times 10^{-5}$, a proteção classe IV contra descargas atmosféricas na estrutura é indicada.



8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os seguintes pontos foram considerados no desenvolvimento de estudo de gerenciamento de risco e devem ser seguidos:

- i. Objetivando a proteção da estrutura da cobertura, a telha metálica não será utilizada como captor natural e, portanto, será instalado um **subsistema de captação**;
- ii. Para o subsistema de captação e descida, o condutor a ser utilizado deve ser de **cobre nu** com **seção mínima de 35mm²** - Tabela 6 do subitem 5.6.2 da ABNT NBR 5419:2015;
- iii. Elementos captadores e condutores de descida devem ser firmemente fixados de forma que as forças eletrodinâmicas ou mecânicas acidentais (por exemplo, vibrações, expansão térmica etc.) não causem afrouxamento ou quebra de condutores. Desta forma, a fixação dos condutores deste SPDA deve ser realizada em distância máxima de **1,5 m** - NBR 5419:2015;
- iv. Para SPDA não isolado, o número de condutores de descida não pode ser inferior a dois conforme subitem 5.3.3 da ABNT NBR 5419:2015;
- v. O subsistema de aterramento consiste em um arranjo de condutor em anel, externo à estrutura protegida, em contato com o solo em pelo menos 80 % do seu comprimento total. Deve ser garantido a continuidade elétrica em todo o comprimento do anel e o raio médio da área abrangida pelo eletrodo não pode ser inferior ao valor I_1 , conforme subitem 5.4.2 da ABNT NBR 5419:2015;
- vi. Para o subsistema de aterramento, o condutor a ser utilizado deve ser de **cobre nu** com **seção mínima de 50mm²** - Tabela 7 do subitem 5.6.2 da ABNT NBR 5419:2015;
- vii. O eletrodo em anel deve ser enterrado a uma profundidade de 0,6 m e ficar a uma distância aproximada de **1 m** ao redor da edificação;
- viii. Todos os equipamentos e massas metálicas deverão ser interligados ao subsistema de aterramento conforme item 6.2 da ABNT NBR 5419:2015;
- ix. As orientações para inspeção e manutenção do SPDA instalados devem seguir o item 7 da ABNT NBR 5419:2015;



HC SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Projetos e Consultoria em Engenharia

Diante dos resultados, a configuração do SPDA para a estrutura é indicada na tabela 17.

SPDA	Parâmetros	Resultado
Subsistema de Captação	Classe	IV
	Proteção	Método das malhas
	Módulo Malha captora	20 m x 20 m (Máximo)
	Proteção	Condutor de cobre nu
	Seção do Condutor	35 mm ²
Subsistema de Descida	Proteção	Condutor de cobre nu
	Seção do Condutor	35mm ²
	Distância entre descidas	20 m (máximo) ¹
Subsistema de aterramento	Eletrodo de aterramento	Condutor de cobre nu em anel ²
	Seção do condutor	50mm ²
Equipotencialização	Direta	Condutores de ligação utilizados para interligar as massas metálicas à malha de aterramento
	Seção do condutor de Ligação	16mm ²
	Indireta	Instalação de DPS na entrada de energia elétrica em baixa tensão

Notas:

- i. É aceitável que o espaçamento dos condutores de descida tenha no máximo 20 % além do valor indicado;
- ii. Embora 20 % do eletrodo convencional possa não estar em contato direto com o solo, a continuidade elétrica do anel deve ser garantida ao longo de todo o comprimento.