

RELATÓRIO DE ANÁLISE DE RISCO – SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)

EMEF ZILCA NUNES VIEIRA BERMUDEZ II
RUA AUGUSTO FERREIRA LAMEGO, S/Nº, ARACRUZ ES

JANEIRO DE 2023

SUMÁRIO

1	OBJETIVO.....	2
2	CARACTERÍSTICAS E DADOS RELEVANTES.....	2
3	DEFINIÇÃO DAS ZONAS DA ESTRUTURA.....	5
4	CÁLCULO DAS QUANTIDADES RELEVANTES	7
5	PARÂMETROS RESULTANTES.....	8
6	CÁLCULO DO RISCO R1	9
7	CÁLCULO DO RISCO R4	9
8	CONCLUSÃO.....	11

1 OBJETIVO

O presente documento tem por finalidade avaliar o risco e, consequentemente, a necessidade de construção do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA), conforme Parte 2 da norma NBR 5419/2015.

Perda de vida humana (L1) e perda econômica (L4) são relevantes para este tipo de estrutura e são requisitos para avaliação da necessidade de proteção. Isto implica a determinação do risco R1 para perda de vida humana (L1) e R4 para perda de valor econômico (L4); a partir de cada uma das componentes de risco, comparando-os com os níveis toleráveis (10^{-5} , para R1), assim como na análise do investimento em medidas de proteção a partir da determinação do risco R4 para perda de valor econômico (L4).

2 CARACTERÍSTICAS E DADOS RELEVANTES

A estrutura fica localizada em região com edificações mais baixas em sua vizinhança. A densidade de descargas atmosféricas para a terra, conforme apresentado na Figura 1 é $N_g = 2,12$ descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano. Os demais dados da edificação e sua vizinhança são dados na Tabela 1.

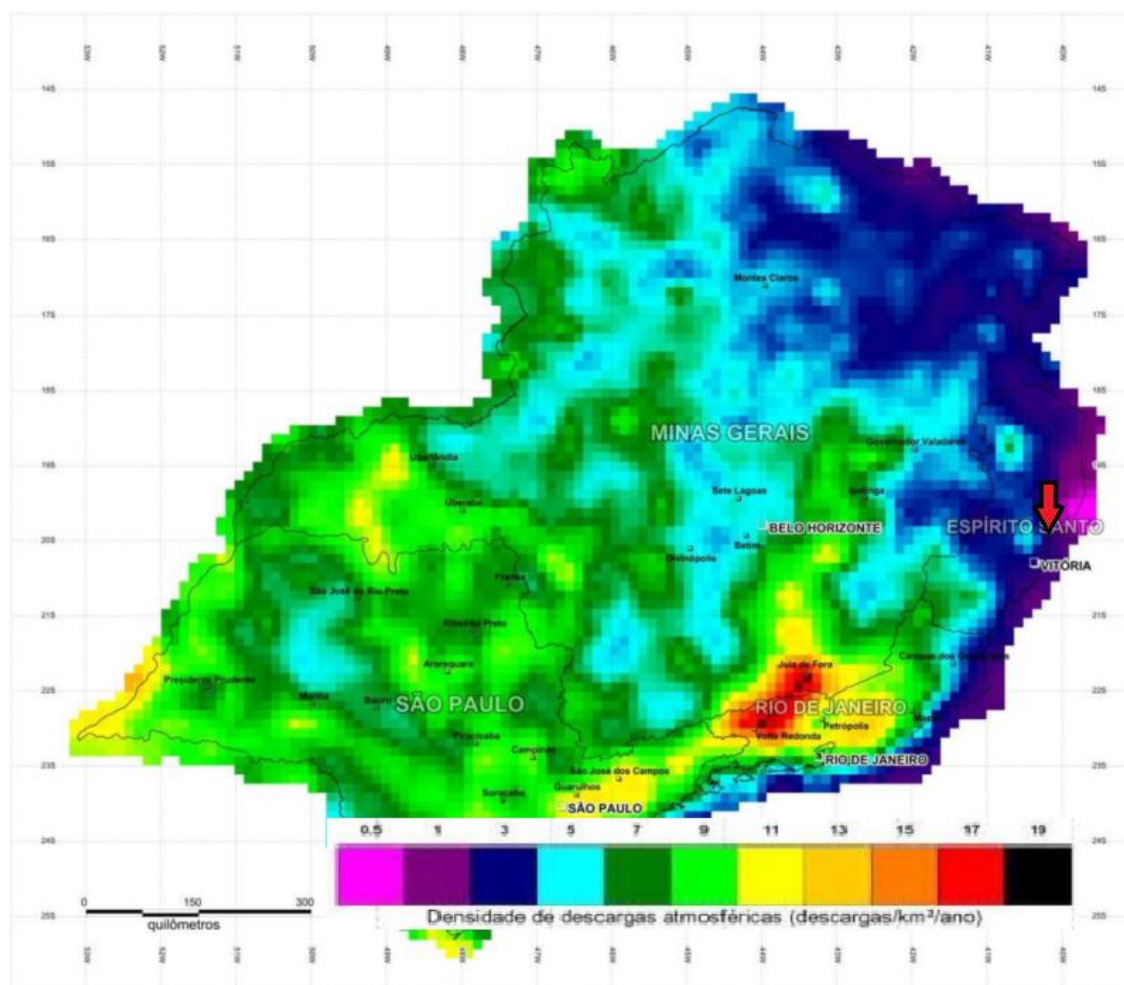


Figura 1 – Densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_g)

Tabela 1 – Características da estrutura e do meio ambiente

Características da Estrutura e Meio Ambiente				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra [$1/\text{km}^2 \times \text{ano}$]	http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng/	N_G	2,12	
Dimensões da estrutura [m]		L, W, H	; ;	
Área equivalente (estrutura complexa) [m^2]		A_D	15.228,82	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada: nenhum objeto nas vizinhanças	C_D	1	Tabela A.1
SPDA	Estrutura não protegida por SPDA	P_B	1	Tabela B.2
Ligação equipotencial - Linha Energia	DPS projetado para o Nível III-IV	$P_{EB/P}$	0,05	Tabela B.7
Ligação equipotencial - Linha Sinal	Sem DPS	$P_{EB/T}$	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K_{S1}	1	Equação (B.5)
Número total de pessoas		n_t	550	-
Valor total da estrutura (incluindo todas as zonas)		C_t	25.000.000,00	-

Por se tratar de estrutura complexa, a área de exposição equivalente (A_D), definida pela intersecção entre a superfície do solo com uma linha reta de inclinação 1 para 3 a qual passa pelas partes mais altas da estrutura (tocando-a nestes pontos) e rotacionando ao redor dela, foi definida graficamente e está representada pela área hachurada na Figura 2.

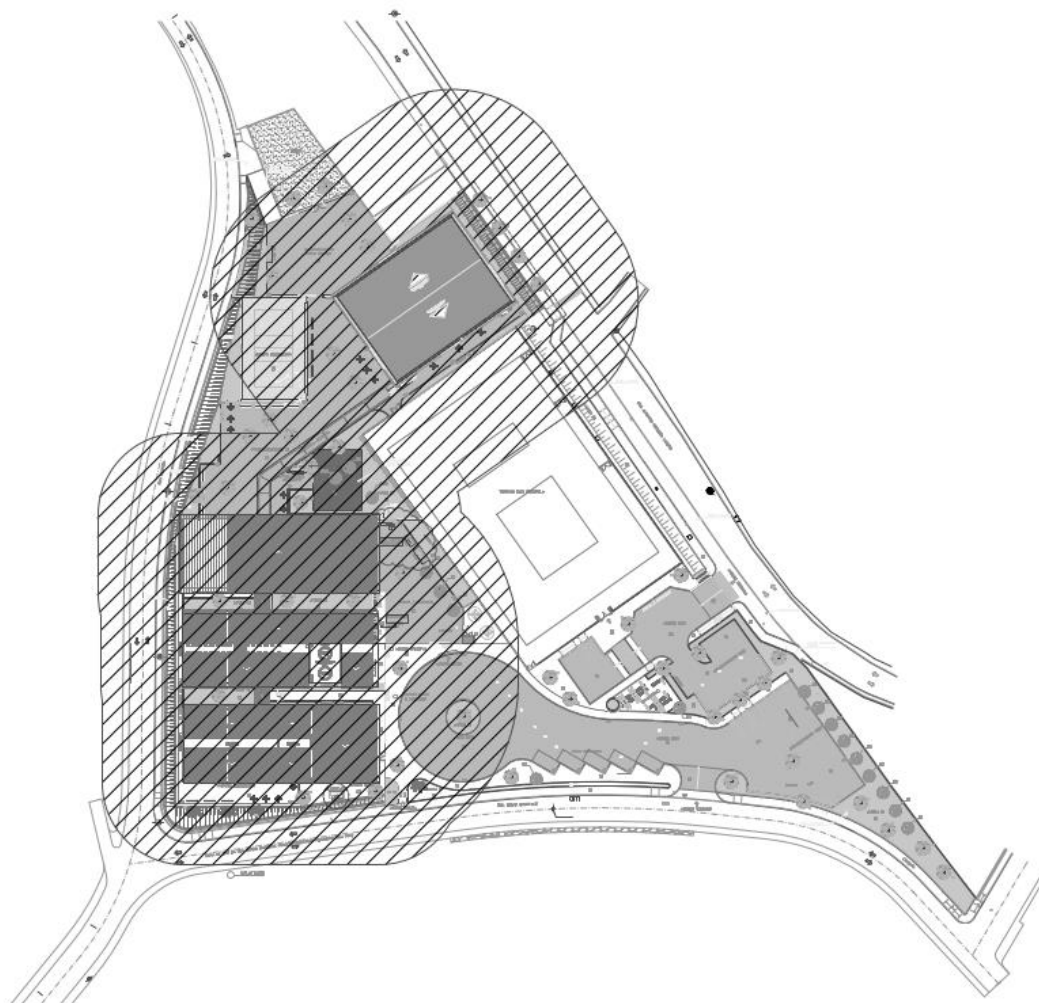


Figura 2 – Área de exposição equivalente (A_D)

Para definição da área de exposição equivalente considerou-se as estruturas dos prédios escolares e da quadra. Como será demonstrado, a instalação de SPDA não é obrigatória para as edificações consideradas. Os dados das linhas que adentram a edificação e suas conexões com os sistemas internos são dados para linhas de energia na Tabela 2 e para linhas de sinais na Tabela 3.

Tabela 2 – Linha de energia

Linha de energia				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento [m]		L_L	1000	
Fator de instalação	Aérea	C_i	1	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	C_T	0,2	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Tipo de linha externa	Linha aérea não blindada	C_{LD}	1	Tabela B.4
Conexão na entrada	Indefinida	C_{LI}	1	Tabela B.4
Blindagem da linha [Ω/km]	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	R_S		Tabela B.8
Estrutura adjacente		L_j, W_j, H_j	; ;	
Fator de localização da estrutura adjacente		C_{DJ}		Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno [kV]		U_W	2,5	

Tabela 3 – Linha de sinal

Linha de sinal				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento [m]		L_L	100	
Fator de instalação	Enterrada	C_i	0,5	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia ou sinal	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Tipo de linha externa	Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	C_{LD}	1	Tabela B.4
Conexão na entrada	Indefinida	C_{LI}	0,3	Tabela B.4
Blindagem da linha [Ω/km]	Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	R_S	$1 < R_S \leq 5$	Tabela B.8
Estrutura adjacente		L_j, W_j, H_j	, ,	
Fator de localização da estrutura adjacente		C_{DJ}		Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno [kV]		U_W	1,5	

Os comprimentos das linhas que adentram a edificação (energia e sinal) são definidos até o primeiro nó, partindo-se da estrutura. Considerou-se, para análise, as linhas de energia e sinal que adentram a edificação a partir da rede pública de distribuição, sendo a de energia a rede de média tensão que alimenta a subestação, com comprimento de 1000m e a de sinal, o cabo CTP-APL que deriva da rede de distribuição, com comprimento de 100m, ainda que os comprimentos efetivos sejam menores. Cabe ressaltar que tal medida foi adotada como margem de segurança nos cálculos e, conforme será demonstrado a seguir, ainda assim a instalação de SPDA externo não se faz necessária.

3 DEFINIÇÃO DAS ZONAS DA ESTRUTURA

Para a estrutura analisada, as seguintes zonas são definidas:

Z1 (zona interna à edificação);

Z2 (zona externa à edificação).

Levando em conta que:

- o tipo de piso é diferente na área externa e dentro da estrutura, porém, considerou-se o tipo de piso mais crítico, para ambas as zonas;
- o risco de incêndio é distinto entre as zonas;
- há sistemas internos conectados à energia assim como às linhas de sinais;
- o número de pessoas é distinto entre as zonas.

As características resultantes das zonas Z1 e Z2 são dadas nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4 – Fatores válidos para Zona Z1

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Agricultura, concreto	r_t	1,00E-02	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma medida de proteção	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma medida de proteção	P_{TU}	1	Tabela B.1
Risco de explosão		Nenhum	r_f	0	Tabela C.5
Risco de incêndio		Normal	r_f	0,01	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	r_p	0,5	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma		K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	DPS projetado para o Nível III-IV	P_{SPD}	0,05	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana	Perigo especial:	Sem perigo especial	h_z	1	Tabela C.6
	D1: devido à tensão de toque e passo	Todos os tipos	L_T	0,01	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	Hospital, hotel, escola, edifício cívico	L_F	0,1	
	D3: devido a falhas de sistemas internos		L_O	0	
Número de pessoas na zona			n_z	540	-
Tempo da presença das pessoas na zona [hxano]			t_z	2772	-
L4: perda de valor econômico	D1: devido à tensão de toque e passo		L_T	0	Tabela C.12
	D2: devido a danos físicos	Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público, comercial	L_F	0,2	
	D3: devido a falhas de sistemas internos	Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento público	L_O	0,001	

Tabela 5 – Fatores válidos para Zona Z2

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Agricultura, concreto	r_t	1,00E-02	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma medida de proteção	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma medida de proteção	P_{TU}	1	Tabela B.1
Risco de explosão		Nenhum	r_f	0	Tabela C.5
Risco de incêndio		Nenhum	r_f	0	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma providência	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna			K_{S2}		Equação (B.6)
Energia	Fiação interna		K_{S3}		Tabela B.5
	DPS coordenados		P_{SPD}		Tabela B.3
Telecom	Fiação interna		K_{S3}		Tabela B.5
	DPS coordenados		P_{SPD}		Tabela B.3
L1: perda de vida humana	Perigo especial:	Sem perigo especial	h_z	1	Tabela C.6
	D1: devido à tensão de toque e passo	Todos os tipos	L_T	0,01	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	Hospital, hotel, escola, edifício cívico	L_F	0,1	
	D3: devido a falhas de sistemas internos		L_O	0	

4 CÁLCULO DAS QUANTIDADES RELEVANTES

Cálculos são dados na Tabela 6 para as áreas de exposição equivalentes e na Tabela 7 para o número anual de eventos perigosos esperados.

Tabela 6 – Áreas de exposição equivalentes da estrutura e das linhas

	Símbolo	Resultado [m²]	Referência	Equação
Estrutura	A_D	1,52E+04	Equação (A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	9,85E+05	Equação (A.7)	$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2$
Linha de energia	$A_{L/P}$	4,00E+04	Equação (A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/P}$	4,00E+06	Equação (A.11)	$A_{I/P} = 4000 \times L_L$
	$A_{D/I/P}$	0,00E+00	Equação (A.2)	$A_{D/I/P} = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
Linha telecom	$A_{L/T}$	4,00E+03	Equação (A.9)	$A_{L/T} = 40 \times L_L$
	$A_{I/T}$	4,00E+05	Equação (A.11)	$A_{I/T} = 4000 \times L_L$
	$A_{D/I/T}$	0,00E+00	Equação (A.2)	$A_{D/I/T} = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$

Tabela 7 – Número anual de eventos perigosos esperados

	Símbolo	Resultado [m²]	Referência	Equação
Estrutura	N_D	3,23E-02	Equação (A.4)	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 1,00E-06$
	N_M	2,09E+00	Equação (A.6)	$N_M = N_G \times A_M \times 1,00E-06$
Linha de energia	$N_{L/P}$	8,48E-03	Equação (A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{L/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 1,00E-06$
	$N_{I/P}$	8,48E-01	Equação (A.10)	$N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 1,00E-06$
	$N_{D/I/P}$	0,00E+00	Equação (A.5)	$N_{D/I/P} = N_G \times A_{D/I/P} \times C_{D/I/P} \times C_{T/P} \times 1,00E-06$
Linha telecom	$N_{L/T}$	2,12E-03	Equação (A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{L/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 1,00E-06$
	$N_{I/T}$	2,12E-01	Equação (A.10)	$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 1,00E-06$
	$N_{D/I/T}$	0,00E+00	Equação (A.5)	$N_{D/I/T} = N_G \times A_{D/I/T} \times C_{D/I/T} \times C_{T/T} \times 1,00E-06$

5 PARÂMETROS RESULTANTES

Os parâmetros resultantes que serão utilizados para cálculo dos riscos foram determinados a partir das características da edificação, linhas e entorno e estão apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 8 – Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z1

Parâmetros resultantes	L_A	3,11E-05	Equação (C.1)
	L_U	3,11E-05	Equação (C.2)
	$L_B = L_v$	1,55E-04	Equação (C.3)
	$L_C = L_M = L_W = L_Z$	0,00E+00	Equação (C.4)

Tabela 9 – Parâmetros resultantes para cálculo de R4 da Z1

Parâmetros resultantes	L_A	0,00E+00	Equação (C.10)
	L_U	0,00E+00	Equação (C.11)
	$L_B = L_v$	1,00E-03	Equação (C.12)
	$L_C = L_M = L_W = L_Z$	8,00E-05	Equação (C.13)

Tabela 10 – Parâmetros Resultantes para cálculo de R1 da Z2

Parâmetros resultantes	L_A	5,75E-07	Equação (C.1)
	L_U	5,75E-07	Equação (C.2)
	$L_B = L_v$	0,00E+00	Equação (C.3)
	$L_C = L_M = L_W = L_Z$	0,00E+00	Equação (C.4)

6 CÁLCULO DO RISCO R1

A Tabela 11 a seguir apresenta o valor do risco total R1:

Tabela 11 – Risco R1 – sem medidas de proteção (valores x 10⁻⁵)

Tipo de Danos	Símbolo	Z1	Z2	Estrutura
D1 Ferimentos a seres vivos devido a choque elétrico	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$	0,1003	0,0019	0,1022
	$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$	0,0316	0,0006	0,0322
D2 Danos físicos	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$	0,5015	0,0000	0,5015
	$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$	0,0329	0,0000	0,0329
D3 Falha de sistemas eletroeletrônicos	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	0,0000	0,0000	0,0000
	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	0,0000	0,0000	0,0000
	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	0,0000	0,0000	0,0000
	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$	0,0000	0,0000	0,0000
Total		0,6664	0,0024	0,6688
Tolerável		R1 < RT: a estrutura está protegida para este tipo de perda		1,0000

Conforme apresentado, o risco R1 apresenta valor inferior ao limite estabelecido pela ABNT NBR 5419:2015, portanto, do ponto de vista de risco à vida humana, não se faz necessária a adoção de medidas adicionais de proteção contra descargas atmosféricas para redução do risco a níveis aceitáveis.

É importante destacar que a análise de risco efetuada já considerou a existência de medidas que contribuem para a redução do risco de perda de vida humana, como a instalação de extintores de incêndio, além da instalação de sistema coordenado de dispositivos de proteção contra surtos (DPS) na linha de energia, previstos no projeto elétrico. Contudo, as considerações efetuadas para o Nível de Proteção desses dispositivos foram conservadoras.

7 CÁLCULO DO RISCO R4

A Tabela 12 apresenta os valores da edificação, seu conteúdo e sistemas internos.

Tabela 12 – Valores envolvidos (R\$)

Valor dos animais na zona	c_a	
Valor da edificação relevante à zona	c_b	21.000.000,00
Valor do conteúdo da zona	c_c	2.000.000,00
Valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona	c_s	2.000.000,00
Valor total da estrutura (incluindo todas as zonas)	c_t	25.000.000,00

A comparação entre as perdas anuais entre a edificação sem adoção de medidas adicionais de proteção contra descargas atmosféricas e aquelas residuais que poderão ocorrer após a implantação dessas está apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 – Cálculo dos custos das perdas

Proteção	Z1	Z2	Estrutura	Custo das Perdas [R\$]
Não protegida	0,1157	0,0000	0,1157	2.893,48
Protegida	0,0899	0,0000	0,0899	2.247,77

Considerou-se como medidas adicionais de proteção a instalação de sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas Classe IV.

Como se pode perceber, a inclusão de sistema externo de proteção não tem praticamente efeito nenhum sobre os custos das perdas, uma vez que as perdas devido às descargas atmosféricas na estrutura (as quais seriam reduzidas por um SPDA externo) são praticamente desprezíveis.

Com base nos parâmetros financeiros apresentados na Tabela 14 e estimativa de custo das medidas de proteção apresentada na Tabela 15, calculou-se a economia anual decorrente da adoção das medidas, a qual está apresentada na Tabela 16.

Tabela 14 – Parâmetros financeiros

Taxa	Símbolo	Valor
Juros	i	10,00%
Amortização	a	5,00%
Manutenção	m	1,00%

Tabela 15 – Cálculo do custo anual das medidas de proteção

Medida de Proteção	Custo CP	Custo anual C_{PM} $= C_p (i + a + m)$
SPDA Classe IV	4.035,65	645,70

Tabela 16 – Cálculo da economia anual

	Símbolo	Solução
Perdas para estrutura não protegida	C_L	2.893,48
Perda residual para estrutura protegida	C_{RL}	2.247,77
Custo anual da proteção	C_{PM}	645,70
Economia anual $S_M = C_L - (C_{RL} + C_{PM})$	S_M	0,00

Conforme pode-se observar, apenas para fins de simulação, considerou-se que o custo de um SPDA externo seria de R\$ 4.035,65 e, nesse caso, a economia anual obtida com sua implementação seria nula, ou seja, qualquer investimento acima desse valor, o que seria o caso de um SPDA externo, não seria justificável.

8 CONCLUSÃO

Conforme apresentado neste memorial, somente a existência de extintores de incêndio e DPS na linha de energia já são suficientes para que o risco R1 (perda de vida humana) apresente valores toleráveis, conforme parâmetros da NBR 5419:2015, portanto, não se faz necessária a adoção de medidas adicionais de proteção contra descargas atmosféricas. É importante destacar ainda que, do ponto de vista financeiro, a adoção de medidas adicionais de proteção apresenta retorno sobre o investimento negativo, não sendo, portanto, justificável sua implantação.

Arthur Depollo Ferreira
Engenheiro Eletricista
CREA ES 052884/D