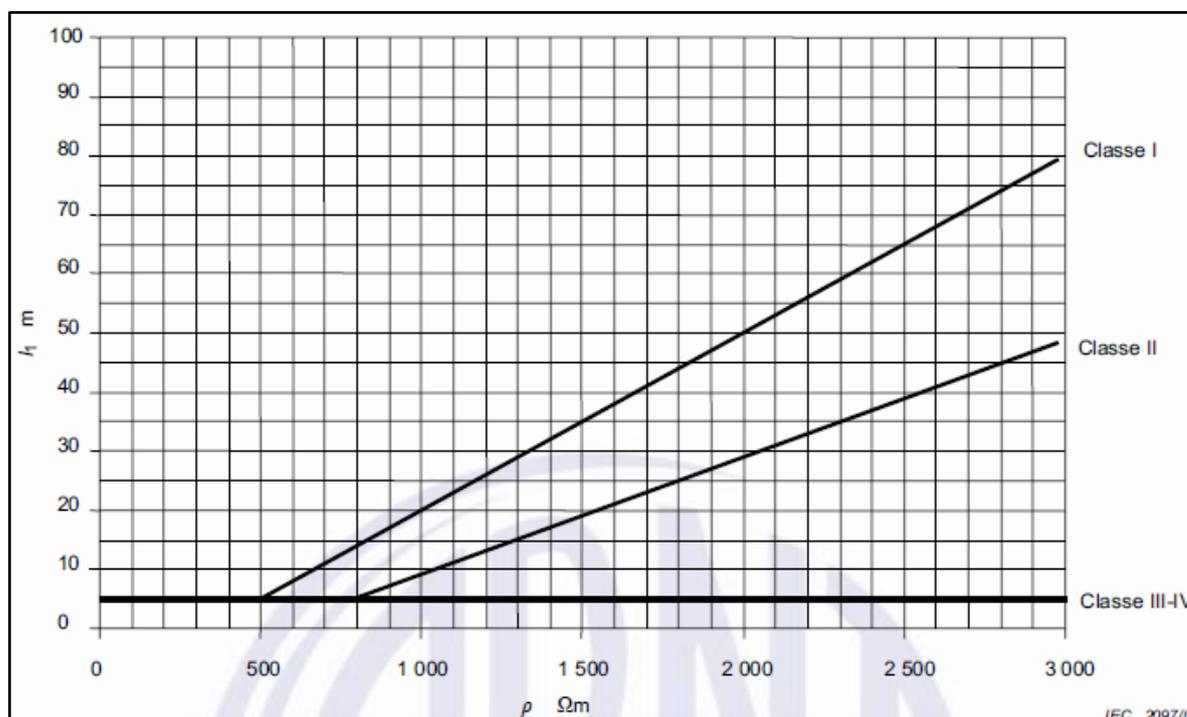


**Figura 10** - Comprimento mínimo do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA.



Fonte: NBR 5419-3 (2015)

A figura 10 demonstra um parâmetro básico a ser seguido para se obter o melhor resultado de aterramento, numa relação que envolve a resistividade do solo e o comprimento total de hastes fixadas no solo.

As classes III e IV são independentes da resistividade do solo e para solos com resistividade maiores que 3000  $\Omega\text{m}$ , prolongar as curvas por meio das equações:

$$L_1 = 0,03\rho - 10 \text{ (para classe I)} \quad L_1 = 0,02\rho - 11 \text{ (para classe II)}$$

Os eletrodos em anel devem ser instalados em uma profundidade de no mínimo 50 centímetros e no máximo à 01 metro longe das paredes externas da edificação. Se não for possível a aplicação do anel externo por motivos técnicos da estrutura, o mesmo pode ser instalado internamente, porém, requisitando medidas que visem minimizar os riscos oriundos por tensões superficiais (NBR 5419-3, 2015).

A respeito do SPDA interno tem o objetivo de reduzir os riscos de centelhamentos potencialmente danosos por meio da equipotencialização ou distância de segurança entre componentes do SPDA externo. As medidas de proteção fundamentais contra tensões de passo e de toque para os seres vivos constitui-se por meio da redução da corrente elétrica que flui através dos seres humanos, com o método de isolamento das partes condutoras que ficam expostas,

também pode ser utilizado em conjunto o aumento da resistividade superficial do solo. Assim outra medida é reduzir os eventos de tensões de passo e toque através de barreiras físicas e/ou avisos de advertências.

Outro ponto fundamental na redução de centelhamentos é a equipotencialização que é realizada por meio da interligação do SPDA com as instalações metálicas, sistemas internos e partes condutivas externas e linhas elétricas conectadas à estrutura. E os meios pelos quais são conectados todo o sistema, pode ser de maneira direta, ou seja, condutores de ligação, onde a continuidade elétrica não seja garantida por ligações naturais; modo indireto que é realizado através de aparelhos DPS (dispositivo de proteção contra surtos), em locais que a conexão direta não possa ser feita por meio de conectores de ligação e também centelhadores, no qual a conexão direta através de condutores de ligação não seja permitida (NBR 5419-3, 2015).

Dessa forma para SPDA não isolado deve ser projetado e instalados a barra de ligação equipotencial no nível do solo ou o mais próximo deste. Se tratando de edificações grandes áreas construídas, devem ser utilizadas barras de equipotencialização local (BEL) a uma distância aproximada de 20 metros uma das outra, e interligadas ao barramento de equipotencialização principal (BEP) de acordo com os materiais e valores mínimos da seção dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização e dos condutores que ligam essas hastes ao sistema de aterramento disponibilizados na tabela 03, assim também na tabela 04 as dimensões mínimas dos conectores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização.

**Tabela 3** - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento

Nível do SPDA	Modo de instalação	Material	Área de seção reta (mm <sup>2</sup> )
I - IV	Não enterrado	Cobre	16
		Alumínio	25
		Aço galvanizado a fogo	50
	Enterrado	Cobre	50
		Alumínio	não aplicável
		Aço galvanizado a fogo	80

Fonte: NBR 5419-3 (2015)

**Tabela 4** - Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL)

Nível do SPDA	Material	Área de seção reta (mm <sup>2</sup> )
I - IV	Cobre	6
	Alumínio	10
	Aço galvanizado a fogo	16

Fonte: NBR 5419-3 (2015)

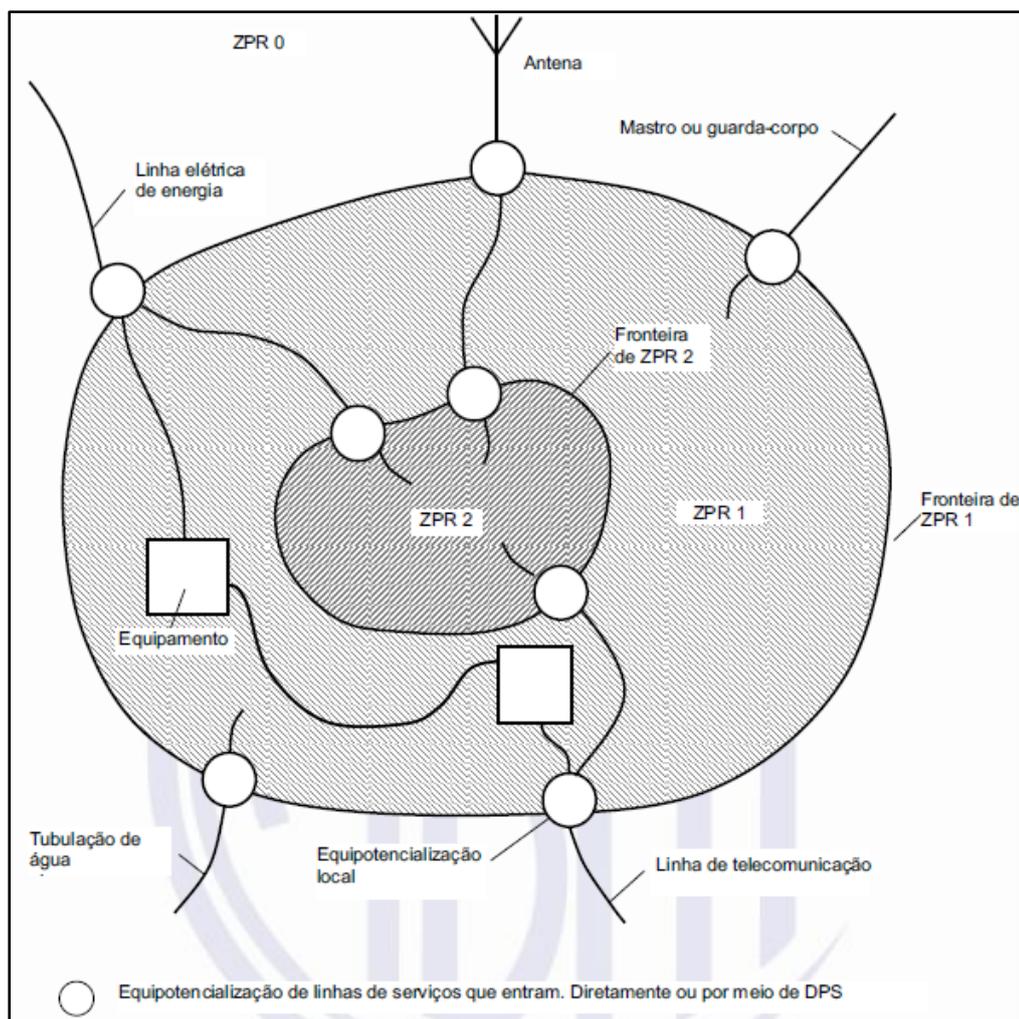
## 2.4. SISTEMAS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS INTERNOS NA ESTRUTURA

Por fim a última parte da norma trata exclusivamente da proteção dos sistemas eletroeletrônicos dentro da edificação através de medidas de proteção contra surtos (MPS). Os surtos são transmitidos para dentro da edificação criados pelo próprio raio que atinge a estrutura ou o solo próximo à edificação e por fatores eletromagnéticos, devido a passagem de corrente elétrica dissipada que flui diretamente pelo SPDA ou pela passagem parcial dessa corrente.

Através da descarga atmosférica é gerado um impulso eletromagnético de grande proporção, no qual tais distúrbios são conduzidos ou induzidos percorrendo através dos cabos interligados aos sistemas eletroeletrônicos. Também ocorre para os efeitos dos campos eletromagnéticos difundidos de forma direta para os equipamentos (NBR 5419-4, 2015).

De acordo com a quarta parte da norma NBR 5419 de 2015, é fundamentada no princípio de zonas de proteção contra raios (ZPR). Tais zonas são teoricamente relacionadas de forma direta a uma determinada parte do ambiente, no qual a severidade dos impulsos eletromagnéticos é compatível com a suportabilidade dos sistemas internos existentes. Desta maneira as zonas são caracterizadas por importantes mudanças na rigorosidade nos impulsos eletromagnéticos de descargas atmosféricas (LEMP). Assim são distribuídas de acordo com a figura 11, que retrata uma divisão de zonas de proteção contra descargas atmosféricas no qual todos materiais metálicos, assim como as linhas de energia e sinal externo a edificação são equipotencializados através de dispositivo de proteção contra surto (DPS) (SANTINI, 2017).

**Figura 11** - Zonas de proteção contra descargas atmosféricas



Fonte: NBR 5419-4 (2015)

No qual a NBR 5419 de 2015 define:

ZPR 0 - Zona onde a ameaça é devido a não diminuição do campo eletromagnético e onde a parte interna da estrutura podem estarem sujeitas às correntes de surtos;

ZPR 1 - Zona pela qual a corrente elétrica de surto é limitada através do escoamento distribuído da corrente elétrica, uso de DPS, equipotencialização e blindagem espacial por meio de malhas que podem minimizar os efeitos do campo eletromagnético;

ZPR 2 - Zona na qual a corrente de surto pode ser ainda mais reduzida nas fronteiras entre as zonas internas, com medidas de distribuição de corrente, DPS, equipotencialização e blindagens adicionais para conter o campo eletromagnético.

### **3. METODOLOGIA**

Um estudo bem sucedido, além de um bom conteúdo dissertado, é importante que as ideias e pesquisas estejam organizadas de forma coerente no qual Rampazzo (2005, p.13) corrobora dizendo que o estudo do método é um conjunto que envolve etapas, dispostas de maneira organizada, no estudo de uma ciência, ou para almejar determinada finalidade.

Desta forma nesta fase serão mencionadas as etapas que direcionam esta pesquisa de modo que os objetivos sejam alcançados. Serão realizadas em 3 etapas:

- a) Revisão da literatura que aborda a norma NBR 5419/2015 através de livros, artigos, periódicos e documentos que abordam o assunto. Também a pesquisa de diagnóstico, que tem o intuito de apresentar sugestões de uma situação organizacional;
- b) O estudo do gerenciamento de risco conforme norma NBR 5419-2 de 2015 como principal área de interesse nesta pesquisa, aplicado a um edifício comercial de 5 pavimentos com aproximadamente 1350 metros quadrados, de acordo com normas e padrões pesquisados e suas particularidades.
- c) Elaboração da análise de risco do local estudado conforme estabelece a NBR 5419/2015

### **4. ESTUDO DE CASO**

Nesta seção é abordado as particularidades da edificação comercial com o intuito de aplicar a norma NBR 5419/2015 e compreender os processos para se chegar ao cálculo do risco, averiguar a necessidade de proteção e melhorias melhor aplicável para o local contra as descargas atmosféricas.

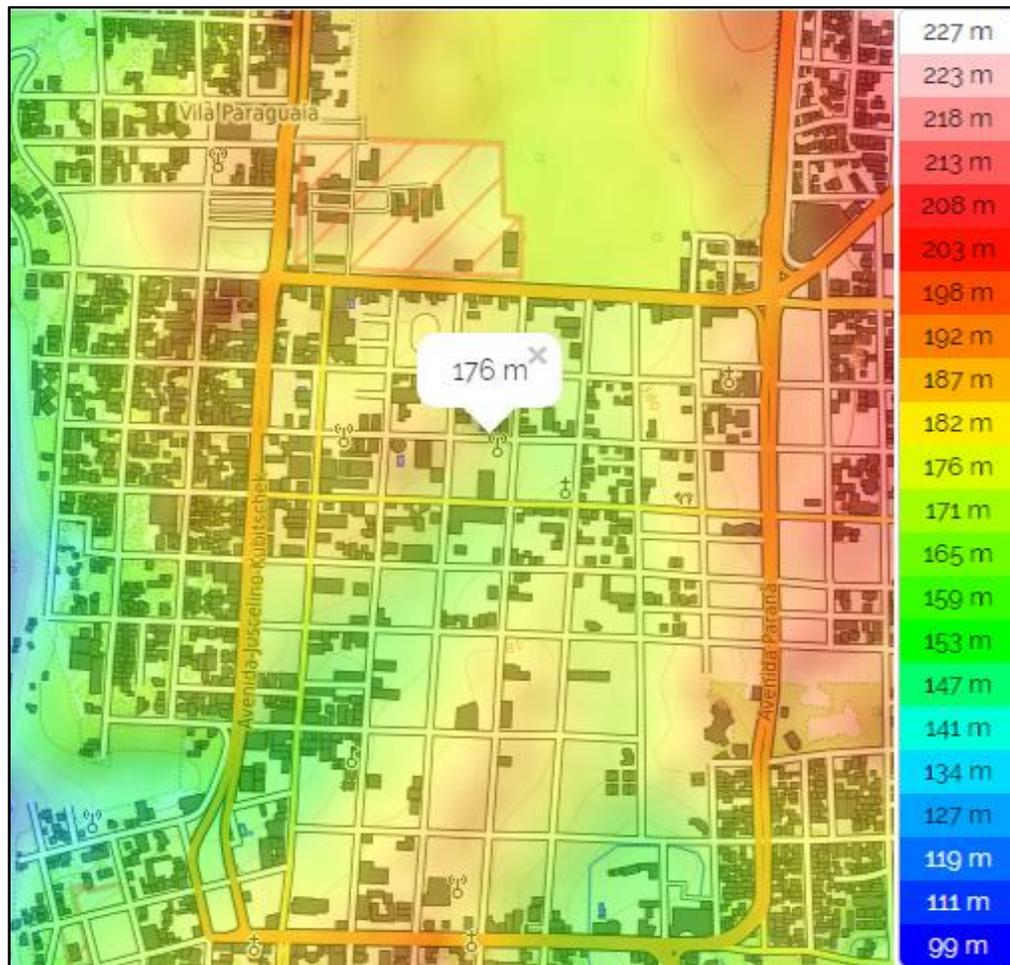
A análise de risco e seus cálculos será realizada manualmente para tornar o estudo mais assertivo e com fluidez das informações, assim assimilar as relações entre as variáveis para se chegar em resultados satisfatórios de segurança. Para a análise de risco é considerado que a edificação é dividida em duas zonas, uma externa e outra interna, visto as condições de ambiente e atividades comerciais da estrutura não apresentarem fatores atípicos e ou complexos como produtos explosivos, equipamentos sensíveis ou serviços hospitalares com equipamentos elétricos para salvar vidas, desta forma a falha dos sistemas internos não porá de imediato em perigo a vida humana e por sua estrutura está localizada numa região com outras edificações mais altas e sua altura não ultrapassar 60 metros.

Outro fator importante salientar é que os Riscos R2, R3 e R4 não serão calculados, pois não se aplica a perda de serviço ao público e perda de patrimônio cultural, também não será avaliado a perda de valor econômico.

#### 4.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

A planta comercial está localizada na região central da cidade de Foz do Iguaçu - Paraná, numa altitude média do relevo local de 176 metros. A estrutura em sua extremidade possui aproximadamente 22 metros de altura do nível do solo. Devido a expansão da cidade a edificação conta com demais prédios e torre de telefonia mais altos nas proximidades e também edificações do mesmo porte. A figura 12 demonstra a localização e sua altitude:

**Figura 12 - Mapa Topográfico**



Fonte: Topographic Map (2020)

De acordo com o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2015) a região oeste do Paraná é o local com maior concentração de raios no estado. A densidade de descargas atmosféricas é um parâmetro exigido que demonstra a quantidade de raios registrados por quilômetro quadrado no período de um ano.

O INPE é a fonte oficial para obter tais informações, assim também disponibilizados no anexo F da NBR 5419/2015 - 2 (gerenciamento de risco). O município de Foz do Iguaçu registra um índice de 14,93 descargas atmosféricas por quilômetro quadrado, para efeitos de cálculo será considerado o valor de 15 raios por km<sup>2</sup> no espaço de um ano.

No anexo A está contido as informações retiradas da NBR 5419/2015 parte 2 para realização dos cálculos da análise de risco a seguir.

#### 4.2. CÁLCULO DE RA – RISCO DE FERIMENTOS A SERES VIVOS CAUSADO POR DESCARGAS NA ESTRUTURA

Este componente está associado aos seres vivos, causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo interno e externo da edificação, nas áreas até 3 metros em volta dos condutores de descidas;

Nd - número de eventos perigosos para a estrutura

<b>CD</b> - fator de localização da estrutura (NBR 5419-2 tabela A.1)	0,25
<b>NG</b> - densidade de descargas atmosféricas para a terra (mapa isoceráunico)	15
<b>AD</b> - área de exposição equivalente em m <sup>2</sup> (NBR 5419-2 figura A.1, A.2 e A.3) $L*W+2*(3*H)*(L+W)+\pi*(3*H)^2$	17.785

$$Nd = Ng*Ad*Cd*10^{-6}$$

$$Nd = 15*17.785*0,25*10^{-6}$$

$$Nd = 6.67 \times 10^{-4}$$

Pa - probabilidade de uma descarga na estrutura causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico

<b>P<sub>ta</sub></b> - probabilidade de uma descarga a uma estrutura causar choque a seres vivos devido tensão de toque e passo (NBR 5419-2 tabela B.1)	1
<b>P<sub>b</sub></b> - probabilidade de uma descarga na estrutura causar danos físicos (NBR 5419-2 tabela B.2)	1

$$P_a = P_{ta} * P_b$$

$$P_a = 1 * 1$$

$$P_a = 1$$

La - valores de perda na zona considerada

<b>r<sub>t</sub></b> - fator de redução em função do tipo da superfície do solo ou do piso (NBR 5419-2 tabela C.3)	1x10 <sup>-3</sup>
<b>L<sub>t</sub></b> - número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a um evento perigoso (NBR 5419-2 tabela C.2)	1x10 <sup>-2</sup>
<b>n<sub>z</sub></b> - número de pessoas na zona (informação de projeto)	40
<b>n<sub>t</sub></b> - número total de pessoas na estrutura (informação de projeto)	40
<b>t<sub>z</sub></b> - tempo em horas por ano para o qual as pessoas estão presentes na zona (informação de projeto)	8760 h/ano

$$L_a = r_t * L_t * (n_z / n_t) * (t_z / 8760)$$

$$L_a = 1x10^{-5}$$

$$R_A = N_d * P_a * L_a$$

$$R_A = 6.67x10^{-4} * 1 * 1x10^{-5}$$

$$R_A = 6.67 x 10^{-9}$$

#### 4.3. CÁLCULO DE RB – RISCO DE DANOS FÍSICOS NA ESTRUTURA CAUSADO POR DESCARGAS NA ESTRUTURA

N<sub>d</sub> - número de eventos perigosos para a estrutura

<b>CD</b> - fator de localização da estrutura (NBR 5419-2 tabela A.1)	0,25
<b>NG</b> - densidade de descargas atmosféricas para a terra (mapa isoceráunico)	15
<b>AD</b> - área de exposição equivalente da estrutura equivalente em m <sup>2</sup> (NBR 5419-2 figura A.1, A.2 e A.3) $L * W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 * H)^2$	17.785

$$N_d = N_g * A_d * C_d * 10^{-6}$$

$$Nd = 15 \cdot 17.785 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6}$$

$$Nd = 6.67 \times 10^{-4}$$

<b>Pb</b> - probabilidade de uma descarga na estrutura causar danos físicos (NBR 5419-2 tabela B.2)	1
---	---

Lb - valores de perda na zona calculada

<b>rp</b> - fator de redução em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio (NBR 5419-2 tabela C.4)	0.5
<b>rf</b> - fator de redução em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura (NBR 5419-2 tabela C.5)	$1 \times 10^{-2}$
<b>hz</b> - Fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (NBR 5419-2 tabela C.6)	1
<b>Lf</b> - Número relativo médio típico de vítimas feridas por danos físicos devido a um evento perigoso (NBR 5419-2 tabela C.2)	$2 \times 10^{-2}$
<b>nz</b> - Número de pessoas na zona (informação de projeto)	40
<b>nt</b> - número total de pessoas na estrutura (informação de projeto)	40
<b>tz</b> - tempo em horas por ano para o qual as pessoas estão presentes na zona (informação de projeto)	8760 h/ano

$$Lb = rp \cdot rf \cdot hz \cdot Lf \cdot (nz/nt) \cdot (tz/8760)$$

$$Lb = 1 \times 10^{-4}$$

$$RB = Nd \cdot Pb \cdot Lb$$

$$RB = 6.67 \times 10^{-4} \cdot 1 \cdot 1 \times 10^{-4}$$

$$RB = 6.67 \times 10^{-8}$$

#### 4.4. CÁLCULO DE RU – RISCO DE FERIMENTOS A SERES VIVOS CAUSADOS POR DESCARGAS NA LINHA CONECTADA (LINHA DE ENERGIA)

Relativo à ferimentos a seres vivos, ocasionados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da edificação.

AL - área de exposição equivalente de descargas para a terra que atingem a linha

	Linhas de	Linhas de
--	-----------	-----------

	energia (E)	telecomunicações (T)
<b>LL</b> - Comprimento da seção de linha, descargas atmosféricas que atingem a linha em m <sup>2</sup> (NBR 5419-2 figura A.5)	200 metros	100 metros

$$AL = 40 \times LL$$

$$AL_E = 8000m^2$$

$$AL_T = 4000m^2$$

<b>NG</b> - Densidade de descargas atmosféricas para a terra (mapa isocerâmico)	15 (Km <sup>2</sup> por ano)
---	------------------------------

NL - Número de sobretensões não inferiores a 1kV na seção da linha

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
<b>AL</b> - área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha em m <sup>2</sup> (NBR 5419-2 figura A.5)	8000 m <sup>2</sup>	4000 m <sup>2</sup>
<b>Cl</b> - fator de instalação da linha (NBR 5419-2 tabela A.2)	1	1
<b>Ct</b> - fator do tipo de linha (NBR 5419-2 tabela A.3)	1	1
<b>Ce</b> - fator ambiental (NBR 5419-2 tabela A.4)	0.1	0.1

$$NL = Ng * Al * Cl * Ce * Ct * 10^{-6}$$

$$NL_E = 1.2 \times 10^{-2}$$

$$NL_T = 6 \times 10^{-3}$$

NDJ - número de eventos perigosos para uma estrutura (Adjacente)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
<b>Adj</b> - área de exposição equivalente da estrutura adjacente (NBR 5419-2 figura A.5)	não	não
<b>Cdj</b> - fator de localização da estrutura adjacente (NBR 5419-2 tabela A.1)	não	não

PU - Probabilidade de uma descarga em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico.

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicação (T)
<b>Ptu</b> - probabilidade de uma edificação em uma linha que adentre a estrutura causar choques a seres vivos devido a tensões de toque (depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos de alertas).(NBR 5419-2 tabela B.6)	1	1
<b>Peb</b> - probabilidade em função do NP para qual os DPS foram projetados (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) (NBR 5419-2 tabela B.7)	1	1
<b>Pld</b> - Probabilidade dependendo da resistência Rs da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso Uw do equipamento (probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica na linha conectada)(NBR 5419-2 tabela B.8)	1	1
<b>Cld</b> - Fator dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento (fator dependente da blindagem, do aterramento e das condições da isolação da linha) (NBR 5419-2 tabela B.4)	1	1

$$PU = Ptu * Peb * Pld * Cld$$

$$PU_E = 1$$

$$PU_T = 1$$

LU - Valores de perda na zona considerada

<b>rt</b> - Fator de redução em função do tipo da superfície do solo ou do piso (NBR 5419-2 tabela C.3)	$1 \times 10^{-3}$
<b>Lt</b> - Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a um evento perigoso (NBR 5419-2 tabela C.2)	$1 \times 10^{-2}$
<b>nz</b> - Número de pessoas na zona (informação de projeto)	40

<b>nt</b> - Número total de pessoas na estrutura (informação de projeto)	40
<b>tz</b> - tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano (informação de projeto)	8760

$$LU = rt * Lt * (nz/nt) * (tz/8760)$$

$$LU = 1 \times 10^{-5}$$

$$RU = Ru.E + Ru.T$$

$$RU = [(NL_E + Ndj_E) \times Pu_E \times Lu] + [(NL_T + Ndj_T) \times Pu_T \times Lu]$$

$$RU = [(1.2 \times 10^{-2}) * 1 * 1 \times 10^{-5}] + [(6 \times 10^{-3}) * 1 * 1 \times 10^{-5}]$$

$$RU_E = 1.2 \times 10^{-7}$$

$$RU_T = 6 \times 10^{-8}$$

$$RU = 1.2 \times 10^{-7} + 6 \times 10^{-8}$$

$$RU = 1.8 \times 10^{-7}$$

#### 4.5. CÁLCULO DE RV – RISCO DE DANOS FÍSICOS NA ESTRUTURA CAUSADO POR DESCARGAS NA LINHA CONECTADA

Componente concernente a danos físicos como: incêndio ou explosão causados por centelhamentos perigosos com instalações externas e partes metálicas, normalmente no ponto de entrada da linha da edificação, ocasionado pela corrente da descarga atmosférica conduzida, ou ao longo das linhas.

AI - área de exposição equivalente de descargas para a terra que atingem a linha

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
<b>LI</b> - comprimento da seção de linha	200 metros	100 metros

$$AI = 40 * LI$$

$$AI_E = 8000 \text{ m}^2$$

$$AI_T = 4000 \text{ m}^2$$

<b>NG</b> - densidade de descargas atmosféricas para a terra	15 (Km <sup>2</sup> por ano)
--	------------------------------

NL - número médio anual de eventos perigosos devido a descarga na linha

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
<b>Cl</b> - fator de instalação da linha (tabela A.2)	1	1
<b>Ct</b> - fator do tipo de linha (tabela A.3)	1	1
<b>Ce</b> - fator ambiental (tabela A.4)	0.1	0.1

$$NI = Ng \cdot Al \cdot Cl \cdot Ce \cdot Ct \cdot 10^{-6}$$

$$NL_E = 1.2 \times 10^{-2}$$

$$NL_T = 6 \times 10^{-3}$$

Ndj - Número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente

	Linhas de energia	Linhas de telecomunicações
<b>Adj</b> - área de exposição equivalente da estrutura adjacente	não	não
<b>Cdj</b> - fator de localização da estrutura adjacente	não	não

$$N_{dj} = Ng \cdot Adj \cdot C_{dj} \cdot Ct \cdot 10^{-6}$$

Pv - probabilidade de uma descarga em uma linha causar danos físicos

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicação (T)
<b>Peb</b> - Probabilidade em função do NP para qual os DPS foram projetados (NBR 5419-2 tabela B.7)	1	1
<b>Pld</b> - Probabilidade dependendo da resistência Rs da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso Uw do equipamento (NBR 5419-2 tabela B.8)	1	1
<b>Cld</b> - Fator dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento (NBR 5419-2 tabela B.4)	1	1

$$PV = P_{eb} \cdot P_{ld} \cdot C_{ld}$$

$$PV_E = 1$$

$$PV_T = 1$$

LV - Valores de perda na zona considerada

<b>rp</b> - fator de redução em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio (tabela C.4)	0.5
<b>rf</b> - fator de redução em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura (tabela C.5)	$1 \times 10^{-2}$
<b>hz</b> - Fator aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial (tabela C.6)	1
<b>Lf</b> - Número relativo médio típico de vítimas feridas por danos físicos devido a um evento perigoso (tabela C.2)	$2 \times 10^{-2}$
<b>nz</b> - Número de pessoas na zona (informação de projeto)	40
<b>nt</b> - número total de pessoas na estrutura (informação de projeto)	40
<b>tz</b> - tempo em horas por ano para o qual as pessoas estão presentes na zona (informação de projeto)	8760 h/ano

$$LV = rp * rf * hz * Lf * (nz/nt) * (tz/8760)$$

$$LV = 1 \times 10^{-4}$$

$$RV = RV_E + RV_T$$

$$RV = [(NL_E + Nd_{jE}) * P_{VE} * LV] + [(NL_T + Nd_{jT}) * P_{VT} * LV]$$

$$RV = [(1.2 \times 10^{-2}) * 1 * 1 \times 10^{-4}] + [(6 \times 10^{-3} * 1) * 1 * 1 \times 10^{-4}]$$

$$RV_E = 1.2 \times 10^{-6}$$

$$RV_T = 6 \times 10^{-7}$$

$$RV = 1.2 \times 10^{-6} + 6 \times 10^{-7}$$

$$RV = 1.8 \times 10^{-6}$$

#### 4.6. R1 – RISCO DE PERDAS OU DANOS PERMANENTES EM VIDAS HUMANAS

Devido a estrutura estudada não se tratar de estruturas com risco de explosão ou hospitais, as componentes de R1 será formada pela seguinte expressão:

$$R1 = RA1 + RB1 + RU1 + RV1$$

De forma individual são calculados pelos seguintes fatores:

$$RA = ND * PA * LA$$

$$RB = ND * PB * LB$$

$$RU = (NL + NDJ) * PU * LU$$

$$RV = (NL + NDJ) * PV * LV$$

Se chegou aos seguintes valores após os cálculos:

$$RA = 6.67 \times 10^{-9}$$

$$RB = 6.67 \times 10^{-8}$$

$$RU = 1.8 \times 10^{-7}$$

$$RV = 1.8 \times 10^{-6}$$

$$R1 = RA + RB + RU + RV$$

$$R1 = 2.05 \times 10^{-6}$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados a partir dos cálculos do gerenciamento de risco demonstram que não há necessidade da instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, visto o valor de  $R1 = 2.05 \times 10^{-6}$  ficar abaixo do tolerável exigido pela norma que é  $10^{-5}$ .

Vale ressaltar que a estrutura possui um sistema de proteção contra descargas atmosféricas antigo, em não conformidade com a versão mais atual da norma que é a NBR 5419/2015. Devido a este fator não foi levado em consideração nos cálculos a estrutura em nenhuma das quatro classes de SPDA, por motivos de segurança por não se ter a verdadeira efetividade do sistema de captação, descida e eletrodo de aterramento. Para tal afirmação de funcionamento são necessários testes em todo sistema e adequações técnicas.

A não necessidade de SPDA com os cálculos atuais contrapondo a instalação já existente pode ser entendida observando a expansão da cidade com novas construções de grande porte e mais altas que circundam as instalações estudada neste trabalho.

A NBR 5419-2 (2015) como visto estabelece que a decisão de prover uma proteção contra descargas atmosféricas pode ser tomada independentemente do resultado da análise de risco, ou seja, proteções adicionais das exigidas podem ser realizadas como forma de minimizar ainda mais possíveis danos ou perdas.

Como recomendação principal a instalação de DPS (dispositivo de proteção contra surtos) coordenados nos quadros de distribuição como forma de atenuar ainda mais a segurança na edificação, a fim de bloquear picos de tensão e transientes na rede.

O gerenciamento de risco disponibilizado na NBR 5419 de 2015, fica evidente a preocupação da norma em abordar uma quantidade significativa de características individuais para cada projeto de SPDA, visto a importância do sistema como meio de minimizar prejuízos materiais e preservar vidas e desta forma proporcionar confiabilidade através dos resultados obtidos para uma manutenção futura no sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A pesquisa propôs como foco principal realizar o estudo do gerenciamento de risco de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas com base na NBR 5419 de 2015, a qual é dividida em quatro partes: Princípios gerais, Gerenciamento de risco, Danos físicos a estrutura e perigos à vida e Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Dada a importância e complexidade do tema, optou-se por explicitar de forma mais ampla o conteúdo para facilitar o entendimento dos processos de análise de risco.

Os dados estatísticos apresentados no estudo, evidenciam a necessidade da observação da norma por parte dos profissionais responsáveis pela projeção e execução dos SPDAs e a formulação do Gerenciamento de Riscos é fator de suma importância durante esse processo.

Vale reforçar que um gerenciamento de risco bem formulado, através da análise de diversos parâmetros da edificação, e das linhas elétricas ligadas a ela, definirá quais serão as medidas de proteção dessa estrutura, dos equipamentos e principalmente das pessoas que circulam pelo local, a fim de garantir valores toleráveis de exposição ao risco de uma descarga atmosférica direta ou indiretamente na edificação.

Espera-se que o presente estudo colabore para o enriquecimento de informações e conhecimento dos alunos das áreas de engenharia elétrica e correlatas, bem como à qualquer pessoa interessada no assunto.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419/2015: Proteção Contra Descargas Atmosféricas, parte 1: Princípios Gerais. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419/2015: Proteção Contra Descargas Atmosféricas, parte 2: Gerenciamento de Risco. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419/2015: Proteção Contra Descargas Atmosféricas, parte 3: Danos Físicos a Estrutura e Perigos à Vida. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419/2015: Proteção Contra Descargas Atmosféricas, parte 4: Sistemas Elétricos e Eletrônicos Internos na Estrutura. Rio de Janeiro.

COELHO, Guilherme Hoffmann Leão. Estudo sobre sistema de proteção contra descargas atmosféricas em plantas petroquímicas em situação de manutenção: análise de risco, ano. Disponível em: <<http://www.ppgee.ufmg.br/defesas/81M.PDF>>. Acesso em: 25 de maio 2020.

GEBRAN, Amaury Pessoa; RIZZATO, Flávio Adalberto Poloni. **Instalações Elétricas Prediais**. Porto Alegre: Bookman, 2017.

INPE. Instituto de Pesquisas Espaciais. Tempestades com raios inspiram fotógrafos profissionais e amadores. Disponível em <[http://www.inpe.br/webelat/elatMidia/arquivos/20150917164144Mateira\\_Raios%20e%20fotografia\\_G1\\_16-1-15.pdf](http://www.inpe.br/webelat/elatMidia/arquivos/20150917164144Mateira_Raios%20e%20fotografia_G1_16-1-15.pdf)> Acesso em: 03 de outubro de 2020.

Instalações elétricas / Hélio Creder; atualização e revisão Luiz Sebastião Costa. [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2018.

Instalações Elétricas: Fundamentos, prática e projetos em instalações residenciais e comerciais / Eduardo Cesar Alves Cruz, Larry Aparecido Aniceto. – 2. ed. – São Paulo : Érica, 2012.

LIMA Filho, Domingos Leite. **Projetos de Instalações Elétricas Prediais** / Domingos Leite Lima Filho. -- 12. ed. -- São Paulo: Érica, 2011. -- (Coleção Estude e Use. Série Instalações Elétricas)

Disponível em: <https://online.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520131/>. Acesso em: 07 Maio 2020

MARKUS, Otávio. Circuitos Elétricos – Corrente contínua e corrente alternada, 1ª edição. São Paulo: Erica, 2001.

MAMEDE Filho, João. **Instalações elétricas industriais**: de acordo com a norma brasileira NBR 5419:2015 / João Mamede Filho. - 9. ed. - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2018.

Disponível em:

<https://online.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521633730/cfi/6/2!/4/2/2@0:20.6>

acesso em 07 maio de 2020

NERY, Norberto. **Instalações Elétricas**: princípios e aplicações. 3. ed. São Paulo: Érica, 2019.

NISKIER, Julio, 1929-2018. **Instalações elétricas** / Julio Niskier, Archibald Joseph Macintyre ; Luiz Sebastião Costa (colaborador). - 6.ed. - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro : LTC, 2019. Disponível em: <https://online.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2343-4/pageid/5>

acesso em 07 maio 2020

RASHID, Muhammad H.. **Eletrônica de Potência**: Circuitos, Dispositivos e Aplicações. São Paulo: Makron, 1999.

SUETA, H. E. Desenvolvimento de uma planilha para análise de risco. O Setor Elétrico, Edição 116. Disponível em: <<https://www.osetoelettrico.com.br/desenvolvimento-de-uma-planilha-para-analise-de-risco/>> acesso em 31 de maio 2020.

SUETA, H. E. Desenvolvimento de uma planilha para análise de risco. O Setor Elétrico, Edição 109. Disponível em : <<https://www.osetoelettrico.com.br/o-gerenciamento-de-risco-segundo-a-parte-2-da-abnt-nbr-5419/>> acesso em 31 de maio 2020.

TERMOTÉCNICA. Gerenciamento de Risco - O primeiro passo para estabelecer um projeto de SPDA. Termotécnica Para-Raios. Disponível em: <<https://tel.com.br/gerenciamento-de-risco-o-primeiro-passo-para-estabelecer-um-projeto-de-spda/>> acesso em 01 de junho 2020

TOPOGRAPHIC-MAP. **Topographic Brazil**. Disponível em <<https://pt-br.topographic-map.com/maps/gnrv/Paraná/>>. Acesso em: 03 de outubro 2020.

## 8. ANEXO A

<b>Localização relativa</b>	<b><math>C_D</math></b>
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

<b>Medida de proteção adicional</b>	<b><math>P_{TA}</math></b>
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

<b>Características da estrutura</b>	<b>Classe do SPDA</b>	<b><math>P_B</math></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

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
		$5 \times 10^{-2}$	Entretenimento público, igreja, museu
		$2 \times 10^{-2}$	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

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

<sup>a</sup> Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm<sup>2</sup> comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

<sup>b</sup> 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.

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 <sup>a</sup>	0,2

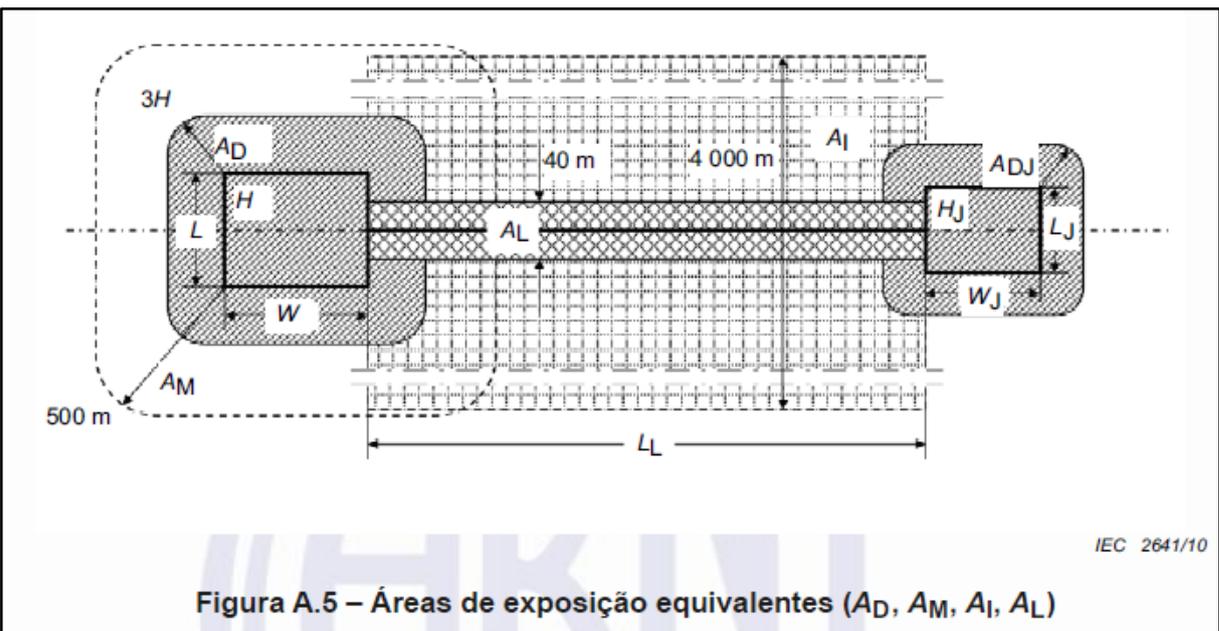
<sup>a</sup> Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.

**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



**Figura A.5 – Áreas de exposição equivalentes ( $A_D$ ,  $A_M$ ,  $A_I$ ,  $A_L$ )**