

ANÁLISE DE SPDA EM EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR

Bruno Barros Calegari Pancotto¹, Rafael Gagno Mazocco¹, Adan Lucio Pereira, Wagner Dias Casagrande e João Marcos dos Santos Souza²

1. Acadêmico de Engenharia Elétrica na Faculdade MULTIVIX

2. Engenheiro da Computação, Mestre em Energia e Docente do Curso de Engenharia Elétrica na Faculdade MULTIVIX.

RESUMO

O artigo foi idealizado a fim de verificar a necessidade de implantação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) em uma edificação residencial multifamiliar. Para tanto, serão apresentadas, em primeiro momento, as normas vigentes referentes ao assunto. Em seguida, serão pontuadas as principais características do SPDA, subsistema de captação, subsistema de descida, subsistema de aterramento e dispositivo de proteção contra surtos (DPS). Por fim, a memória de cálculo para a edificação proposta será elaborada em conformidade com a ABNT NBR 5419:2015, considerando o risco de perda de vida humana e danos físicos em caso de incidência de descarga atmosférica diretamente à estrutura, em suas proximidades ou diretamente às linhas conectadas a edificação e demonstrar os resultados.

Palavra Chave: SPDA, DPS, descargas atmosféricas, NBR 5419.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o país com a maior incidência de raios do mundo. Em 2022, registrou-se um aumento de 29% em comparação com o mesmo período do ano passado, sendo que 17 milhões de raios caíram no país entre janeiro e fevereiro de 2022, contra 13,2 milhões no mesmo período de 2021 (INPE, 2022).

De acordo com (JÚNIOR, 2018), nas instalações elétricas prediais, o sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) é necessário pois estabelece a ligação da estrutura com a terra, estabilizando a tensão em caso de sobrecarga de energia.

Para (CREDER, 2016) as normas ABNT NBR 5410:2004 e ABNT NBR 5419:2015 estabelecem os critérios de dimensionamento do SPDA. A instalação desse sistema proporciona proteção para as edificações e seus ocupantes.

Inserindo-se neste contexto, o presente artigo foi idealizado com o objetivo de desenvolver um estudo de caso a fim de verificar a necessidade de implantação de um SPDA em uma edificação residencial multifamiliar, localizada no município de Vitória/ES, com a finalidade de mitigar os riscos envolvidos para as pessoas, estrutura e aos equipamentos internos.

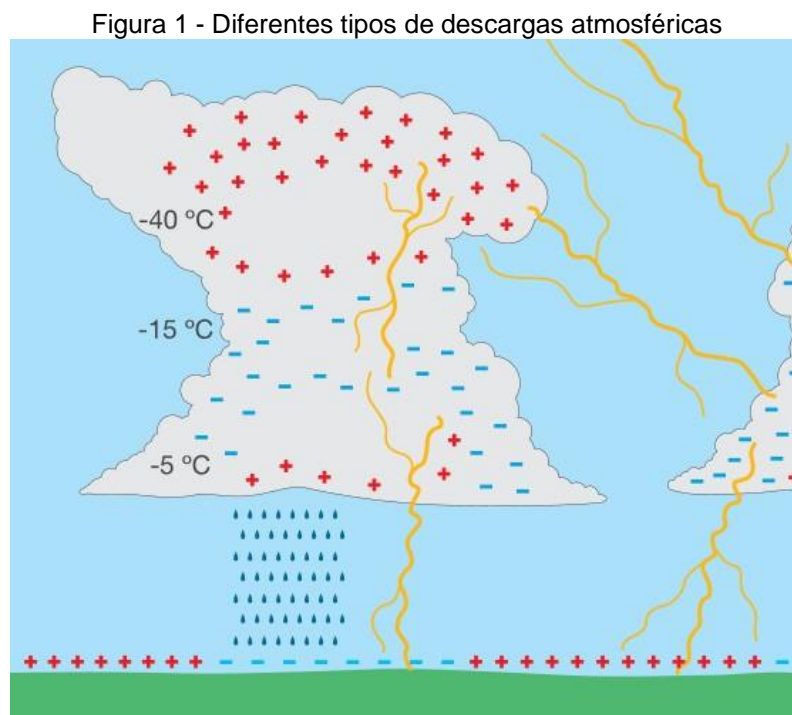
REFERENCIAL TEÓRICO

Descargas atmosféricas

Segundo (FILHO, 2017), as descargas atmosféricas causam sérias perturbações nas redes aéreas de transmissão e distribuição de energia elétrica, além de provocarem danos materiais nas construções atingidas por elas, sem contar os riscos de morte a que as pessoas e os animais ficam submetidos.

Ocorrem cerca de 78 milhões de incidências de descargas atmosféricas por ano no Brasil e a cada 50 mortes provocadas por descargas atmosféricas, uma acontece no Brasil (ELAT, 2019).

De acordo com (PAULINO *et al.*, 2016), as descargas podem ocorrer dentro das nuvens, entre nuvens, da nuvem para o espaço e da nuvem para o solo, como pode ser visto na Figura 1.



Fonte: (PAULINO *et al.*, 2016, p. 19)

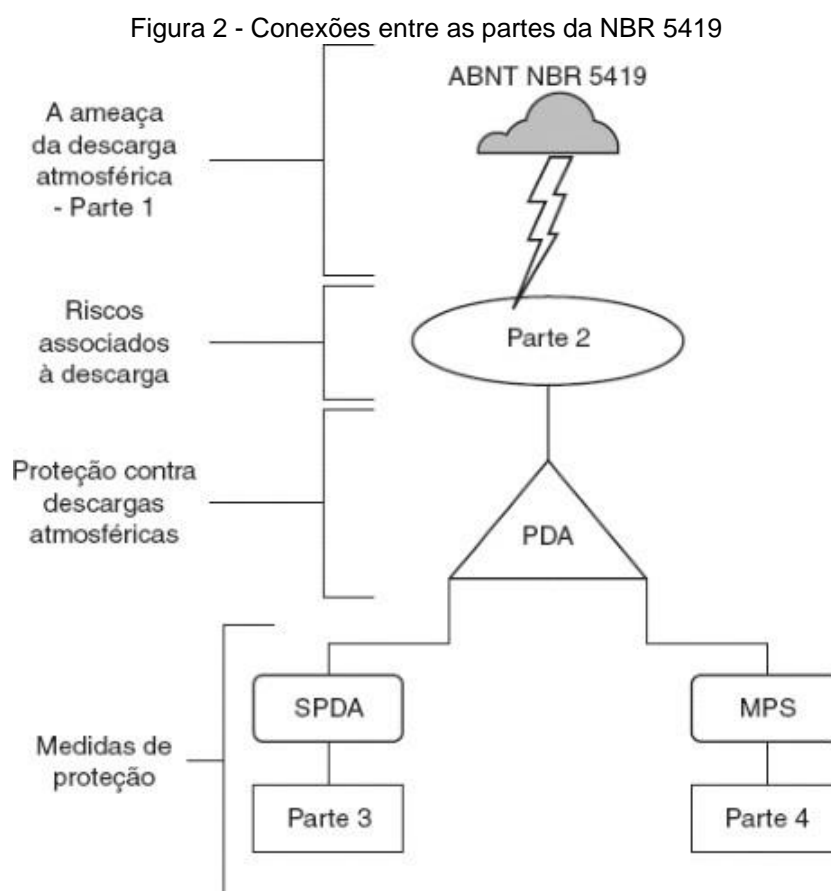
Os raios percorrem distâncias da ordem de 5 km e podem ser denominados ascendentes, quando iniciam no solo e sobem em direção à tempestade, ou descendentes, quando iniciam na tempestade e descem em direção ao solo. A intensidade de corrente elétrica típica de um raio é de 20 mil ampères (INPE, 2020).

Exigências normativas

Conforme (DE SOUZA *et al.*, 2020), as normas técnicas tem função de orientar, enquanto as normas regulamentadoras são de cunho obrigatório. Portanto, a proteção contra descargas atmosféricas é padronizada pela norma técnica da ABNT NBR 5419:2015 e reforçada de forma legal pela NR10.

Segundo (MORENO; COSTA, 2018), a ABNT NBR 5419:2015 aborda o assunto referente a Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA) de maneira completa, apresentando o SPDA como meio responsável pelo escoamento das correntes dos raios no solo, sem provocar tensões de passo perigosas.

De acordo com (NISKIER; MACINTYRE, 2021), a ABNT NBR 5419:2015 tem por objetivo definir a condição mínima aceitável para projeto, implantação, instalação e manutenção do SPDA nas estruturas utilizadas, e se divide em quatro partes, conforme Figura 2, sendo: Parte 1 - Princípios Gerais, Parte 2 - Gerenciamento de Risco, Parte 3 - Danos Físicos a Estruturas e Perigos à Vida, e Parte 4 - Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.

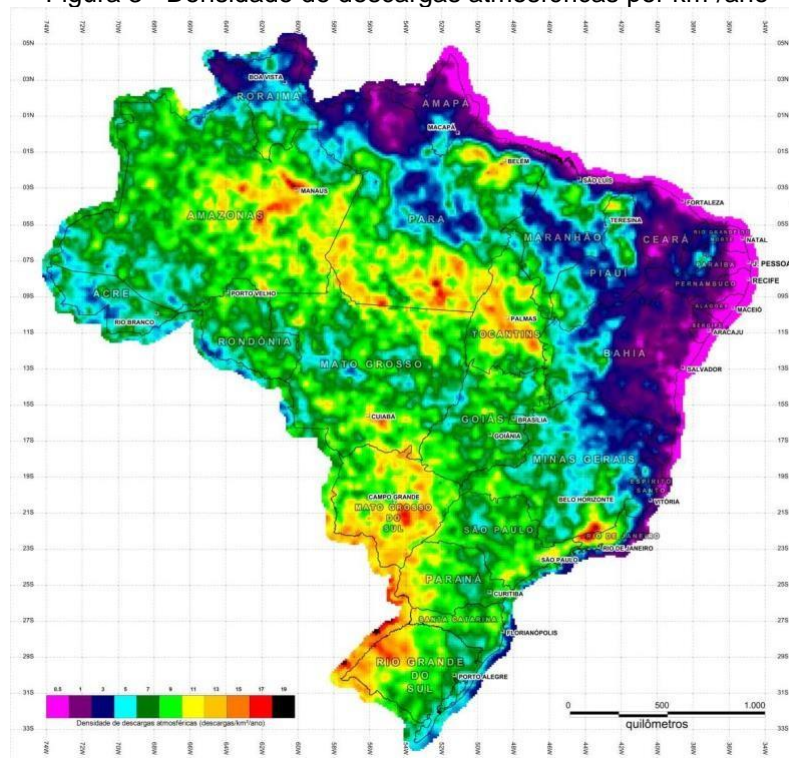


Fonte: (NISKIER; MACINTYRE, 2021, p. 469)

Conforme (SUETA, 2015), as quatro partes que compõem a ABNT NBR 5419:2015 apresentam suas principais características, sendo:

- Parte 1 - Princípios Gerais: estabelece os requisitos para a determinação de proteção contra descargas atmosféricas e fornece subsídios para elaboração dos projetos de proteção. Apresenta os diversos danos provocados pelos raios considerando descargas diretas na estrutura, nas linhas que adentram a estrutura e nas proximidades das estruturas e linhas. Descreve também os riscos referentes às perdas ou danos em vidas humanas, perdas de patrimônio público e cultural e perdas de valor econômico;
- Parte 2 - Gerenciamento de Risco: estima a necessidade ou não da instalação de um SPDA para uma estrutura através da elaboração da memória de cálculo realizando a análise de aproximadamente 110 parâmetros e comparando os riscos calculados com os valores toleráveis pela norma. Possui no Anexo F o mapa do Brasil (Figura 3) apresentando a densidade de descargas atmosféricas por km²/ano.

Figura 3 - Densidade de descargas atmosféricas por km²/ano



Fonte: (ABNT NBR 5419-2, 2015, p. 97)

- Parte 3 - Danos Físicos a Estruturas e Perigos à Vida: descreve o SPDA com detalhe, apresentando os métodos e materiais a serem utilizados aceitáveis para o subsistema de captação (ângulo de proteção, esfera rolante e malhas), subsistema de descida e subsistema de aterramento. Afirma ainda que a eficácia de qualquer SPDA depende da sua instalação, manutenção e métodos de ensaio utilizados, sendo assim, apresenta em itens específicos dessa parte da norma os procedimentos para a correta aplicação das inspeções e manutenções dos sistemas, estabelecendo as ordens que devem ser realizadas e a periodicidade no qual devem acontecer.
- Parte 4 - Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura: fornece diretrizes para a redução dos riscos de danos permanentes nos sistemas eletroeletrônicos presentes no interior da estrutura causados por impulsos eletromagnéticos da descarga atmosférica, podendo ser surtos conduzidos ou induzidos, transmitidos por cabos condutores dos sistemas (elétrico ou telecomunicação) ou pelos efeitos dos campos eletromagnéticos irradiados diretamente aos equipamentos. Dessa forma, essa parte descreve as principais Medidas de Proteção contra Surtos (MPS) e ilustra através de figuras os detalhes e configurações para aterramento e equipotencialização, blindagem magnética e roteamento de linhas, coordenação de DPS, e interfaces isolantes.

Para a (ABNT NBR 5410, 2004), o item 6.4.1.1.1, estabelece que toda edificação deve dispor de uma infraestrutura de aterramento, preferencialmente utilizando das armaduras do concreto das fundações, devem ser concebidas de modo confiável e que satisfaça os requisitos de segurança. O item 5.4.2.1 estabelece que todas as edificações alimentadas total ou parcialmente por linha aérea devem ser providas de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS).

Conforme a (NR10, 2019), no item 10.2.4, fica estabelecido que os estabelecimentos com cargas instaladas superiores a 75 kW devem constituir e manter a documentação das inspeções e medições do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramentos elétricos.

Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SDPA)

Segundo (ABNT NBR 5419-1, 2015), não existem dispositivos ou métodos capazes de alterar os fenômenos climáticos naturais a ponto de evitar a ocorrência de descargas atmosféricas. Essas, por sua vez, quando atingem estruturas ou suas proximidades, são perigosas às pessoas, à própria estrutura e a seus equipamentos internos.

De acordo com (WETTINGFELD, 2015), um SPDA tem como objetivo interceptar as descargas atmosféricas, conduzir a corrente dessas descargas para a terra e dispersar a corrente na terra com segurança através do aterramento.

As descargas atmosféricas podem ser diretas ou indiretas. Edificações em geral e linhas de transmissão de energia são estruturas que devem ser protegidas contra a incidência direta de raios. É também adequado que instalações de eletroeletrônicos sejam protegidas contra os efeitos indiretos dos raios, que se traduzem em surtos induzidos (...) ou injetados (...), os quais podem danificar as linhas de energia e de sinal, bem como os equipamentos terminais (CREDER, 2016, p. 248).

Conforme a (ABNT NBR 5419-1, 2015), o termo SPDA é definido como “sistema de proteção contra descargas atmosféricas”. Sua utilização visa diminuir os danos físicos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura, sua finalidade é de conduzir as descargas atmosféricas para terra e é composto pelo SPDA externo (subsistema de captação, subsistema de descida e subsistema de aterramento) e SPDA interno (DPS - dispositivo de proteção contra surtos).

Para (DE SOUZA *et al.*, 2020) o SPDA interno tem como objetivo evitar que centelhamentos perigosos ocorram. Para isso é necessário que o SPDA esteja interligado com os sistemas internos, com as partes condutivas externas e com as linhas elétricas conectadas à estrutura ou instalações metálicas. Essa interligação pode ser direta usando condutores de interligação e indireta utilizando DPS.

A necessidade de proteção do SPDA e a escolha das medidas adequadas de proteção devem ser determinados pelo gerenciamento de risco conforme a ABNT NBR 5419-2:2015. As medidas de proteções consideradas na ABNT NBR 5419:2015 são comprovadamente eficazes na redução dos riscos associados às descargas atmosféricas (ABNT NBR 5419-1, 2015).

Subsistema de captação

De acordo com (FILHO, 2017), o subsistema de captação é composto por elementos condutores normalmente expostos, localizados na parte mais elevada da edificação e responsáveis pelo contato direto com as descargas atmosféricas. Os captosres podem ser classificados segundo sua natureza construtiva:

- Captosres naturais: são constituídos de elementos condutores expostos, geralmente partes integrantes da edificação a serem protegidas e em material metálico com espessura $\geq 0,5\text{mm}$;
- Captosres não naturais: são constituídos de elementos condutores expostos, normalmente instalados sobre a cobertura e a lateral das edificações, cuja finalidade é estabelecer o contato direto com as descargas atmosféricas. São comumente utilizados materiais conforme Tabela 1.

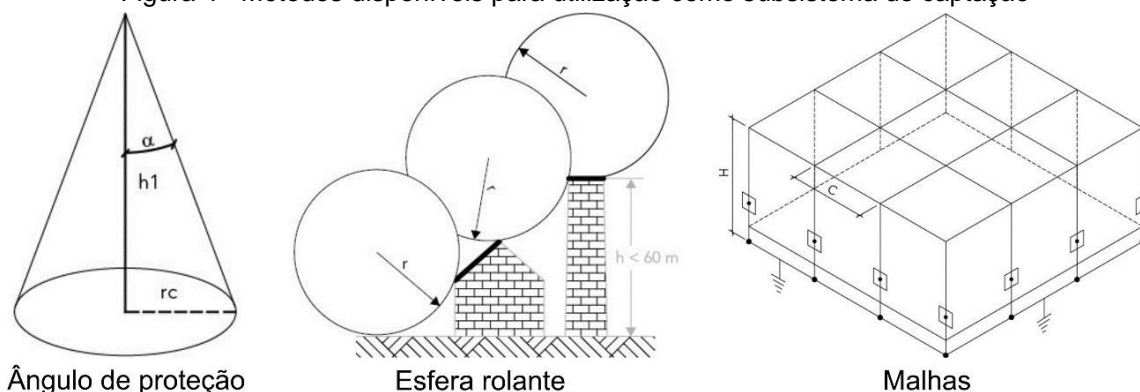
Tabela 1 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação

Material	Configuração	Área da seção	Comentários
Cobre	Encordoadado	35 mm ²	Diâmetro cada fio 2,5 mm
Alumínio	Fita maciça	70 mm ²	Espessura 3 mm

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Conforme (ABNT NBR 5419-3, 2015), os métodos aceitáveis a serem utilizados como subsistema de captação incluem o método do ângulo de proteção, método da esfera rolante e método das malhas Figura 4.

Figura 4 - Métodos disponíveis para utilização como subsistema de captação



Fonte: Adaptado de (DE SOUZA *et al.*, 2020).

Conforme (NISKIER; MACINTYRE, 2021), o método do ângulo de proteção é composto por uma ou mais pontas, em geral de aço ou materiais metálicos que possam suportar impactos e temperaturas elevadas e são fixadas por meio de haste ou mastro.

Muito utilizado em estruturas com menor área horizontal e altura limitada, o método do ângulo de proteção deve ser instalado conforme a classe do SPDA a ser empregada (DE SOUZA *et al.*, 2020).

Como aponta (DE SOUZA *et al.*, 2020), o método da esfera rolante é bastante utilizado em estruturas com elevada altura ou em formas arquitetônicas complexas. Composto por mastros para-raios e anéis captadores horizontais com uma forma que é definida pelo enrolamento de uma esfera, esse método tem o intuito de empregar uma esfera fictícia que rola pela estrutura em todas as possíveis direções, estabelecendo a proteção em ambas as partes da estrutura.

O método da esfera rolante é considerado adequado quando a estrutura a ser protegida não for tocada em nenhum ponto pela esfera fictícia, rolando ao redor e no topo da estrutura (DE SOUZA *et al.*, 2020).

Segundo (DE SOUZA *et al.*, 2020), é utilizado em edificações com grande área horizontal. O método das malhas conhecido como Gaiola de Faraday faz parte do subsistema de captação do SPDA e consiste em uma malha captora composta de condutores espaçados entre si na distância correspondente ao nível de proteção.

É comum a malha ser formada por cabos de cobre nu encordado ou fita maciça de alumínio. Podem ser utilizados elementos metálicos que façam parte da estrutura como captadores naturais desde que sejam atendidas as condições estabelecidas pela norma ABNT NBR 5419-3:2015 (NISKIER, 2018).

Componentes do subsistema de captação instalados na estrutura devem ser posicionados nos cantos salientes, pontas expostas e nas beiradas da estrutura. Os métodos da esfera rolante e das malhas são adequados em todos os casos e os valores para o raio da esfera rolante e tamanho da malha para cada classe de SPDA são dadas na Tabela 2 (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Tabela 2 - Valores máximos dos métodos correspondentes a classe do SPDA

Classe do SPDA	Raio da esfera rolante (m)	Máximo afastamento dos condutores da malha (m)
I	20	5 x 5
II	30	10 x 10
III	45	15 x 15
IV	60	20 x 20

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Subsistema de descida

De acordo com (FILHO, 2017), o subsistema de descida é composto por elementos condutores expostos ou não que permitem a continuidade elétrica entre os captadores e o subsistema de aterramento. Os subsistemas de descida podem ser classificados segundo sua natureza construtiva:

- Subsistemas de descida naturais: são elementos condutores, normalmente partes integrantes da edificação que, por sua natureza condutiva, permitem escoar para o subsistema de aterramento as correntes elétricas resultantes das descargas atmosféricas e são de materiais metálicos com espessura $\geq 4,0\text{mm}$;
- Subsistemas de descida não naturais: são constituídos de elementos condutores expostos ou não, dedicados exclusivamente à condução das correntes elétricas dos raios que atingem os captadores ao subsistema de aterramento da edificação. São comumente utilizados materiais conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de descida

Material	Configuração	Área da seção	Comentários
Cobre	Encordado	35 mm ²	Diâmetro cada fio 2,5 mm
Alumínio	Fita maciça	70 mm ²	Espessura 3 mm
Aço	Arredondado maciço	50 mm ²	Diâmetro 8 mm

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Para (DE SOUZA *et al.*, 2020), o subsistema de descida do SPDA é responsável por interligar o sistema de captação com o sistema de aterramento, que tem a função de escoar a corrente elétrica gerada pelas descargas atmosféricas para a terra.

Afirma (NISKIER, 2018) que os condutores de descida devem ser instalados de maneira que o trajeto entre o sistema de captação e o sistema de aterramento seja o menor caminho possível, a fim de garantir a equipotencialização das partes condutoras.

Podem ser utilizados como subsistema de descida os elementos metálicos que fazem parte da estrutura como componentes naturais desde que sejam atendidas as condições estabelecidas pela norma ABNT NBR 5419-3:2015 (NISKIER; MACINTYRE, 2021).

Subsistema de aterramento

De acordo com (FILHO, 2017), o subsistema de aterramento é composto por elementos condutores enterrados ou embutidos nas fundações das edificações e responsáveis pela dispersão das correntes elétricas no solo. Os subsistemas de aterramento podem ser classificados segundo sua natureza construtiva:

- Subsistemas de aterramento naturais: são constituídos de elementos metálicos embutidos nas fundações das edificações e parte integrante destas;
- Subsistemas de aterramento não naturais: são constituídos de elementos condutores enterrados horizontal ou verticalmente que dispersam as correntes elétricas no solo. É comumente utilizado como material o cabo de cobre nu encordoado 50 mm² 7 fios Ø3,0 mm e a haste de aterramento cobreada alta camada Ø5/8' x 3,00m.

Conforme (DE SOUZA *et al.*, 2020), o subsistema de aterramento é responsável pela dispersão da corrente de descarga atmosférica para o solo e visa alcançar a menor resistência de aterramento possível em arranjos de eletrodos.

De acordo com (MORENO; COSTA, 2018), o primeiro objetivo do aterramento é a proteção das pessoas e do patrimônio contra uma falta (curto-circuito) na instalação. O segundo objetivo, é oferecer um caminho seguro, controlado e de baixa impedância em direção à terra para as correntes de descargas atmosféricas.

Segundo (NISKIER; MACINTYRE, 2021) as decidas do SPDA devem ser conectadas em um anel de aterramento, que circula toda a edificação em questão, enterrados a uma profundidade mínima de 0,50m. Para construção do anel em geral, podem ser utilizados cabos e hastes de cobre ou aço cobreado, respeitando a seção do condutor de acordo com NBR 5419:2015.

Afirma (DE SOUZA *et al.*, 2020, p. 168) que “Toda instalação elétrica necessita de um aterramento que garanta seu perfeito funcionamento e, principalmente, a segurança de pessoas”.

DPS

Conforme (ABNT NBR 5419-2, 2015), o dispositivo de proteção contra surto (DPS), é responsável pela proteção interna da edificação, é destinado a limitar as sobretensões e desviar correntes de surto para terra.

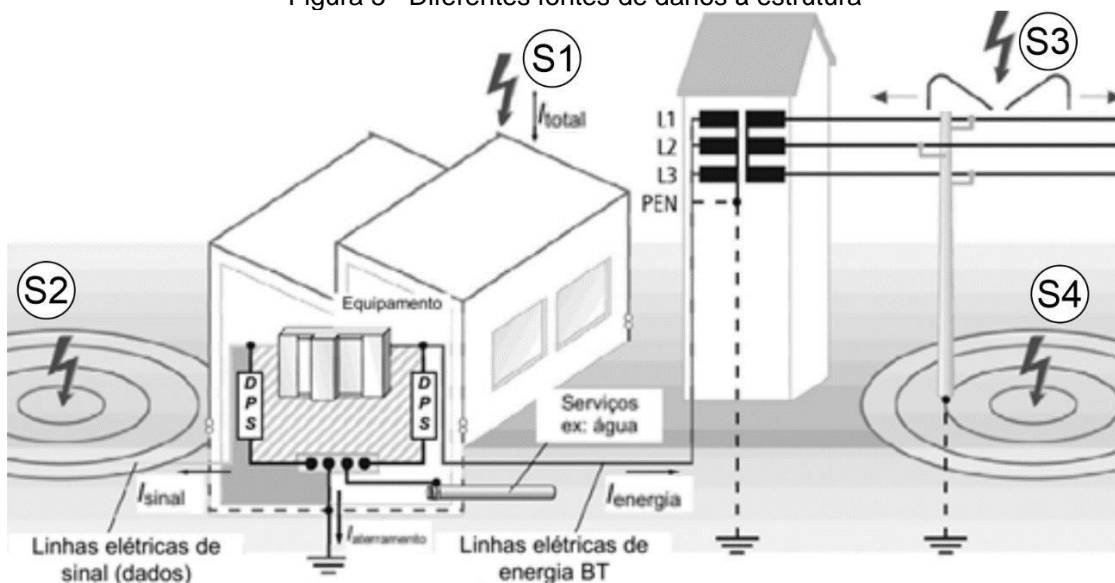
De forma geral, para linhas de energia a norma recomenda a instalação de DPS nos casos de edificações que são alimentadas por redes aéreas e estejam em regiões com nível cerâmico acima de 25 dias de trovoada por ano(...) isto implica em que praticamente toda edificação necessite de DPS instalados nas redes de energia e telecomunicações para atender a NBR 5410 (PAULINO et al., 2016, p. 193).

De acordo com (PAULINO et al., 2016), o DPS deve ser instalado sempre que houver a possibilidade de um surto atingir uma instalação ou um equipamento com intensidade de corrente superior ao valor suportável por ele. É dividido entre classes I, classe II e classe III.

Os DPS devem ser eletricamente conectados a jusante do disjuntor de proteção geral da entrada de energia elétrica, preferencialmente na entrada do Quadro de Distribuição Geral interno à edificação (CREDER, 2016).

Para a (ABNT NBR 5419-4, 2015), o método de acoplamento da descarga atmosférica às instalações (Figura 5), pode ser realizado por meio de descargas diretas no SPDA externo (S1), da indução nas redes do prédio por descargas próximas (S2) ou nos serviços que atendem à estrutura (S3 e S4).

Figura 5 - Diferentes fontes de danos à estrutura



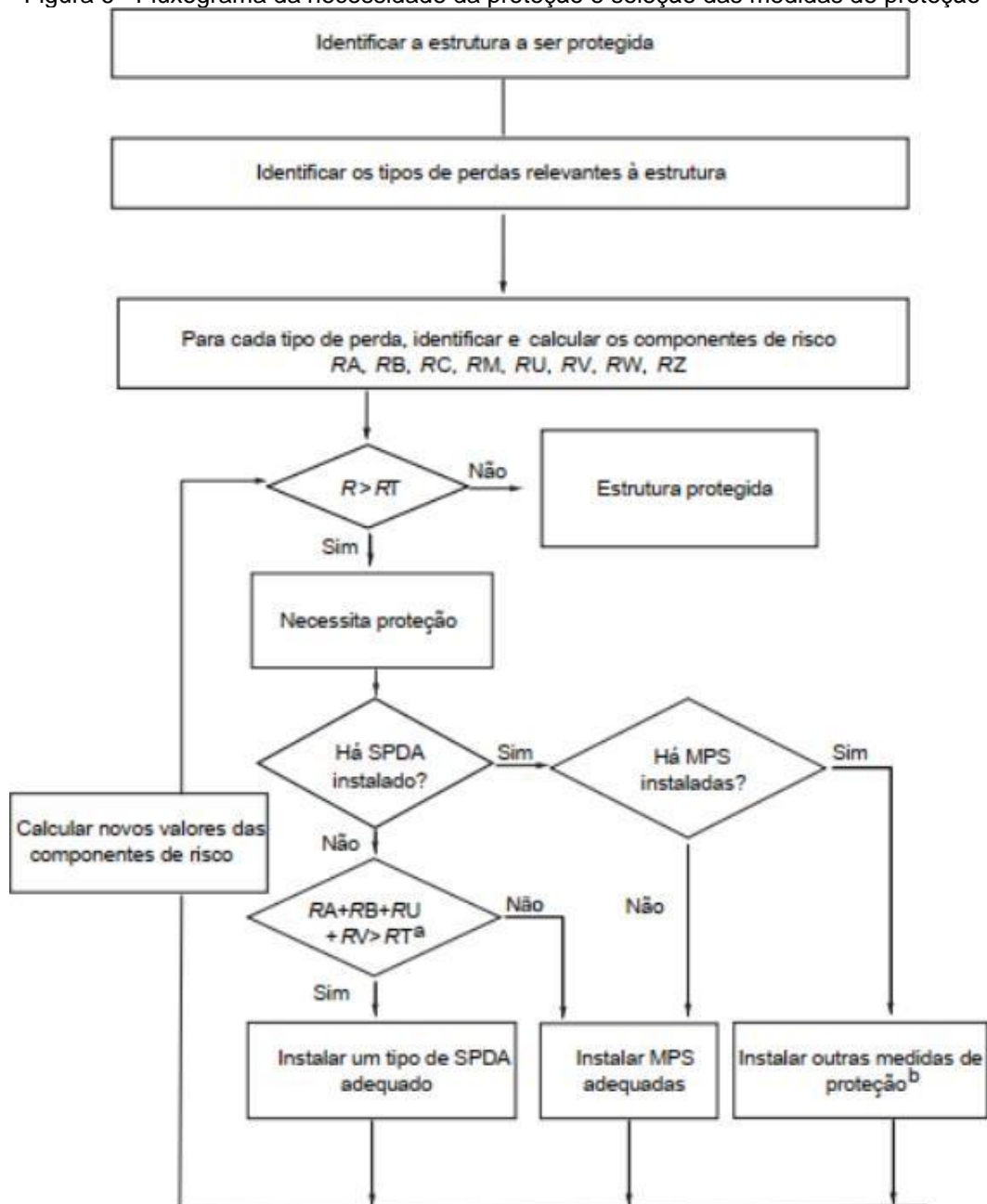
Fonte: Adaptado de (ABNT NBR 5419-4, 2015, p. 84).

METODOLOGIA

Conforme a (ABNT NBR 5419-2, 2015), o procedimento para avaliar a necessidade de proteção está descrito no fluxograma apresentado na Figura 6.

No estudo de caso sugerido será elaborado um memorial de cálculo considerando as características da estrutura a ser analisada e a seleção das medidas de proteção adequadas para que a condição Risco de perda de vida humana em uma estrutura (R_1) seja menor ou igual ao Risco tolerável (R_T).

Figura 6 - Fluxograma da necessidade da proteção e seleção das medidas de proteção



Fonte: Adaptado de (ABNT NBR 5419-2, 2015).

ESTUDO DE CASO

Geral

Esse estudo de caso tem como objetivo avaliar a necessidade de instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) para um edifício residencial multifamiliar localizado na cidade de Vitória/ES.

Essa avaliação visa elaborar um memorial de cálculo seguindo os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 5419-2:2015 com o propósito de verificar o risco calculado para a determinada estrutura e compará-lo ao risco tolerável, permitindo, assim, a escolha das medidas de proteção apropriadas a serem adotadas para reduzir o risco abaixo do limite tolerável.

Conforme (ABNT NBR 5419-2, 2015), o procedimento básico para a elaboração do gerenciamento de risco consiste em realizar a identificação da estrutura a ser protegida, suas características, assim como os tipos de perdas na estrutura, os correspondentes riscos relevantes e, por fim, avaliar a necessidade de proteção comparando o risco calculado com o risco tolerável.

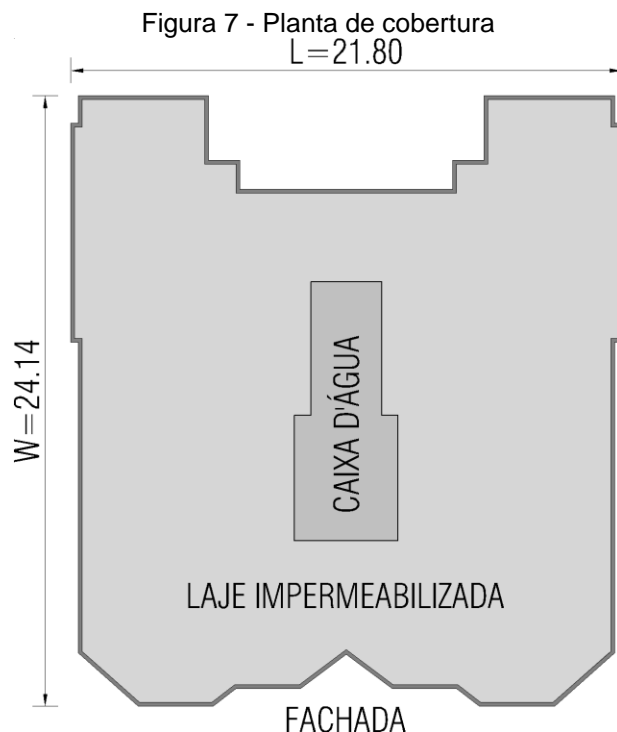
Será avaliado para o edifício residencial multifamiliar o risco de perda de vida humana (R_1). Este, é composto pela soma de R_A , R_B , R_U e R_V , onde:

- R_A : componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e ao redor dos condutores de descidas;
- R_B : componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem colocar em perigo o meio ambiente;
- R_U : componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura;
- R_V : componente relativo a danos físicos devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas.

Segundo (ABNT NBR 5419-2, 2015), a avaliação da necessidade de proteção para a estrutura sugerida no estudo de caso visa comparar o valor calculado de R_1 com o risco tolerável (R_T) igual a 10^{-5} .

Edifício residencial multifamiliar

O edifício (Figura 7 e Figura 8) possui cinquenta e dois apartamentos, é construído em concreto armado, com vedação em blocos de concreto.



Fonte: Elaboração própria.



Fonte: Elaboração própria.

CARACTERÍSTICAS E DADOS RELEVANTES

O edifício está localizado em um terreno plano e sem estruturas vizinhas. A densidade de descargas atmosféricas é $NG = 2,5$ descargas atmosféricas por quilometro quadrado por ano (Figura 3). Duzentas pessoas vivem no edifício e não haverá pessoas fora do edifício durante uma tempestade, conforme dados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Características da estrutura e meio ambiente

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência NBR 5419-2:2015
Densidade de descargas atmosféricas (1/km ² /ano)	-	N_G	2,5	Figura F.1
Dimensões da estrutura (m)	-	L W H	21,80 24,14 52,55	-
Fator localização estrutura	Estrutura isolada	C_D	1	Tabela A.1
SPDA	Nenhum	P_B	1	Tabela B.2
Ligação equipotencial	Nenhuma	P_{EB}	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K_{S1}	1	Equação (B.5)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (ABNT NBR 5419-2, 2015).

LINHA DE ENERGIA

Dados para as linhas de energia que adentram e seus sistemas internos conectados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Linha de energia

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência NBR 5419-2:2015
Comprimento (m)	-	L _L	1000	-
Fator de instalação	Aérea	C _I	1	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia	C _T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Urbano	C _E	0,1	Tabela A.4
Blindagem da linha	Não blindada	R _S	1	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C _{LD}	1	Tabela B.4
		C _{LI}	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L _J , W _J , H _J	-	-
Fator de localização da estrutura	Nenhuma	C _{DJ}	-	Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno (kV)	-	U _W	2,5	-
Parâmetros resultantes		K _{S4}	0,4	Equação (B.7)
		P _{LD}	1	Tabela B.8
		P _{LI}	0,3	Tabela B.9

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (ABNT NBR 5419-2, 2015).

LINHA DE SINAL

Dados para as linhas de sinais que adentram e seus sistemas internos conectados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Linha de sinal

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência NBR 5419-2:2015
Comprimento (m)	-	L _L	1000	-
Fator de instalação	Aérea	C _I	1	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha de sinal	C _T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Urbano	C _E	0,1	Tabela A.4
Blindagem da linha	Não blindada	R _S	1	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C _{LD}	1	Tabela B.4
		C _{LI}	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L _J , W _J , H _J	-	-
Fator de localização da estrutura	Nenhuma	C _{DJ}	-	Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno (kV)	-	U _W	1,5	-
Parâmetros resultantes		K _{S4}	0,67	Equação (B.7)
		P _{LD}	1	Tabela B.8
		P _{LI}	0,5	Tabela B.9

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (ABNT NBR 5419-2, 2015).

DEFINIÇÃO DAS ZONAS

As seguintes zonas principais podem ser definidas:

- Z_1 (fora do edifício);
- Z_2 (dentro do edifício).

Para zona Z_1 , é assumida que nenhuma pessoa está fora do edifício. Entretanto, o risco de choque em pessoas $R_A = 0$. Porque R_A é a componente de risco somente fora do edifício, portanto, a zona Z_1 pode ser desconsiderada.

Para zona Z_2 , é levado em consideração que os sistemas internos (energia e sinal) se estendem através do edifício e nenhuma blindagem espacial existe. O fator resultante válido para zona Z_2 é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Fator válido para a zona Z_2 (dentro do edifício)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência NBR 5419-2:2015
Tipo de piso	Cerâmica	r_t	10^{-3}	Tabela C.3
Proteção contra descarga atmosférica na estrutura	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra descarga atmosférica na linha	Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio	Normal	r_f	10^{-2}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia - Fiação interna	Não blindada (sem grandes evitar laços)	K_{S3}	1	Tabela B.5
Energia - DPS coordenado	Nenhuma	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom - Fiação interna	Não blindada (sem evitar grandes laços)	K_{S3}	1	Tabela B.5
Telecom - DPS coordenado	Nenhuma	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: Perda de vida humana	Perigo especial: entre 100 a 1000 pessoas	h_z	5	Tabela C.6
	D1: devido à tensão de toque e passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	L_F	10^{-2}	Tabela C.2
	D3: devido a falhas de sistemas internos	L_O	-	Tabela C.2
Fator para pessoas na zona	$n_z/n_t \times t_z/8760$	-	1	-
Parâmetros resultantes		L_A	10^{-5}	Equação (C.1)
		L_U	10^{-5}	Equação (C.2)
		L_B	5×10^{-4}	Equação (C.3)
		L_V	5×10^{-4}	Equação (C.3)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (ABNT NBR 5419-2, 2015).

CÁLCULO DAS QUANTIDADES RELEVANTES

Os cálculos são dados na Tabela 8 para a área de exposição equivalente e na Tabela 9 para o número esperado de eventos perigosos.

Tabela 8 - Áreas de exposição equivalente da estrutura e linhas

	Símbolo	Resultado	Referência NBR 5419-2:2015	Equação
Estrutura	A _D	9,31 x 10 ⁴	(A.2)	$AD=L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L+W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A _M	0	(A.7)	Não relevante
Linha de energia	A _{L/P}	4 x 10 ⁴	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	A _{I/P}	4 x 10 ⁶	(A.11)	$A_{L/P} = 4000 \times L_L$
	A _{DJ/P}	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha Telecom	A _{L/T}	4 x 10 ⁴	(A.9)	$A_{L/T} = 40 \times L_L$
	A _{I/T}	4 x 10 ⁶	(A.11)	$A_{L/T} = 4000 \times L_L$
	A _{DJ/T}	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (ABNT NBR 5419-2, 2015).

Tabela 9 - Número esperado anual de eventos perigosos

	Símbolo	Resultado	Referência NBR 5419-2:2015	Equação
Estrutura	N _D	2,33 x 10 ⁻¹	(A.4)	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$
	N _M	0	(A.6)	Não relevante
Linha de energia	N _{L/P}	1 x 10 ⁻²	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	N _{I/P}	1	(A.10)	$N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	N _{DJ/P}	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha Telecom	N _{L/T}	1 x 10 ⁻²	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	N _{I/T}	1	(A.10)	$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	N _{DJ/T}	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (ABNT NBR 5419-2, 2015).

RISCO R₁ - DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE PROTEÇÃO

Cada componente de risco pode ser expressa pela Equação (1) e o risco R₁ é expresso de acordo com a Equação (2). Os cálculos da avaliação do risco total R₁ são dados na Tabela 10.

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad \text{Equação (1)}$$

$$R_1 = R_A + R_B + R_{U/P} + R_{V/P} + R_{U/T} + R_{V/T} \quad \text{Equação (2)}$$

Tabela 10 - risco R₁ para estrutura não protegida

	Símbolo	Z₂	Estrutura
D1 Ferimento	R _A	2,33 x 10 ⁻⁶	2,33 x 10⁻⁶
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$	2,00 x 10 ⁻⁷	2,00 x 10⁻⁷
D2 Danos físicos	R _B	1,16 x 10 ⁻⁴	1,16 x 10⁻⁴
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$	1,00 x 10 ⁻⁵	1,00 x 10⁻⁵
Risco Total R₁			1,29 x 10⁻⁴
Resultado	R₁ > R_T: proteção contra descargas atmosféricas é requerida		R_T = 1,00 x 10⁻⁵

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (ABNT NBR 5419-2, 2015).

A proteção contra descargas atmosféricas para a estrutura se faz necessária porque R₁=1,29x10⁻⁴ é superior ao risco tolerável R_T=1,00x10⁻⁵.

RISCO R_1 - SELEÇÃO DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO

De acordo com a Tabela 10, as contribuições principais ao valor de risco são dadas pelos componentes R_V (descargas atmosféricas na linha) e R_B (descargas atmosféricas na estrutura).

Para reduzir o risco R_1 a um valor tolerável, as medidas de proteção que influenciam os componentes R_V e R_B devem ser consideradas. Combinando elementos diferentes destas medidas de proteção, as seguintes soluções podem ser adotadas:

- Proteger o edifício com um SPDA classe III, de acordo com a ABNT NBR 5419-3, para reduzir a componente R_B ($P_B = 0,1$);
- Instalar DPS classe II ($P_{EB} = 0,02$) na entrada da linha para proteger as linhas de energia e as linhas de sinal e assim reduzir os componentes R_U e R_V ;
- Utilizar sistemas de detecção/extinção de incêndio (extintores, alarme de incêndio, hidrantes, compartimentos à prova de fogo ou rotas de escape) para reduzir componentes R_B e R_V ($r_p = 0,5$).

Utilizando estes valores nas equações, novos valores de componentes de risco são obtidos, como mostrados na Tabela 11.

Tabela 11 - risco R_1 para estrutura não protegida

	Símbolo	Z_2	Estrutura
D1 Ferimento	R_A	$2,33 \times 10^{-7}$	$2,33 \times 10^{-7}$
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$	$4,00 \times 10^{-9}$	$4,00 \times 10^{-9}$
D2 Danos físicos	R_B	$5,82 \times 10^{-6}$	$5,82 \times 10^{-6}$
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$	$1,00 \times 10^{-7}$	$1,00 \times 10^{-7}$
Risco Total R_1			$6,15 \times 10^{-6}$
Resultado	$R_1 < R_T$		$R_T = 1,00 \times 10^{-5}$

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (ABNT NBR 5419-2, 2015).

Após aplicadas as medidas de proteção, o valor de $R_1=6,15 \times 10^{-6}$ é inferior ao valor do risco tolerável $R_T=1,00 \times 10^{-5}$. Sendo assim, as soluções adotadas reduzem o risco total R_1 para valores abaixo do tolerável.

Conforme (ABNT NBR 5419-2, 2015), a solução a ser adotada deverá atender ambos os critérios de melhor solução técnica e de solução que possua o melhor custo financeiro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo apresentou as principais características relacionadas às descargas atmosféricas no Brasil, suas causas e efeitos nas estruturas e pessoas, assim como as exigências normativas vigentes no país e as características técnicas de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas. Após a descrição do funcionamento do SPDA e seus componentes foi possível, portanto, desenvolver uma análise da necessidade de implantação do sistema em uma edificação residencial multifamiliar localizada no município de Vitória/ES.

A análise da necessidade de proteção da estrutura, no primeiro momento, levou em consideração as características construtivas e os dados extraídos diretamente da ABNT NBR 5419-2:2015, resultando no cálculo do risco total $R_1=1,29 \times 10^{-4}$ com valor superior ao risco tolerável $R_T=10^{-5}$ estabelecido por norma e, dessa forma, se fez necessário realizar a instalação de proteção contra descargas atmosféricas.

No segundo momento da análise, foram aplicadas as soluções de instalar um SPDA classe III, instalar DPS classe II para as linhas de energia e de sinal e instalar sistemas de detecção/extinção de incêndio. Com isso, o resultado do risco total $R_1=6,15 \times 10^{-6}$ apresentou valor inferior ao risco tolerável $R_T=10^{-5}$ estabelecido por norma. Dessa forma, foi possível confirmar que as soluções adotadas são eficientes e tornam a estrutura protegida contra descargas atmosféricas segundo a ABNT NBR 5419-2:2015.

Vale ressaltar que, conforme (ABNT NBR 5419-3, 2015), a eficácia de qualquer SPDA depende da sua instalação e manutenção. As inspeções do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas devem ser realizadas por profissional legalmente habilitado e capacitado e periodicamente no intervalo de um ano para regiões litorâneas. O objetivo das inspeções é assegurar que o SPDA esteja de acordo com o projeto, todos os componentes do sistema estejam em boas condições e sejam capazes de cumprir suas funções.

As proteções contra descargas atmosféricas foram adotadas com o objetivo de minimizar os danos provocados pelos raios que, conseqüentemente, atingem as pessoas, a estrutura e aos equipamentos internos da edificação.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 5410. **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004. 209 p.

ABNT NBR 5419-1. **Proteção contra descargas atmosféricas: Parte 1** Princípios gerais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015. 67 p.

ABNT NBR 5419-2. **Proteção contra descargas atmosféricas: Parte 2** Gerenciamento de risco. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015. 104 p.

ABNT NBR 5419-3. **Proteção contra descargas atmosféricas: Parte 3** Danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015. 51 p.

ABNT NBR 5419-4. **Proteção contra descargas atmosféricas: Parte 4** Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015. 87 p.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 494 p.

DE SOUZA, André Nunes *et al.* **SPDA Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas: Teoria, Prática e Legislação**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2020. 216 p.

ELAT. Grupo de Eletricidade Atmosférica. **Mortes por raios no Brasil**, 2019. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/mortes.por.raios.-.infografico.php>. Acesso em: 15 set. 2022.

ELAT. Grupo de Eletricidade Atmosférica. **Voce sabia?**, 2022. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/perguntas.e.respostas.php>. Acesso em: 20 set. 2022.

FILHO, João Mamede. **Instalações elétricas industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 976 p.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Cartilha de proteção contra raios**, 2020. Disponível em:

http://www.inpe.br/webelat/docs/Cartilha_Protecao_Contra_Raios_Brasil_2020.pdf. Acesso em: 16 set. 2022.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **ELAT na mídia**, 2022. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/elatMidia/php/pageMenuElatMidiaNew.php>. Acesso em: 6 Setembro 2022.

JÚNIOR, Roberto de Carvalho. **Instalações elétricas e o projeto de arquitetura**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 2018. 288 p.

MORENO, Hilton ; COSTA, Paulo Fernandes. **Aterramento elétrico**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Cobre, 2018. 28 p.

NISKIER, Julio ; MACINTYRE, Archibald Joseph. **Instalações elétricas**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021. 352 p.

NISKIER, Julio. **Manual de instalações elétricas**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. 368 p.

NR10. **Segurança em instalações e serviços em eletricidade**, 30 Julho 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-10.pdf>. Acesso em: 29 Setembro 2022.

PAULINO, José Osvaldo Saldanha *et al.* **Proteção de equipamentos elétricos e eletrônicos contra surtos elétricos em instalações**. 1. ed. Lagoa Santa: Clamper, 2016.

SUETA, Hélio Eiji. A nova edição da NBR 5419: o que muda nos projetos de projeção contra raios. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo, n. 495, p. 60-66, Junho 2015. Disponível em: http://www.arandanet.com.br/midiaonline/eletricidade_moderna/2015/junho/index.php. Acesso em: 21 Setembro 2022.

WETTINGFELD, Jürgen. Disposição dos captadores em sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo, n. 496, p. 30-38, Julho 2015. Disponível em: http://www.arandanet.com.br/midiaonline/eletricidade_moderna/2015/julho/index.php. Acesso em: 22 Setembro 2022.