



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
MAURO LUIZ HENRIQUE

SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS:
GERENCIAMENTO DE RISCO CONFORME A NBR 5419-2:2015

Tubarão
2018

MAURO LUIZ HENRIQUE

**SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS:
GERENCIAMENTO DE RISCO CONFORME A NBR 5419-2:2015**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Especialista de Segurança do Trabalho.

Orientador: Prof. Ms. José Humberto Dias de Tolêdo.

Tubarão
2018

MAURO LUIZ HENRIQUE

**SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS:
GERENCIAMENTO DE RISCO CONFORME A NBR 5419-2:2015**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Especialista de Segurança do Trabalho.

Tubarão, 20 de julho de 2018.

Professor e orientador José Humberto Dias de Tolêdo, Msc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Agradeço a minha esposa Clarissa, meus filhos Jorge e Guilherme por me inspirarem na busca contínua do desenvolvimento pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me fortaleceu, encorajou e iluminou em cada passo desta caminhada.

A minha família, que, embora não saibam do que trata a NBR 5419/2015 me apoia, valoriza e me ama de forma incondicional.

A todos os professores do curso de Especialização em Engenharia de Saúde e Segurança do Trabalho que contribuíram com a minha formação,

Agradecimento ao coordenador do curso, Prof. Msc. José Humberto Dias de Toledo por contribuir para que a Saúde e Segurança do Trabalho seja cada vez mais valorizada e respeitada, além do apoio na orientação desta Monografia.

A Universidade do Sul de Santa Catarina pela formação profissional.

A empresa Votorantim Cimentos S.A., que me oportunizou desenvolver conhecimentos na área da Saúde e Segurança do Trabalho.

Agradeço aos colegas de classe que fizeram essa jornada ser mais leve e harmoniosa.

"Quanto mais aumenta o nosso conhecimento, mais evidente fica nossa ignorância ". (John F. Kennedy)

RESUMO

A NBR 5419 recebe uma grande revisão em 2015, o documento que antes contava com 42 páginas passou a ser dividido em 4 cadernos com 350 páginas. O Gerenciamento de Riscos talvez tenha sido a alteração mais significativa da mesma, Com a criação da parte 2 da nova revisão da norma que trata do referido Gerenciamento de risco, foram criadas as “zonas de proteção”, e novos aspectos de avaliação, como as componentes de riscos (R1, R2, R3 e R4) passaram a ser considerados, bem como suas possíveis perdas (Perdas de vidas humanas (L1), Perda de instalação de serviço ao público (L2), Perda de memória cultural (L3) e Perda de valor econômico (L4)).

Palavras-chave: Gerenciamento de Riscos. SPDA. Descargas Atmosféricas.

ABSTRACT

The NBR 5419 receives a major revision in 2015, the document that previously counted with 42 pages was divided into 4 books with 350 pages, The Risk Management was perhaps the most significant change of it, With the creation of part 2 of the new revision of the standard dealing with such Risk Management, "protection zones" were created, and new aspects of evaluation, such as risk components (R1, R2, R3 and R4) are now considered, as well as their possible losses (Loss of human life (L1), Loss of public service facility (L2), cultural memory loss (L3) and economic value loss (L4))

Keywords: Risk management. SPDA. Atmospheric discharges.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Formação de raio na atmosfera	16
Figura 2 – Empreendimento.....	21
Figura 3 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas	23
Figura 4 – Área de exposição de uma estrutura retangular isolada.	33
Figura 5 – Exemplo de estrutura com forma complexa	34
Figura 6 – Área de exposição para uma estrutura complexa	34
Figura 7 – Consideração parcial de estruturas para a área de exposição Ad	35
Figura 8 – Fluxograma de avaliação de eficiência.	50
Figura 9 – Densidade de descarga atmosféricas Ng – Região Sul.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descargas atmosféricas/tipos de estruturas.....	18
Tabela 2– Descrição das quatro partes da norma ABNT NBR 5419:2015.....	19
Tabela 3 – Valores típicos de risco tolerável Rt	20
Tabela 4 – Valores típicos de risco tolerável Rt	27
Tabela 5 – Fator de localização da estrutura Cd.....	32
Tabela 6 – Fator de Instalação Ci	37
Tabela 7 – Tipo de linha Ct	37
Tabela 8 – Fator ambiental Ce	37
Tabela 9 – Probabilidade de descarga atmosféricas causar danos	38
Tabela 10 – Medida de proteção adicional.....	39
Tabela 11 – medida de proteção adicional.....	40
Tabela 12 – medida de proteção adicional.....	40
Tabela 13 – Medida de proteção.....	41
Tabela 14 – Ligações equipotenciais x proteção DPS	41
Tabela 15 – Probabilidade de falhas de sistema interno.....	42
Tabela 16 – Tipos de linha.	43
Tabela 17 – valor da perda por zona.....	44
Tabela 18 – Tipos de danos.....	44
Tabela 19 – Fator de redução de perda x solo.....	45
Tabela 20 – Fator de redução de perda x providências tomadas.....	45
Tabela 21 – Fator de redução de perda x Risco de Incêndio.....	46
Tabela 22 – Fator de redução de perda x perigo especial.	46
Tabela 23 – valor de perda por estrutura.	47
Tabela 24 – Número relativo médio típico de usuários não servidos.	48
Tabela 25 – Tipos de danos físicos.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	TEMA E DELIMITAÇÃO.....	13
1.2	PROBLEMA PESQUISA.....	13
1.3	JUSTIFICATIVA.....	13
1.4	OBJETIVO.....	14
1.4.1	Objetivo geral.....	14
1.4.2	Objetivos específicos.....	14
1.5	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	14
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2	DOS ESTUDOS COM ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA AO GERENCIAMENTO DE RISCOS DO SPDA.	16
3	DEFINIÇÕES PRELIMINARES.	21
3.1	AVALIAÇÃO FÍSICA DAS ESTRUTURAS DO EMPREENDIMENTO.....	21
3.2	DANOS E PERDAS.....	22
3.3	DADOS PARA CÁLCULO DE RISCO.....	24
4	GERENCIAMENTO DE RISCO.....	27
4.1	VERIFICAÇÃO DE NECESSIDADE DE PROTEÇÃO.....	27
4.2	ANÁLISE DOS COMPONENTES DE RISCO.....	28
4.3	CÁLCULO DE PARÂMETROS.....	32
4.4	ZONAS DE RISCO.....	52
5	RESULTADOS.....	54
6	CONCLUSÃO.....	64
	REFERÊNCIAS.....	65
	ANEXOS.....	66
	ANEXO A – MAPA DE DENSIDADE DE RAIOS REGIÃO SUL.....	67

1 INTRODUÇÃO

A formação de carga nas nuvens, e sua conseqüente descarga (raios) a terra, é um fenômeno normal e natural que aflige a humanidade, causando prejuízos e mortes. (KINDERMANN, 2009)

De acordo com dados do ELAT (INPE, 2016), o Brasil é o país com maior incidência de raios no mundo com ocorrência anual de cerca de 57 milhões de eventos. Tal fato é justificado devido a sua geografia: maior país com zona tropical do planeta e por isso mais favorável à formação de tempestades. (BORTOLATO, 2017)

Apesar de todos os esforços, não se consegue evitar que um raio caia sobre determinado prédio. No entanto, todos os cuidados são no sentido de discipliná-lo na sua queda, obrigando-o a seguir um caminho pré-determinado para a terra, ou seja, o para-raios e seus componentes. (KINDERMANN, 2009)

Um sistema de proteção contra relâmpagos tem como objetivo blindar uma estrutura, seus ocupantes e seus conteúdos dos efeitos térmicos, mecânicos e elétricos associados com os relâmpagos. O sistema atua de modo que a descarga atmosférica possa entrar ou sair do solo sem passar através das partes condutoras da estrutura ou através de seus ocupantes, danificando-os ou causando acidentes. (INPE, 2018)

Como forma de mitigar os danos provocados pelos raios, no Brasil podem ser citadas as normas técnicas NBR 5410:2004, IN10 do CBMSC e NBR 5419:2015, que tratam sobre instalações elétricas de baixa tensão e proteção contra descargas atmosféricas, respectivamente. A última, objeto deste trabalho, estabelece diversos critérios para o desenvolvimento de um projeto de SPDA e faz a exigência de novos parâmetros que devem ser considerados e calculados no procedimento de avaliação do sistema de proteção. (BORTOLATO, 2017)

Diante desse contexto, este trabalho de conclusão de curso busca realizar o gerenciamento de risco do SPDA – sistema de proteção contra descargas atmosféricas de um escritório administrativo de uma empresa de grande porte, adequado aos preceitos do caderno 2 da norma NBR 5419 de 2015.

1.1 TEMA E DELIMITAÇÃO

Não serão considerados neste trabalho de conclusão de curso atividades que envolvam dimensionamento de SPDA – Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas.

O tema deste estudo será a elaboração do gerenciamento de risco para um escritório administrativo conforme as diretrizes da NBR 5419 - 2:2015.

Este trabalho trata-se de um estudo de caso.

1.2 PROBLEMA PESQUISA

Elaborar um estudo de Gerenciamento de Riscos conforme o caderno 2 da NBR 5419:2015, complementando a atualização de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas já existente.

1.3 JUSTIFICATIVA

Embora não se possa representar em números, o aspecto humano é o mais importante, pois não há valor monetário que pague o preço de uma vida, assim como não há indenização que corresponda ao valor de um acidente grave. Não dá para mensurar o significado, para os familiares, de um indivíduo que saiu para trabalhar e não voltou, vítima de um acidente do trabalho que poderia ter sido evitado.

Instalações certificadas em sistema de gestão NBR ISO45001:18 - Sistema de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional e NBRISO14001:15 - Sistema de Gestão Ambiental necessitam apresentar laudos de conformidade das instalações do SPDA às certificadoras, não obstante, instituições governamentais exigem os mesmos laudos para emissão de alvarás, como o AVCB – Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros, que por sua vez é pré-requisito para emissão de Alvarás de funcionamento de prefeituras. Isso demonstra a importância e abrangência do tema discutido nesse trabalho.

Por fim, este trabalho também se justifica pelo fato de quase mil pessoas serem atingidas por raios anualmente, em sua maioria indiretamente. Quem fica em um ambiente sem para-raios em meio a uma tempestade está sujeito a sofrer efeitos destas descargas atmosféricas, que não tem lugar certo para atingir.

1.4 OBJETIVO

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é a elaboração de um mapeamento de riscos de um prédio administrativo conforme NBR 5419-2:2015.

1.4.2 Objetivos específicos

Conhecer as estruturas físicas do empreendimento;

Entender os requisitos da IN10:18 e NBR 5419:15;

Definir zonas de riscos;

Dar diretrizes para adequação do SPDA, conforme NBR 5419-2:2015 e IN10 do CBMSC;

Ilustrar análise de risco em uma tabela conclusiva.

1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este trabalho foi elaborado com base na IN 10 – Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina e NBR 5419:2015-Proteção contra descargas atmosféricas;

Esta é uma pesquisa bibliográfica, qualitativa e estudo de caso, onde considerou-se a aplicação de conceitos de análise de riscos a partir da exploração do local de estudo.

Para que os objetivos descritos fossem alcançados, o desenvolvimento deste trabalho foi realizado através de avaliação em campo, conhecimento da planta baixa do empreendimento e comparação das instalações com os requisitos das normas supracitadas.

Foram realizadas pesquisas bibliográficas correlatas em livros e artigos sobre o que está sendo abordado.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 2 é apresentado o início dos estudos com eletricidade atmosférica, descrevendo as experiências que Benjamin Franklin e Romas, mostraram através de uma pandorga. O Texto segue para os conceitos de formação de raios e os efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas. Em seguida são apresentadas as descrições das quatro partes da norma ABNT NBR 5419:2015, finalizando o capítulo com um resumo sobre o gerenciamento de riscos de um SPDA conforme a versão 2015 da NBR 5419.

O capítulo 3 trata de definições preliminares, levando em consideração a avaliação física das estruturas do empreendimento, os conceitos de danos e perdas abordados na norma (S_x , D_x e L_x) e as definições básicas de dados para cálculo de risco (R_x), onde são abordados os componentes essenciais para composição do cálculo de risco.

O capítulo 4 aborda diretamente a aplicação das recomendações da norma para elaboração do gerenciamento de risco do caso estudado neste trabalho.

No capítulo 5 são apresentados os resultados do trabalho em forma de tabela, facilitando o entendimento do tema discutido, por fim, conclui-se o trabalho no Capítulo 6.

2 DOS ESTUDOS COM ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA AO GERENCIAMENTO DE RISCOS DO SPDA.

As experiências de **Benjamin Franklin** (1706-1790) e **Romas**, mostraram através de uma pandorga (pipa), a existência de cargas elétricas nas nuvens. A experiência foi feita durante uma tempestade, onde uma pipa foi içada conectada com um fio condutor. **Franklin** registrou em 1752, que sentiu pequenas descargas elétricas intermitentes pelo seu corpo. (KINDERMANN, 2009)

A partir desse mesmo experimento, Franklin propôs que se a descarga fosse transportada através de hastes metálicas até o solo poderiam impedir que os raios atingissem qualquer estrutura. Sugeriu que fosse colocado, acima das casas, uma ponta metálica com hastes em contato com a terra, propiciando a condução da corrente elétrica nesta composição, sem que o raio causasse danos às estruturas. Com isso, surgia o para-raio e este é o conceito de um dos métodos de proteção contra descargas atmosféricas a ser conhecido como método Franklin. (BORTOLATO, 2017)

A formação de cargas nas nuvens é ainda, um fenômeno não totalmente conhecido. Existem várias teorias a respeito. A Figura 1 ilustra o fenômeno aceito pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

Figura 1 – Formação de raio na atmosfera



Fonte: INPE 2018

Embora a formação de cargas nas nuvens seja um fenômeno não totalmente conhecido, a versão 2015 da norma NBR 5419 traz com detalhes, o fenômeno da descarga atmosférica e seus parâmetros de uma forma mais científica e mais abrangente, apresentando os diferentes tipos de descargas e seus parâmetros, indicando as influências de cada um deles nos diversos tipos de danos possíveis. (boletim ABNT | Maio/Jun 2015)

A descarga atmosférica que atinge uma estrutura pode causar danos à própria estrutura e a seus ocupantes e conteúdos, incluindo falhas dos sistemas internos. Os danos e falhas podem se estender também às estruturas vizinhas e podem ainda envolver o ambiente local. A extensão dos danos e falhas na vizinhança depende das características das estruturas e das características da descarga atmosférica. (ABNT NBR 5419-1:2015)

As principais características das estruturas relevantes para os efeitos das descargas atmosféricas incluem:

- a) Construção (por exemplo, madeira, alvenaria, concreto, concreto armado, estrutura em aço);
- b) Função (residência, escritório, comércio, rural, teatro, hotel, escola, hospital, museu, igreja, prisão, shopping center, banco, fábrica, área industrial, área de práticas esportivas);
- c) Ocupantes e conteúdos (pessoas e animais, presença ou não de materiais combustíveis ou explosivos, sistemas elétricos e eletrônicos de baixa tensão ou alta tensão);
- d) Linhas elétricas e tubulações metálicas que adentram a estrutura (linhas de energia, linhas de sinal, tubulações);
- e) Medidas de proteção existentes ou providas (por exemplo, medidas de proteção para reduzir danos físicos e risco à vida, medidas de proteção para reduzir falhas em sistemas internos);
- f) Dimensão do risco (estrutura com dificuldade de evacuação ou estrutura na qual pode haver pânico, estrutura perigosa às redondezas, estrutura perigosa ao ambiente).

A Tabela 1 apresenta os efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de

estruturas.

Tabela 1 – Descargas atmosféricas/tipos de estruturas

Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Casa de moradia	<p>Perfuração da isolação das instalações elétricas, incêndio e danos materiais.</p> <p>Danos normalmente limitados a objetos expostos ao ponto de impacto ou no caminho da corrente da descarga atmosférica.</p> <p>Falha de equipamentos e sistemas elétricos e eletrônicos instalados (exemplos: aparelhos de TV, computadores, modems, telefones etc.).</p>
Edificação em zona rural	<p>Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosas, assim como danos materiais.</p> <p>Risco secundário devido à perda de energia elétrica e risco de vida dos animais de criação devido a falha de sistemas de controle eletrônicos de ventilação e suprimento de alimentos etc.</p>
Teatro ou cinema Hotel Escola Shopping centers Áreas de esportes	<p>Danos em instalações elétricas que tendem a causar pânico (por exemplo, iluminação elétrica)</p> <p>Falhas em sistemas de alarme de incêndio, resultando em atrasos nas ações de combate a incêndio.</p>
Banco Empresa de seguros Estabelecimento comercial etc.	Conforme acima, adicionando-se problemas resultantes da perda de comunicação, falha de computadores e perda de dados.
Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Hospital Casa de tratamento médico Casa para idosos Creche Prisão	Conforme acima, adicionando-se os problemas relacionados a pessoas em tratamento médico intensivo e a dificuldade de resgatar pessoas incapazes de se mover.
Indústria	Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fábricas, que vão desde os menos graves até danos inaceitáveis e perda de produção.
Museu e sítio arqueológico Igreja	Perda de patrimônio cultural insubstituível.
Estação de telecomunicações Estação de geração e transmissão de energia elétrica	Interrupções inaceitáveis de serviços ao público.
Fábrica de fogos de artifícios Trabalhos com munição	Incêndio e explosão com consequências à planta e arredores.
Indústria química Refinaria Usina nuclear Indústria e laboratório de bioquímica	Incêndio e mau funcionamento da planta com consequências prejudiciais ao meio ambiente local e global.

Fonte: ABNT NBR 5419:2015

Devido à sua grande abrangência, a versão de 2015 da norma foi dividida em quatro partes, descritas na tabela 2, fato que demonstra a grande densidade de conteúdo dessa norma. De modo geral, a norma descreve e parametriza as descargas atmosféricas em detalhes, fornece subsídios para determinar a necessidade de proteção de uma estrutura e especifica proteções para evitar os danos causados pelas descargas. (SANTOS, 2017)

Tabela 2– Descrição das quatro partes da norma ABNT NBR 5419:2015

Parte 1: Princípios gerais	Define parâmetros e efeitos de descargas atmosféricas, requisitos para determinar a necessidade de proteção, medidas de proteção aplicáveis e critérios básicos para proteção de estruturas.
Parte 2: Gerenciamento de risco	Define o método de análise de risco.
Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida	Define um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) para reduzir danos físicos e perigos à vida.
Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura	Define Medidas de Proteção contra Surtos (MPS) para reduzir falhas de sistemas elétricos e eletrônicos em uma estrutura.

Fonte SANTOS, 2017

O gerenciamento de risco para a determinação da necessidade ou não de se adotar à estrutura um SPDA ou de melhorar o sistema já implantado no caso de haver um SPDA, se dá, primeiramente, identificando a estrutura a ser protegida e as suas características, como: localização, dimensões (para o cálculo da área de exposição), o conteúdo e as instalações da estrutura, a finalidade de sua utilização (habitacional em área urbana/rural, espaço público, etc.), a frequência com que as pessoas a utilizam, identificam-se todos os possíveis Tipos de Perdas ($L1$ a $L4$), avalia os correspondentes componentes de Risco relacionados aos Riscos de Perdas (RA , RB , RC , RM , RU , RV , RW e RZ), calculando-os para obter o valor final de cada um dos riscos $R1$ a $R4$. (BORTOLATO, 2017)

A implantação de um SPDA será definida pela comparação dos riscos $R1$ a $R3$ com o Risco Tolerável RT , cujos valores representativos são considerados caso as descargas atmosféricas causem perda de vida humana, perda de serviço ao público ou perdas de patrimônio cultural, dados na Tabela 3.

A avaliação da componente de risco R_4 é feita no sentido de se avaliar o custo da implantação de proteção comparando com o custo total das perdas (perda de valor econômico L_4) se houver proteções à estrutura ou não. Este processo leva em consideração o cálculo do custo anual das perdas na ausência de medidas de proteção e do custo anual das perdas no caso de haver medidas de proteção. Adotar o valor representativo do risco tolerável de $RT = 10^{-3}$ (SANTOS, 2017)

Tabela 3 – Valores típicos de risco tolerável R_t

Tipo de perda		$R_T(y^{-1})$
L_1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L_2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
L_3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, tabela 4.

Um sistema de proteção contra descargas atmosféricas deverá ser adotado se o risco calculado for maior que o tolerável ($R \geq RT$) e medidas adicionais de proteção devem ser tomadas de modo que seja obtido um risco inferior ao tolerável ($R < RT$). (ABNT NBR 5419-2:2015)

3 DEFINIÇÕES PRELIMINARES.

3.1 AVALIAÇÃO FÍSICA DAS ESTRUTURAS DO EMPREENDIMENTO.

Foram realizadas inspeções nas estruturas físicas do empreendimento, visando entender, se:

- O SPDA se encontra conforme projeto baseado na norma;
- Todos os componentes do SPDA encontram-se em bom estado, as conexões e fixações estão firmes e livres de corrosão;
- As construções e reformas que alteram as condições previstas em projeto além de inclusão de novas estruturas estejam incorporadas ao SPDA externo e enquadradas na norma.

Durante as inspeções, foi verificado os seguintes itens:

- Deterioração e corrosão dos captores, condutores de descida e conexões;
- Corrosão dos eletrodos de aterramento;
- Verificação da integridade física dos condutores do eletrodo de aterramento para os subsistemas de aterramento não naturais.

Figura 2 – Empreendimento.



Fonte: Autor

Em resumo, as condições físicas do empreendimento são as que seguem:

- Tipo de estrutura: Estrutura de alvenaria, colunas de concreto armado e estrutura de cobertura não metálica;
- Estruturas próximas: A estrutura não protegida por estruturas próximas mais altas ou de mesma altura;
- Subsistema de captadores: O subsistema de captação é existente com cabos de cobre e terminais aéreos;
- Subsistema de descidas: O subsistema de descidas é existente com cabos de cobre;
- Subsistema de aterramento: O subsistema de aterramento é existente com cabos de cobre;

3.2 DANOS E PERDAS

Os danos causados a uma estrutura ou a pessoa estão relacionados com o ponto de impacto de uma descarga atmosférica e a principal fonte destes danos é a corrente elétrica.

Esta corrente pode surgir nos cabos de energia e sinal da estrutura devido à indução eletromagnética (LEMP) ou através de uma descarga direta.

A NBR5419-2 de 2015 classifica a fonte de danos de acordo com o ponto de impacto da descarga atmosférica da seguinte forma:

S1: descargas atmosféricas na estrutura;

S2: descargas atmosféricas perto da estrutura;

S3: descargas atmosféricas na linha;

S4: descargas atmosféricas perto da linha.

Dependendo das características da estrutura a descarga atmosférica pode causar diferentes danos. As características mais relevantes são: tipos de construção, conteúdo e aplicações, tipo de serviço e as medidas de proteção contra descargas atmosféricas já existentes.

Os três tipos básicos de danos a serem contemplados na norma são:

- D1: ferimentos aos seres vivos por choque elétrico;
- D2: danos físicos;
- D3: falhas de sistemas eletrônicos.

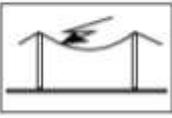
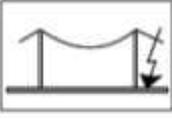
Ao analisar os riscos de danos devem-se considerar também os danos indiretos como vazamentos químicos.

De acordo com cada tipo de dano ou com a combinação destes pode haver diferentes perdas atribuídas. As perdas que devem ser levadas em consideração são:

- 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)

As possíveis perdas atribuídas a cada tipo de dano e suas fontes estão dispostas na Figura 3 encontrada no item 4.1.3 da NBR5419-2 de 2015.

Figura 3 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas

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.

Fonte: NBR ABNT 5419:2015

3.3 DADOS PARA CÁLCULO DE RISCO

O numeral que representa o risco de perda anual ocasionada por cada tipo de fonte de danos (S) é representado por R onde:

R1: risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes)

R2: risco de perda de serviço ao público

R3: risco de perda de patrimônio cultural

R4: risco de perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades)

Os riscos de perdas R são compostos pela soma das componentes de risco parciais que dependem da fonte e do tipo de dano.

3.3.1. Componentes de risco

3.3.1.1. Para descargas diretamente na estrutura:

Ra: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico dentro e fora da estrutura devido às tensões de passo e toque. Perdas do tipo L1 e L4a;

Rb: componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos dentro da estrutura ocasionando incêndio ou explosão colocando em perigo o meio ambiente. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4);

Rc: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde as falhas de sistema internos possam imediatamente colocar em risco a vida humana.

3.3.1.2. Para descargas atmosféricas próximas a estrutura:

Rm: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde as falhas de sistema internos possam imediatamente colocar em risco a vida humana.

3.3.1.3. Para descargas atmosféricas em uma linha que entra na estrutura:

Ru: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico dentro e fora da estrutura devido às tensões de passo e toque. Perdas do tipo L1 e L4a;

Rv: componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos dentro da estrutura ocasionando incêndio ou explosão colocando em perigo o meio ambiente. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4);

Rw: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde as falhas de sistema internos possam imediatamente colocar em risco a vida humana.

3.3.1.4. Para descargas atmosféricas perto da linha que adentra à estrutura.

Rz: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de exposição, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

3.3.2. Composição de componentes de risco

A composição de cada componente de risco atribuído a cada tipo de perda é dada pela Tabela 2 no item 4.3 da norma NBR 5419-2 de 2015 e pelas seguintes equações:

R1: Risco de perda de vida humana:

$$R1 = Ra1 + Rb1 + Rc1^* + Rm1^* + Ru1^* + Rv1^* + Rw1^* + Rz1^*$$

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

R2: Risco de perdas de patrimônio cultural:

$$R2 = Rb2 + Rc2 + Rm2 + Rv2 + Rw2 + Rz2$$

R3: Risco de perdas de patrimônio cultural:

$$R3 = Rb3 + Rv3$$

R4: Risco de perdas de valor econômico:

$$R4 = Ra4^{**} + Rb4 + Rc4 + Rm4 + Ru4^{**} + Rv4 + Rw4 + Rz4$$

** Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Cada componente de risco é influenciada pelas características da estrutura analisada e pelas medidas de proteção existentes na mesma.

4 GERENCIAMENTO DE RISCO

O procedimento para análise de risco consiste em identificar as características da estrutura a ser protegida e com base nisso os tipos de perdas e componentes de risco relevantes. Então define-se o fator de risco para cada tipo de perda (R1 a R4) e em seguida compara-se os valores obtidos com os valores de risco tolerável estabelecidos pela autoridade que tenha jurisdição e na sua falta pela Tabela 4 presente no item 5.3 da norma NBR 5419-2 de 2015.

Tabela 4 – Valores típicos de risco tolerável R_T

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, tabela 4 II.

Para a perda do tipo L4 a rotina a ser seguida é a comparação custo/benefício encontrada no Anexo D da norma NBR 5419-2 de 2015. O risco tolerável que pode ser utilizado para essa análise é $R_t=0,001$.

4.1 VERIFICAÇÃO DE NECESSIDADE DE PROTEÇÃO

De acordo com a NBR 5419 de 2015 os riscos a serem observados para verificação de necessidade de proteção de uma estrutura são os riscos R1, R2 e R3.

Uma estrutura precisará de proteção quando o risco para cada tipo de perda for superior ao risco estabelecido na tabela acima, nesses casos medidas de proteção deverão ser tomadas para reduzir esses riscos até que sejam inferiores aos limites aceitáveis.

As medidas de proteção são consideradas efetivas se estiverem conforme os requisitos das normas NBR 5419-3 para proteção contra danos físicos a estrutura

e ferimentos a seres vivos e NBR 5419-4 para proteção contra falhas de sistemas eletrônicos.

A seleção das medidas de proteção deverá ser feita pelo projetista levando em consideração a redução efetiva dos riscos de perdas e também os aspectos econômicos, visando sempre o melhor custo/benefício.

4.2 ANÁLISE DOS COMPONENTES DE RISCO

Cada componente de risco R_a , R_b , R_c , R_m , R_u , R_v , R_w e R_z pode ser expressada pela fórmula geral:

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

Onde:

N_x representa o número de eventos perigosos por ano (Anexo A – NBR 5419-2 de 2015)

P_x representa a probabilidade de dano à estrutura (Anexo B - NBR 5419- 2 de 2015)

L_x representa a perda consequente (Anexo C - NBR 5419-2 de 2015)

A norma estabelece uma equação para calcular cada componente de risco relacionada a cada tipo de dano e suas respectivas fontes.

Para a fonte de danos do tipo S1 (descarga na estrutura) a componente de risco referente ao dano D1 (ferimentos a seres vivos) é dada a seguinte equação:

$$R_a = N_d \times P_a \times L_a$$

Onde:

N_d é o número de eventos perigosos para a estrutura

P_a é a probabilidade de uma descarga atmosférica causar ferimentos a seres vivos

L_a se refere ao risco de perdas devido a ferimentos a seres vivos por choque

elétrico.

Para a fonte de danos do tipo S1 (descarga na estrutura) a componente de risco referente ao dano D2 (danos físicos a estrutura) é dada a seguinte equação:

$$Rb = Nd \times Pb \times Lb$$

Onde:

Nd é o número de eventos perigosos para a estrutura

Pb é a probabilidade de uma descarga atmosférica causar danos físicos à estrutura

Lb se refere ao risco de perdas devido a danos físicos causados à estrutura

Para a fonte de danos do tipo S1 (descarga na estrutura) a componente de risco referente ao dano D3 (falha de sistemas internos) é dada a seguinte equação:

$$Rc = Nd \times Pc \times Lc$$

Onde:

Nd é o número de eventos perigosos para a estrutura

Pc é a probabilidade de uma descarga atmosférica causar falha de sistemas internos

Lb se refere ao risco de perdas devido a falha de sistemas internos

Para a fonte de danos do tipo S2 (descarga perto da estrutura) a componente de risco referente ao dano D3 (falha de sistemas internos) é dada a seguinte equação:

$$Rm = Nm \times Pm \times Lm$$

Onde:

Nm é o número de eventos perigosos perto da estrutura

Pm é a probabilidade de uma descarga atmosférica causar falha de sistemas internos

Lu se refere ao risco de perdas devido a falha de sistemas internos

Para a fonte de danos do tipo S3 (descarga em uma linha que adentra a estrutura) a componente de risco referente ao dano D1 (ferimentos a seres vivos) é dada a seguinte equação:

$$Ru = (Nl + Ndj) \times Pu \times Lu$$

Onde:

Nl é o número de eventos perigosos na linha que adentra a estrutura

Ndj é o número de eventos perigosos na linha que adentra uma estrutura adjacente (em muitos casos pode ser desprezado)

Pu é a probabilidade de uma descarga atmosférica causar ferimentos por choque elétrico.

Lu se refere ao risco de perdas devido a ferimentos por choque elétrico.

Para a fonte de danos do tipo S3 (descarga em uma linha que adentra a estrutura) a componente de risco referente ao dano D2 (danos físicos a estrutura) é dada a seguinte equação:

$$Rv = (Nl + Ndj) \times Pv \times Lv$$

Onde:

Nl é o número de eventos perigosos na linha que adentra a estrutura

Ndj é o número de eventos perigosos na linha que adentra uma estrutura adjacente (em muitos casos pode ser desprezado)

Pv é a probabilidade de uma descarga atmosférica causar danos físicos

Lv se refere ao risco de perdas devido a danos físicos a estrutura

Para a fonte de danos do tipo S3 (descarga em uma linha que adentra a estrutura) a componente de risco referente ao dano D3 (falha de sistemas internos) é dada a seguinte equação:

$$Rw = (Nl + Ndj) \times Pw \times Lw$$

Onde:

Nl é o número de eventos perigosos na linha que adentra a estrutura

Ndj é o número de eventos perigosos na linha que adentra uma estrutura adjacente (em muitos casos pode ser desprezado)

Pw é a probabilidade de uma descarga atmosférica causar falha de sistemas internos

Lw se refere ao risco de perdas devido a falha de sistemas internos

Se a linha tiver mais de uma seção os valores de RU, RV e RW serão a soma dos valores de RU, RV e RW para cada seção da linha. As seções consideradas são aquelas entre a estrutura e o primeiro nó.

Quando houver linhas com roteamentos diferentes adentrando a estrutura deverá ser realizado o cálculo para cada uma delas.

Em caso de diversas linhas com o mesmo roteamento o cálculo deverá ser feito considerando o pior caso, ou seja, a linha com mais alto valor de NI e Ni conectada ao sistema interno com menor valor de Uw.

Para a fonte de danos do tipo S4 (descarga perto de linhas que adentram a estrutura) a componente de risco referente ao dano D3 (falha de sistemas internos) é dada a seguinte equação:

$$Rz = Ni \times Pz \times Lz$$

Onde:

Ni é o número de eventos perigosos perto de linhas que adentram a estrutura

Pz é a probabilidade de uma descarga atmosférica causar falha de sistemas internos

Lz se refere ao risco de perdas devido a falha de sistemas internos

4.3 CÁLCULO DE PARÂMETROS

Os cálculos para os parâmetros utilizados em cada componente de risco são dados pelos anexos de A a C da NBR 5419-2 de 2015.

4.3.1. Número de eventos perigosos (Anexo A da NBR 5419-2 de 2015)

Nd - número de eventos perigosos para a estrutura

O valor de Nd pode ser encontrado no produto da seguinte equação:

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

Onde:

Ng é a densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km² × ano)

Ad é a área de exposição equivalente para a estrutura

Cd é o fator de localização da estrutura conforme Tabela A.1 da NBR 5419-2 de 2015.

Tabela 5 – Fator de localização da estrutura Cd

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015 Tabela A.1

A densidade de descargas atmosféricas para a terra (Ng) de uma região pode ser encontrado de três formas:

- Analisando o Anexo F disponível na NBR 5419-2 de 2015;
- Através da equação $Ng \approx 0,1 \times Td$

Onde Td é o número de dias com tempestades por ano (obtido em mapas isoceràunicos)

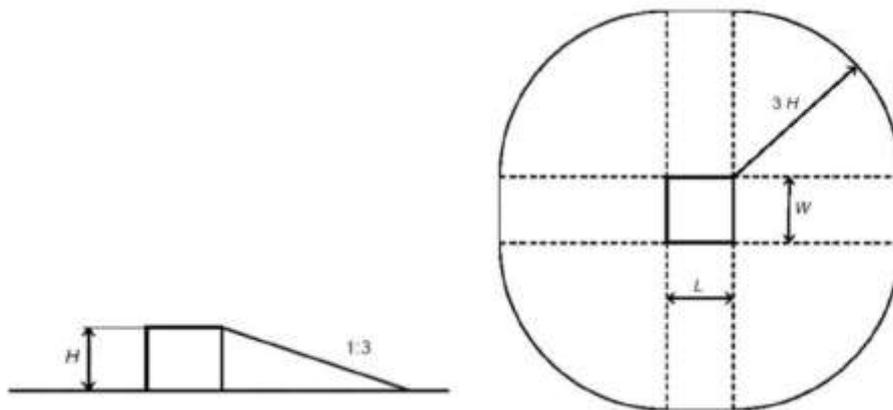
A variável Ad depende do formato da estrutura analisada.

Para uma estrutura retangular isolada a área de exposição equivalente é dada pela equação:

$$Ad = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$$

Onde L, W e H são dados em metros e representados na Figura 4 - Área de exposição de uma estrutura retangular isolada.

Figura 4 – Área de exposição de uma estrutura retangular isolada.



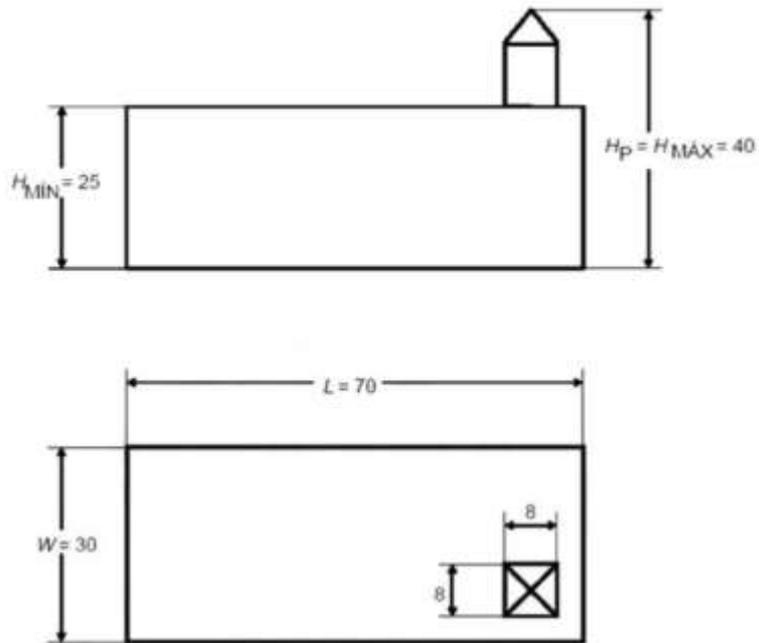
Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, Figura 1

Para uma estrutura com uma forma complexa a área de exposição equivalente é a soma da área de exposição da forma retangular com a área de exposição da saliência dada pela equação:

$$Ad = \pi \times (3 \times Hp)^2$$

Onde H_p é a altura da saliência conforme Figura 5 - Exemplo de estrutura com forma complexa.

Figura 5 – Exemplo de estrutura com forma complexa



Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, Figura 2

O resultado para a área de exposição da estrutura utilizada como exemplo será conforme a Figura 6 - Área de exposição para estrutura complexa.

Figura 6 – Área de exposição para uma estrutura complexa



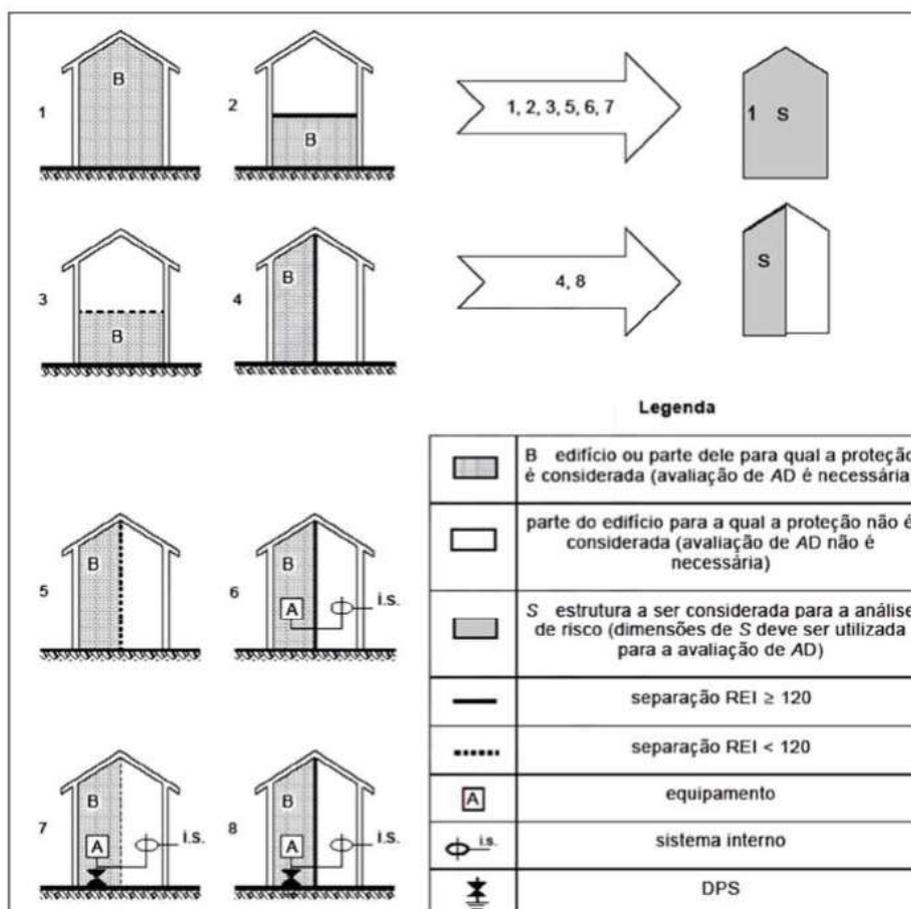
Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, Figura 3

Para estruturas que ocupam parte de uma edificação a área a ser analisada depende das seguintes condições:

- A estrutura S é uma parte vertical separada do edifício B;
- O edifício B não tem risco de explosão;
- Existe proteção contra propagação de fogo da área protegida S para outras áreas da edificação;
- Existem dispositivos para impedir a propagação de sobretensões ao longo das linhas comuns entre a área protegida S e as demais áreas da edificação.

As situações encontradas serão resumidas em dois tipos de consideração conforme Figura 7 - Consideração parcial de estruturas para área de exposição Ad.

Figura 7 – Consideração parcial de estruturas para a área de exposição Ad



Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, Figura 4

Nm - número de eventos perigosos próximos da estrutura

$$Nm = Ng \times Am \times 10^{-6}$$

Onde:

Ng é a densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km² × ano)

Am é a área de exposição a descargas atmosféricas perto da estrutura e é dada

pela equação $Am = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2$.

A área Am se estende a uma linha de 500 metros do perímetro da estrutura analisada.

NI - número de eventos perigosos na linha que adentra a estrutura

$$NI = Ng \times AI \times Ci \times Ce \times Ct \times 10^{-6}$$

Onde:

NI é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha que adentra a estrutura

Ng é a densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km² × ano)

AI é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha dada por $AI = 40 \times LI$, onde LI é o comprimento da seção da linha que adentra a estrutura em metros. Quando o comprimento for desconhecido poderá ser adotado o valor de 1000 m;

C_i é o fator de instalação da linha conforme tabela abaixo;

Tabela 6 – Fator de Instalação C_i

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

C_t é o fator tipo de linha conforme tabela abaixo;

Tabela 7 – Tipo de linha C_t

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

C_e é o fator ambiental conforme tabela abaixo;

Tabela 8 – Fator ambiental C_e

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

Ni - número de eventos perigosos próximos da linha que adentra a Estrutura

$$Ni = Ng \times Ai \times Ci \times Ce \times Ct \times 10^{-6}$$

Onde as variáveis são as mesmas utilizadas no cálculo de NI porém substituindo Al por Ai que é dada pela equação $Ai = 4000 \times Ll$, onde Ll é o comprimento da seção da linha que adentra a estrutura em metros. Quando o comprimento for desconhecido poderá ser adotado o valor de 1000 m;

Ndj – número de eventos perigosos em uma estrutura adjacente à estrutura analisada.

O cálculo a ser feito é idêntico ao cálculo de Nd.

4.3.2. Probabilidade de danos (Anexo B, NBR 5419-2 de 2015)

Pb – Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar danos físicos

É dada pela Tabela 9 da norma NBR 5419-2 de 2015 que segue:

Tabela 9 – Probabilidade de descarga atmosféricas causar danos

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015. Tabela B.2

Pa – Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico.

$$Pa = Pta \times Pb$$

Onde:

Pta depende das medidas de proteção adotadas contra tensões de passo e toque conforme a seguinte tabela:

Tabela 10 – Medida de proteção adicional

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Caso existam mais de uma medida de proteção Pta será o produto de todas as medidas adotadas.

Pc – Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar falhas nos sistemas internos.

$$Pc = Pspd \times Cld$$

Onde:

Pspd depende do nível de proteção para qual o sistema coordenado de DPS foi projetado de acordo com a norma NBR 5419-4 de 2015 e segue a tabela:

Tabela 11 – medida de proteção adicional

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

C_{Id} depende da blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado e recebe valores conforme tabela a seguir:

Tabela 12 – medida de proteção adicional

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C _{LD}	C _{LI}
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0
(Nenhuma linha externa)	Sem conexões com linhas externas (sistemas independentes)	0	0
Qualquer tipo	Interfaces isolantes de acordo com a ABNT NBR 5419-4	0	0

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Pu – Probabilidade de uma descarga atmosférica na linha que adentra a estrutura causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico.

$$P_u = P_{tu} \times P_{eb} \times P_{ld} \times C_{ld}$$

Onde:

P_{tu} depende das medidas de proteção contra tensões de toque conforme tabela a seguir:

Tabela 13 – Medida de proteção.

Medida de proteção	P _{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	10 ⁻¹
Isolação elétrica	10 ⁻²
Restrições físicas	0

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

P_{eb} depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme NBR 5419-3 de 2015 e do nível de proteção para qual o DPS foi projetado conforme tabela abaixo:

Tabela 14 – Ligações equipotenciais x proteção DPS

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

Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015

Pld é a probabilidade de falhas de sistema interno devido a uma descarga atmosférica na linha conforme tabela:

Tabela 15 – Probabilidade de falhas de sistema interno

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

Cld é um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições de isolamento da linha conforme tabela descrita anteriormente.

Pv – Probabilidade de uma descarga atmosférica causar danos físicos a estrutura.

$$Pv = Peb \times Pld \times Cld$$

Todos as variáveis utilizadas para este cálculo estão dispostas nos itens anteriores.

Pw – Probabilidade de uma descarga atmosférica na linha que adentra a estrutura causar falhas de sistemas internos.

$$Pw = Pspd \times Pld \times Cld$$

Todos as variáveis utilizadas para este cálculo estão dispostas nos itens anteriores.

Pz – Probabilidade de uma descarga atmosférica próximo a linha que adentra a estrutura provocar falhas no sistema interno.

$$Pz = Pspd \times Pli \times Cli$$

Onde:

Pli é a probabilidade de falha dos sistemas internos devido a uma descarga atmosférica próximo a linha que adentra a estrutura dependendo de suas características conforme tabela a seguir:

Tabela 16 – Tipos de linha.

Tipo da linha	Tensão suportável U_W em kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Linhas de sinais	1	0,5	0,2	0,08	0,04

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

4.3.3. Probabilidade de perdas (Anexo C, NBR 5419-2 de 2015)

A norma sugere alguns valores típicos de perdas para efeito de cálculo, porém recomenda-se que os valores das perdas sejam fixados pelo proprietário ou por uma avaliação do projetista de SPDA.

O valor de cada perda L varia de acordo com o tipo de perda considerada.

4.3.4. Perda de vida humana (L1)

O valor da perda para cada zona da estrutura segue a tabela abaixo:

Tabela 17 – valor da perda por zona

Tipo de dano	Perda típica
D1	$L_A = n_t \times L_T \times n_Z / n_t \times t_z / 8760$
D1	$L_U = n_t \times L_T \times n_Z / n_t \times t_z / 8760$
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_Z / n_t \times t_z / 8760$
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_Z / n_t \times t_z / 8760$

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

Onde:

L_t é o número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso;

L_f é número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso;

L_o é número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso;

Todos podem ser encontrados na tabela a seguir:

Tabela 18 – Tipos de danos.

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

Os valores da Tabela C.2 se referem ao atendimento contínuo de pessoas na estrutura. No caso de uma estrutura com risco de explosão, os valores para LF e LO podem necessitar de uma avaliação mais detalhada, considerando o tipo de estrutura, risco de explosão, o conceito de zona de áreas perigosas e as medidas para encontrar o risco.

r_t é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso conforme tabela abaixo:

Tabela 19 – Fator de redução de perda x solo.

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

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

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio conforme tabela:

Tabela 20 – Fator de redução de perda x providências tomadas.

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

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura conforme tabela:

Tabela 21 – Fator de redução de perda x Risco de Incêndio.

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

h_z é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente conforme tabela:

Tabela 22 – Fator de redução de perda x 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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

n_z é o número de pessoas na zona;

n_t é o número total de pessoas na estrutura;

t_z é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.

4.3.5. Perda inaceitável de serviço público (L2)

O valor da perda para cada estrutura pode ser determinado de acordo com a seguinte tabela:

Tabela 23 – valor de perda por estrutura.

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times n_z/n_t$	(C.7)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t$	(C.8)

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

Onde:

r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio;

r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura;

L_f é o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante do dano físico (D2) devido a um evento perigoso;

L_o é o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante da falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso conforme tabela:

Tabela 24 – Número relativo médio típico de usuários não servidos.

Tipo de dano	Valor da perda típica		Tipo de serviço
D2 danos físicos	L_F	10^{-1}	Gás, água, fornecimento de energia
		10^{-2}	TV, linhas de sinais
D3 falhas de sistemas internos	L_O	10^{-2}	Gás, água, fornecimento de energia
		10^{-3}	TV, linhas de sinais

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

nz é o número de usuários servidos pela zona;

nt é o número total de usuários servidos pela estrutura.

4.3.6. Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3)

Para determinar o valor da perda para cada zona recomenda-se o uso da seguinte tabela:

Tabela 25 – Tipos de danos físicos.

Tipo de dano	Valor típico da perda
D2 danos físicos	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times c_z / c_t$

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

Onde:

L_F é o valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso conforme tabela:

r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio;

r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio;

cz é o valor do patrimônio cultural na zona;

ct é o valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas).

4.3.7. Perda econômica (L4)

Para avaliar o risco das perdas econômicas causadas por uma descarga atmosférica versus o custo da implantação e manutenção das medidas de proteção deve-se verificar o Anexo D da norma NBR 5419-2 de 2015.

Para isso são necessários os seguintes procedimentos:

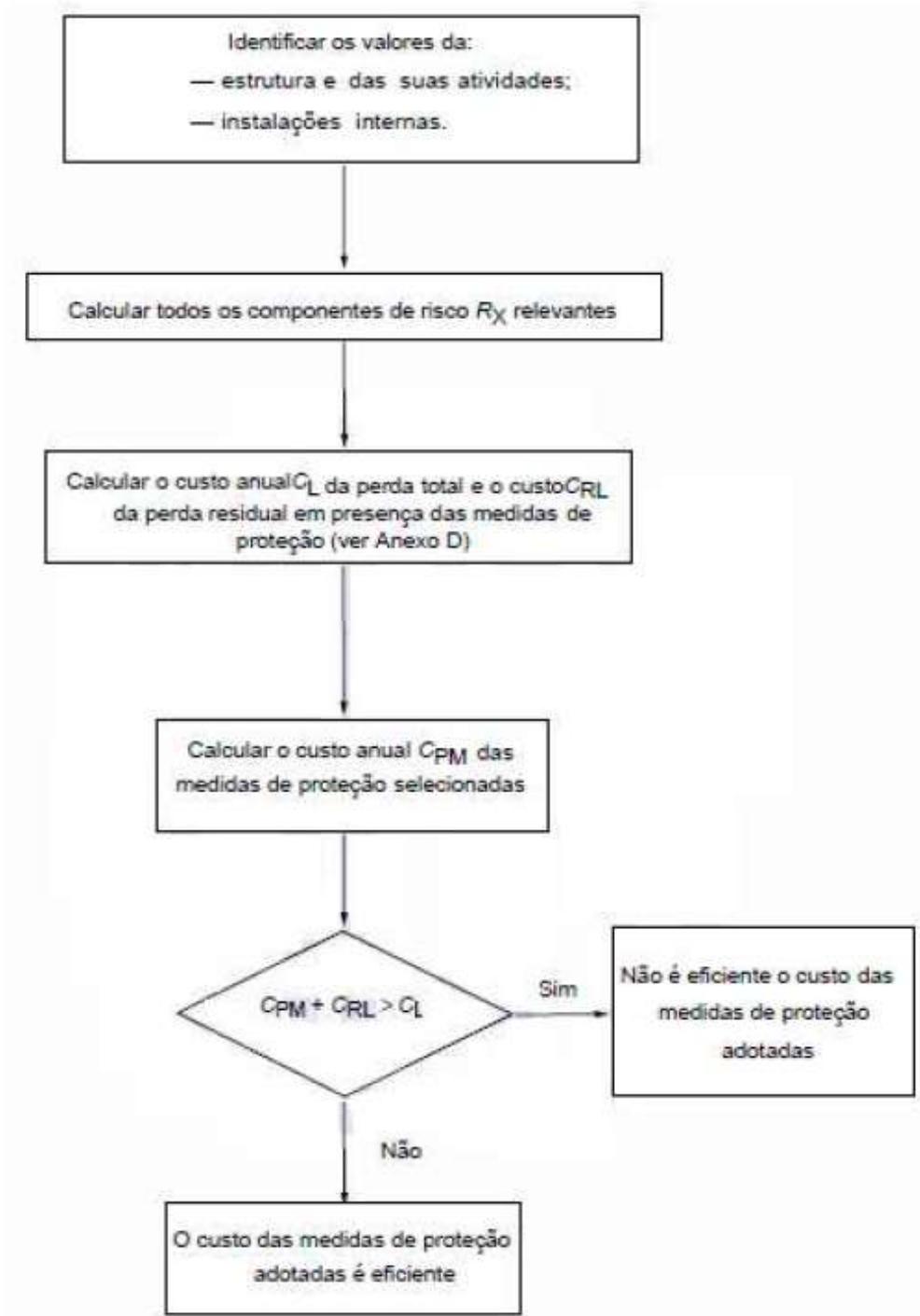
- Identificação dos componentes Rx que compõem o risco R4;
- Cálculo dos componentes de risco Rx na ausência de novas/adicionais medidas de proteção;
- Cálculo do custo anual de perdas devido a cada componente Rx;
- Cálculo do custo CI (perda total na ausência das medidas de proteção);
- Adoção das medidas de proteção selecionadas;
- Cálculo dos componentes de risco Rx com presença das medidas de proteção selecionadas;
- Cálculo do custo anual perdas residuais devido a cada componente de risco Rx na estrutura protegida;
- Cálculo do custo anual Cri (perdas residuais com a presença das medidas de proteção selecionadas);
- Cálculo do custo anual com das medidas de proteção selecionadas;
- Comparação dos custos.

Se o custo das perdas totais sem proteção (CI) for menor que o somatório das perdas residuais mais o custo das medidas de proteção, a proteção contra descargas atmosféricas pode ser julgada não tendo um custo eficiente.

Se o custo das perdas totais sem proteção (CI) for maior que o somatório das perdas residuais mais o custo das medidas de proteção, as medidas de proteção podem provar a economia monetária durante a vida da estrutura.

O procedimento para avaliação da eficiência do custo das medidas de proteção pode ser visualizado na seguinte figura:

Figura 8 – Fluxograma de avaliação de eficiência.



Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

O custo de perda em uma zona específica (Clz) é dado pela equação:

$$Clz = R4z \times ct$$

Onde:

$R4z$ é o risco relacionado à perda de valor na zona, sem as medidas de proteção

ct é o valor total da estrutura (animais, edificação, conteúdo e sistemas internos incluindo atividades em espécie).

O custo total de perdas Cl pode ser calculado pela equação:

$$Cl = \sum Clz = R4 \times ct$$

Onde:

O risco $R4$ será o somatório dos riscos calculados para cada zona da estrutura, sem as medidas de proteção.

O custo das perdas residuais para cada zona $Crlz$ pode ser calculado pela equação:

$$Crlz = R'4z \times ct$$

Onde:

$R'4z$ é o risco relacionado à perda de valor de cada zona.

O custo total Crl de perda residual em uma estrutura, apesar das medidas de proteção, pode ser calculado pela equação:

$$Crl = \sum Crlz = R'4 \times ct$$

Onde:

$R'4 = \sum R'4z$ é o risco relacionado à perda de valor de uma estrutura, sem medidas de proteção.

O custo anual C_{pm} das medidas de proteção pode ser calculado por meio da equação:

$$C_{pm} = C_p \times (i + a + m)$$

Onde:

C_p é o custo das medidas de proteção;

i é a taxa de juros;

a é a taxa de manutenção;

m é a taxa de manutenção.

O valor econômico S_m , em espécie, é:

$$S_m = Cl - (C_{pm} + Crl)$$

A proteção é justificada se o valor econômico anual for $S_m > 0$.

4.4 ZONAS DE RISCO

A análise de risco é feita levando em consideração que a estrutura ou prédio pode possuir diversas áreas com riscos de perdas distintos, estas são denominadas Zonas (Z_s).

As principais características que auxiliam na definição das diferentes zonas de um prédio são:

- Tipo de piso ou solo;
- Compartimentos à prova de fogo;

- Blindagens espaciais;
- Layout dos sistemas internos;
- Medidas de proteção existentes ou a serem instaladas;
- Valores de perdas.

A definição de cada zona para o cálculo de gerenciamento de risco bem como os valores encontrados estão dispostos no capítulo a seguir.

5 RESULTADOS

Com base nos preceitos citados nos capítulos anteriores, foi realizada uma análise de risco para a situação na forma como a estrutura se encontra atualmente, e caso a estrutura necessite de intervenções uma segunda análise foi elaborada considerando a situação futura após a implantação.

RESUMO DE RESULTADOS DO GERENCIAMENTO DE RISCO												
ID	ÁREA	SITUAÇÃO	CLASSE DO SPDA	DPS	ZPR 0-externa 1-interna	RISCOS MÁXIMOS ADMITIDOS				Resultado		
						1,00,E-05	1,00,E-03	1,00,E-04	1,00,E-03			
						R1	R2	R3	R4			
1	Escritório	ANTES	-	-	0	2,82E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	BAIXO RISCO DE DANOS		
					1	8,45E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,89E-04			
		DEPOIS			3	NIVEIS 1 E 2	0	3,40E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	RISCOS DE DANOS REDUZIDOS
							1	1,38E-06	0,00E+00	0,00E+00	3,93E-05	

ANEXO I – GERENCIAMENTO DE RISCO



Densidade de descargas atmosféricas para a terra (Ng)
 Dados publicados na ABNT NBR 5419-2:2015
 Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 2: Gerenciamento de risco.



Latitude: Longitude: Endereço: Capivari de Baixo - SC, 88745-000, Brasil Mostrar no mapa



PREDIO 01 - ESCRITÓRIO (ANTES)

ANEXO I – GERENCIAMENTO DE RISCO

CARACTERÍSTICAS GLOBAIS E AMBIENTAIS DA ESTRUTURA				
Parâmetro de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para terra (1/km2/ano)	Conforme site INPE	Ng	5,7	Ng = Td x 0,1 (A.1)
Dimensões da Estrutura (m)	Largura	L	34	Levantamento Local
	Comprimento	W	35	Levantamento Local
	Altura	H	8	Levantamento Local
Fator de localização da Estrutura	2. Estrutura cercada por objetos de mesma altura ou mais baixos	CD	0,5	Tabela A.1
SPDA	1. Estrutura não protegida por SPDA	PB	1	Tabela B.2
Ligação Equipotencial	1. Sem DP5	PEB	1	Tabela B.7
Medida de Proteção contra toque (SPDA)	1. Nenhuma medida de proteção	PTU	1	Tabela B.6
Espaçamento entre descidas SPDA	Se a estrutura é inteiramente metálica utilizar o valor 10 ⁻⁴ . Para estruturas de alvenaria considerar distancia entre colunas.	Wm1	5	Levantamento Local
Blindagem Espacial Externa		Ks1	0,6	Ks1 = 0,12 x Wm1 (B.5)

DISTRIBUIÇÃO DE PESSOAS NAS ZONAS		
Zona	N. Pessoas	Tempo de Presença (h/ano)
Zona 0 - Fora do edifício	2	2088
Zona 1 - Dentro do edifício	30	2088
Total (nt)	32	-

VALORES ECONÔMICOS EM R\$					
Zona	Animais Ca	Edifícios Cb	Conteúdo Cc	Sistemas Internos Cs	Total Ct
Zona 0 - Fora do edifício	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Zona 1 - Dentro do edifício	R\$ -	R\$ 1.000.000,00	R\$ 200.000,00	R\$ -	R\$ 1.200.000,00
Total R\$			Total Ct		R\$ 1.200.000,00

PREDIO 01 - ESCRITÓRIO (ANTES)

ANEXO I – GERENCIAMENTO DE RISCO

Fatores Válidos para Zona 0 - Fora do edifício				
Parâmetro de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Refêrencia
Superfície do Piso	1. Agricultura, concreto	rt	0,01	Tabela C.3
Proteção contra Choque	1. Nenhuma medida de proteção	PTA	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)	1. Linha de Energia, Uw= 1 KV	PLI/P	1	Tabela B.9
	1. Linha de Sinal, Uw= 1 KV	PLI/T	1	Tabela B.9
Risco de Incêndio	7. Nenhum risco de explosão ou incêndio	rf	0	Tabela C.5
Proteção contra Incêndio	2. Uma das seguintes providências: Extintores, Instalações fixas operadas manualmente, Instalações de alarme manuais, Hidrantes, Compartimentos à prova de fogo, rotas de escape.	rp	0,5	Tabela C.4
Espaçamento da malha de blindagem interna	Se a estrutura é de material metálico contínuo utilizar o valor 10^{-4}	Wm2	5	Levantamento em Campo
Blindagem Espacial Interna		Ks2	0,2	$Ks2 = 0,12 \times Wm1$ (B.6)
Energia	4. Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos	KS3	0,0001	Tabela B.5
	1. Nenhum DPS	PSPD	1	Tabela B.3
		PMS/P	2,304E-11	$PMS = (KS1 \times KS2 \times KS3 \times KS4)^2$
		PM/P	2,304E-11	$PM = PSPD \times PMS$
		PW/P	1	$PW = PSPD \times PLD \times CLD$
		PZ/P	1	$PZ = PSPD \times PLI \times CLI$
Telecom	4. Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos	KS3	0,0001	Tabela B.5
	1. Nenhum DPS	PSPD	1	Tabela B.3
		PMS/T	2,304E-11	$PMS = (KS1 \times KS2 \times KS3 \times KS4)^2$
		PM/T	2,304E-11	$PM = PSPD \times PMS$
		PW/T	1	$PW = PSPD \times PLD \times CLD$
		PZ/T	1	$PZ = PSPD \times PLI \times CLI$

PREDIO 01 - ESCRITÓRIO (ANTES)

ANEXO I – GERENCIAMENTO DE RISCO

L1: Perda de vida humana	1. Sem perigo especial	hz	1	Tabela C.6
	1. D1 Ferimentos - Lt - Todos os tipos	LT	0,01	Tabela C.2
	4. D2 Danos físicos - Lf - Industrial, comercial	LF	0,02	
	4. Sem perigo especial	LO	0	
	D1 - Ferimentos a seres vivos	LA	1,48973E-06	LA = $rt \times LT \times (nz / nt \times tz / 8760)$
		LU	1,48973E-06	LU = $rt \times LT \times (nz / nt \times tz / 8760)$
	D2 - Danos físicos	LB	0	LB = $rp \times rf \times hz \times LF \times (nz / nt \times tz / 8760)$
		LV	0	LV = $rp \times rf \times hz \times LF \times (nz / nt \times tz / 8760)$
	D3 - Falhas de sistemas eletrônicos	LC	0	LC = $LO \times (nz / nt \times tz / 8760)$
		LM	0	LM = $LO \times (nz / nt \times tz / 8760)$
LW		0	LW = $LO \times (nz / nt \times tz / 8760)$	
LZ		0	LZ = $LO \times (nz / nt \times tz / 8760)$	
L2: Perda de serviço público	3. Nenhum	LF	0	Tabela C.7
	D2 - Danos físicos	LB	0	LB = $rp \times rf \times LF \times (nz / nt)$
		LV	0	LV = $rp \times rf \times LF \times (nz / nt)$
	3. Nenhum	LO	0	Tabela C.7
	D3 - Falhas de sistemas eletrônicos	LC	0	LC = $LO \times (nz / nt)$
		LM	0	LM = $LO \times (nz / nt)$
		LW	0	LW = $LO \times (nz / nt)$
L3: Perda de patrimônio cultural	D2 - Danos físicos	LB	0	LB = $rp \times rf \times LF \times (cz / ct)$
		LV	0	LV = $rp \times rf \times LF \times (cz / ct)$
L4: Perda de valores econômico	2. D2 - Danos físicos - Estruturas comuns	LF	0	Tabela C.10
	2. D1 - ferimento a seres vivos - Outros	LT	0	Tabela C.12
	D1 - Ferimentos a seres vivos	LA	0	LA = $rt \times LT \times (ca / ct)$
		LU	0	LU = $rt \times LT \times (ca / ct)$
	3. D2 - Danos físicos - Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento	LF	0,2	Tabela C.12
	D2 - Danos físicos	LB	0	LB = $rp \times rf \times LF \times (ca + cb + cc + cs) / ct$
		LV	0	LV = $rp \times rf \times LF \times (ca + cb + cc + cs) / ct$
	2. D3 - Falha de sistemas internos - Hospital, industrial, escritório, hotel, comercial	LO	0,01	Tabela C.12
	D3 - Falhas de sistemas eletrônicos	LC	0	LC = $LO \times (cs / ct)$
		LM	0	LM = $LO \times (cs / ct)$
LW		0	LW = $LO \times (cs / ct)$	
LZ		0	LZ = $LO \times (cs / ct)$	

PREDIO 01 - ESCRITÓRIO (ANTES)

ANEXO I – GERENCIAMENTO DE RISCO

RISCOS PARA ZONA 0					
Tipo de Danos	Símbolo	R1	R2	R3	R4
D1: Ferimentos devido a choque	RA	2,48E-07	-	-	0,00E+00
	$RU = RU/P + RU/T$	3,38E-08	-	-	0,00E+00
D2: Danos Físicos	RB	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	$RV = RV/P + RV/T$	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
D3: Falha de equipamentos internos	$RC = RC/P + RC/T$	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00
	$RM = RM/P + RM/T$	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00
	$RW = RW/P + RW/T$	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00
	$RZ = RZ/P + RZ/T$	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00
Total		2,82E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RESULTADOS	Riscos toleráveis RT	1,00E-05	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-03
	R1, R2, R3, R4 > RT = Medidas de proteção são necessárias	ATENDE	ATENDE	ATENDE	ATENDE

PREDIO 01 - ESCRITÓRIO (DEPOIS)

ANEXO I – GERENCIAMENTO DE RISCO

CARACTERÍSTICAS GLOBAIS E AMBIENTAIS DA ESTRUTURA				
Parâmetro de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para terra (1/km2/ano)	Conforme site INPE	Ng	5,7	Ng = Td x 0,1 (A.1)
Dimensões da Estrutura (m)	Largura	L	34	Levantamento Local
	Comprimento	W	35	Levantamento Local
	Altura	H	8	Levantamento Local
Fator de localização da Estrutura	2. Estrutura cercada por objetos de mesma altura ou mais baixos	CD	0,5	Tabela A.1
SPDA	3. Estrutura Protegida por SPDA nível 3	PB	0,1	Tabela B.2
Ligação Equipotencial	1. Sem DPS	PEB	1	Tabela B.7
Medida de Proteção contra toque (SPDA)	1. Nenhuma medida de proteção	PTU	1	Tabela B.6
Espaçamento entre descidas SPDA	Se a estrutura é inteiramente metálica utilizar o valor 10 ⁻⁴ . Para estruturas de alvenaria considerar distância entre colunas.	Wm1	5	Levantamento Local
Blindagem Espacial Externa		Ks1	0,6	Ks1 = 0,12 x Wm1 (B.5)

DISTRIBUIÇÃO DE PESSOAS NAS ZONAS		
Zona	N. Pessoas	Tempo de Presença (h/ano)
Zona 0 - Fora do edifício	2	2088
Zona 1 - Dentro do edifício	30	2088
Total (nt)	32	-

VALORES ECONÔMICOS EM R\$					
Zona	Animais Ca	Edifícios Cb	Conteúdo Cc	Sistemas Internos Cs	Total Cz
Zona 0 - Fora do edifício	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Zona 1 - Dentro do edifício	R\$ -	R\$ 1.000.000,00	R\$ 200.000,00	R\$ -	R\$ 1.200.000,00
Total R\$			Total Ct		R\$ 1.200.000,00

PREDIO 01 - ESCRITÓRIO (DEPOIS)

ANEXO I – GERENCIAMENTO DE RISCO

Fatores Válidos para Zona 0 - Fora do edifício				
Parâmetro de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Refêrencia
Superfície do Piso	1. Agricultura, concreto	rt	0,01	Tabela C.3
Proteção contra Choque	3. Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas como condutores de descida)	PTA	0,01	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)	1. Linha de Energia, Uw= 1 KV	PLI/P	1	Tabela B.9
	1. Linha de Sinal, Uw= 1 KV	PLI/T	1	Tabela B.9
Risco de Incêndio	7. Nenhum risco de explosão ou incêndio	rf	0	Tabela C.5
Proteção contra Incêndio	2. Uma das seguintes providências: Extintores, Instalações fixas operadas manualmente, Instalações de alarme manuais, Hidrantes, Compartimentos à prova de fogo, rotas de escape.	rp	0,5	Tabela C.4
Espaçamento da malha de blindagem interna	Se a estrutura é de material metálico contínuo utilizar o valor 10^{-4}	Wm2	5	Levantamento em Campo
Blindagem Espacial Interna		Ks2	0,2	$Ks2 = 0,12 \times Wm1$ (B.6)
Energia	4. Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos	KS3	0,0001	Tabela B.5
	1. Nenhum DPS	PSPD	1	Tabela B.3
		PMS/P	$2,304E-11$	$PMS = (KS1 \times KS2 \times KS3 \times KS4)^2$
		PM/P	$2,304E-11$	$PM = PSPD \times PMS$
		PW/P	1	$PW = PSPD \times PLD \times CLD$
Telecom	4. Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos	KS3	0,0001	Tabela B.5
	1. Nenhum DPS	PSPD	1	Tabela B.3
		PMS/T	$2,304E-11$	$PMS = (KS1 \times KS2 \times KS3 \times KS4)^2$
		PM/T	$2,304E-11$	$PM = PSPD \times PMS$
		PW/T	1	$PW = PSPD \times PLD \times CLD$
	PZ/T	1	$PZ = PSPD \times PLI \times CLI$	

PREDIO 01 - ESCRITÓRIO (DEPOIS)

ANEXO I – GERENCIAMENTO DE RISCO

L1: Perda de vida humana	1. Sem perigo especial	hz	1	Tabela C.6	
	1. D1 Ferimentos - Lt - Todos os tipos	LT	0,01	Tabela C.2	
	4. D2 Danos físicos - Lf - Industrial, comercial	LF	0,02		
	4. Sem perigo especial	LO	0		
	D1 - Ferimentos a seres vivos	LA	1,48973E-06	LA = rt x LT x (nz / nt x tz / 8760)	
		LU	1,48973E-06	LU = rt x LT x (nz / nt x tz / 8760)	
	D2 - Danos físicos	LB	0	LB = rp x rf x hz x LF x (nz / nt x tz / 8760)	
		LV	0	LV = rp x rf x hz x LF x (nz / nt x tz / 8760)	
	D3 - Falhas de sistemas eletrônicos	LC	0	LC = LO x (nz / nt x tz / 8760)	
		LM	0	LM = LO x (nz / nt x tz / 8760)	
LW		0	LW = LO x (nz / nt x tz / 8760)		
LZ		0	LZ = LO x (nz / nt x tz / 8760)		
L2: Perda de serviço publico	3. Nenhum	LF	0	Tabela C.7	
	D2 - Danos físicos	LB	0	LB = rp x rf x LF x (nz / nt)	
		LV	0	LV = rp x rf x LF x (nz / nt)	
	3. Nenhum	LO	0	Tabela C.7	
	D3 - Falhas de sistemas eletrônicos	LC	0	LC = LO x (nz / nt)	
		LM	0	LM = LO x (nz / nt)	
		LW	0	LW = LO x (nz / nt)	
L3: Perda de patrimonio cultural	D2 - Danos físicos	LB	0	LB = rp x rf x LF x (cz / ct)	
		LV	0	LV = rp x rf x LF x (cz / ct)	
L4: Perda de valores econômico	2. D2 - Danos físicos - Estruturas comuns	LF	0	Tabela C.10	
	2. D1 - ferimento a seres vivos - Outros	LT	0	Tabela C.12	
	D1 - Ferimentos a seres vivos	LA	0	LA = rt x LT x (ca / ct)	
		LU	0	LU = rt x LT x (ca / ct)	
	3. D2 - Danos físicos - Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento	LF	0,2	Tabela C.12	
	D2 - Danos físicos	LB	0	LB = rp x rf x LF x (ca + cb + cc + cs) / ct	
		LV	0	LV = rp x rf x LF x (ca + cb + cc + cs) / ct	
	2. D3 - Falha de sistemas internos - Hospital, industrial, escritório, hotel, comercial	LO	0,01	Tabela C.12	
	D3 - Falhas de sistemas eletrônicos	LC	0	LC = LO x (cs / ct)	
		LM	0	LM = LO x (cs / ct)	
LW		0	LW = LO x (cs / ct)		
	LZ	0	LZ = LO x (cs / ct)		

PREDIO 01 - ESCRITÓRIO (DEPOIS)

ANEXO I – GERENCIAMENTO DE RISCO

RISCOS PARA ZONA 0					
Tipo de Danos	Símbolo	R1	R2	R3	R4
D1: Ferimentos devido a choque	RA	2,48E-10	-	-	0,00E+00
	$RU = RU/P + RU/T$	3,38E-08	-	-	0,00E+00
D2: Danos Físicos	RB	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	$RV = RV/P + RV/T$	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
D3: Falha de equipamentos internos	$RC = RC/P + RC/T$	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00
	$RM = RM/P + RM/T$	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00
	$RW = RW/P + RW/T$	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00
	$RZ = RZ/P + RZ/T$	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00
Total		3,40E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RESULTADOS	Riscos toleráveis RT	1,00E-05	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-03
	R1, R2, R3, R4 > RT = Medidas de proteção são necessárias	ATENDE	ATENDE	ATENDE	ATENDE

6 CONCLUSÃO

As prescrições desta Norma não garantem a proteção de pessoas e equipamentos elétricos ou eletrônicos situados no interior das zonas protegidas contra os efeitos indiretos causados pelos raios, tais como: parada cardíaca, centelhamento, interferências em equipamentos ou queima de seus componentes causadas por transferências de potencial devidas à indução eletromagnética. (NBR 5419 -1).

Conclui-se que o sistema de proteção contra descargas atmosféricas instaladas no empreendimento atende os níveis mínimos de segurança contra raios, para tanto, deverão ser instalados as medidas equipotenciais conforme descritos nas tabelas de Gerenciamento de Riscos para atendimento da ABNT NBR 5419:2015, reduzindo ainda mais os riscos provenientes de descargas atmosféricas.

REFERÊNCIAS

KINDERMANN, Geraldo. **Proteção contra descargas atmosféricas em estruturas edificadas**. Edição do autor 4ª edição, Florianópolis - SC, 172p. 2009.

<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/como.se.formam.os.raios.php>
Acesso em 23/07/2018

MENDES JR., O; DOMINGUES, M. O. **Introdução à Eletrodinâmica Atmosférica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, volume 24, nº1, março.2002.

NBR 5419:2015, **Proteção contra descargas atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de risco**, ABNT.

NBR 5419:2015, **Proteção contra descargas atmosféricas Parte 1: Princípios gerais**, ABNT.

IN 010:2018, **Sistema de proteção contra descargas atmosféricas**, CBMSC – Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

SILVA, Elaine dos Santos, **A física dos relâmpagos e dos raios**. 2007, 29p. Monografia, Departamento de Física, UCB, Brasília, 2007

ARAÚJO, Marcel Ayres, **Projeto de um sistema de proteção contra descarga atmosférica para uma linha de transmissão de 69kV**, 2010, 122p. Monografia, USP, São Paulo, 2010.

BORTOLATO, Wuallyson Wuilton, **Estudo comparativo das alterações da norma NBR 5419, avaliação e estudo de gerenciamento de risco**, 2017, 90p. Monografia, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Departamento de Engenharia Elétrica UEL, Londrina, 2017.

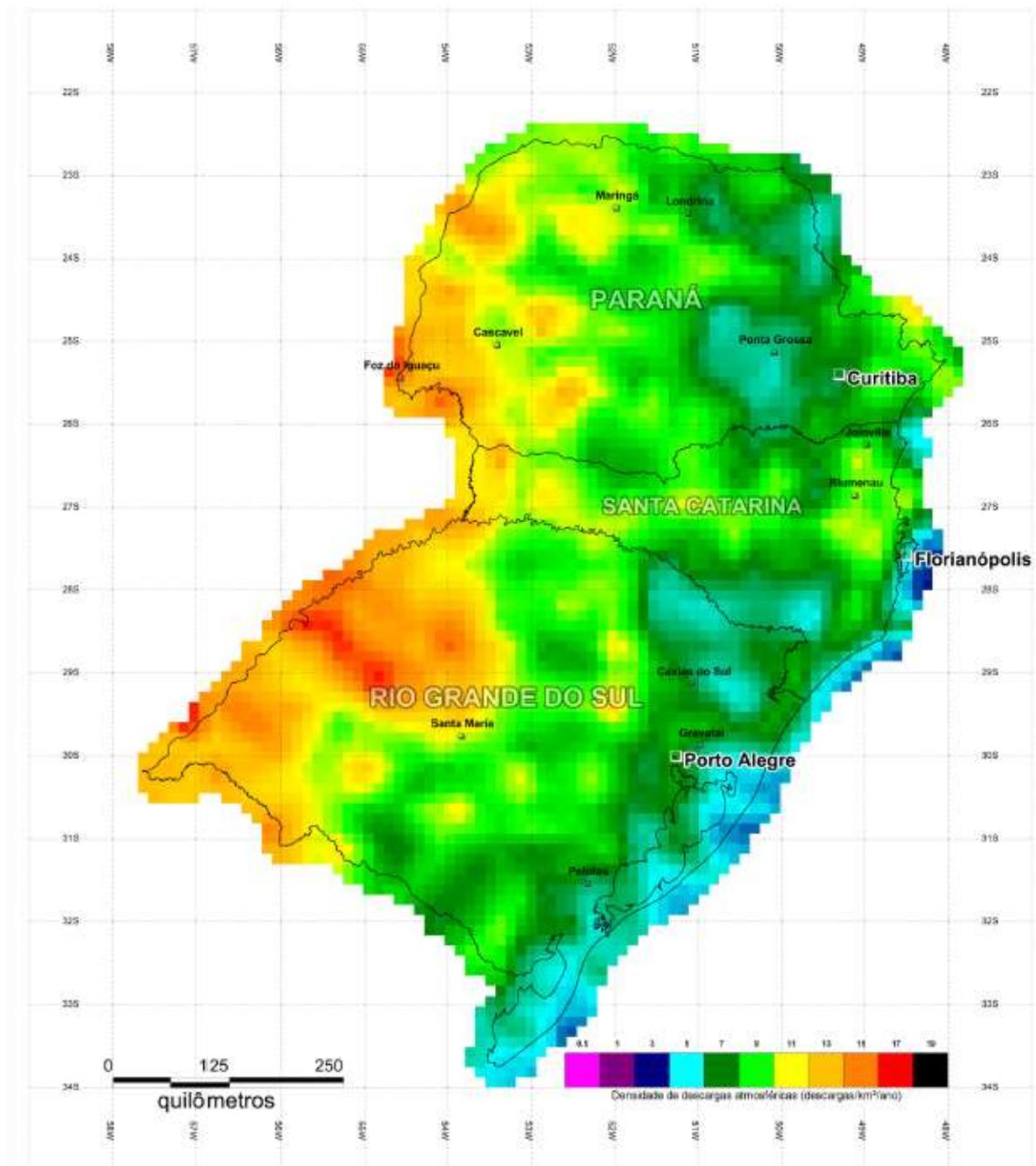
SUETA, Hélio Eiji, **Uso de componentes naturais de edificações como parte integrante do sistema de proteção contra descargas atmosféricas – uma visão relativa aos danos**, 2005, p288. Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005

SANTOS, Douglas Caetano, **Automatização do cálculo e da análise de risco da norma abnt nbr 5419:2015**, 2017, UFRGS Departamento de Engenharia Elétrica, Rio Grande do Sul, 2107

ANEXOS

ANEXO A – Mapa de densidade de raios Região Sul

Figura 9 – Densidade de descarga atmosféricas Ng – Região Sul.



Fonte: INPE 2018.