

CARLOS AUGUSTO MARCONDES DOS SANTOS

**AS NOVAS DIRETRIZES DA NBR 5419:2015, SPDA: SUA INTERPRETAÇÃO E
APLICAÇÃO QUANTO À ANÁLISE DE RISCO**

CARLOS AUGUSTO MARCONDES DOS SANTOS

**AS NOVAS DIRETRIZES DA NBR 5419:2015: SUA INTERPRTAÇÃO E
APLICAÇÃO QUANTO À ANÁLISE DE RISCO**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Alves Dias

| | |
|-------|--|
| S237n | <p>Santos, Carlos Augusto Marcondes dos As Novas diretrizes da NBR 5419:2015: sua interpretação e aplicação quanto a análise de risco / Carlos Augusto Marcondes dos Santos – Guaratinguetá, 2016. 70 f : il. Bibliografia: f. 67</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Prof. Dr. Rubens Alves Dias</p> <p>1. Energia elétrica 2. Energia elétrica - consumo I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 621.311</p> |
|-------|--|


CARLOS AUGUSTO MARCONDES DOS SANTOS

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA”


APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. RUBENS ALVES DIAS
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA
UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSÉ FELICIANO ADAMI
UNESP-FEG

Novembro de 2016

DADOS CURRICULARES

CARLOS AUGUSTO MARCONDES DOS SANTOS

| | |
|-------------------|--|
| NASCIMENTO | 18.12.1990 – APARECIDA / SP |
| FILIAÇÃO | José Carlos Marcondes dos Santos Vicentina Pires de Oliveira Santos |
| 2006/2008 | Curso Técnico em Eletroeletrônica – Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá – CTIG/UNESP |
| 2012/2016 | Curso de Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Guaratinguetá |

ao meu pai e mãe, por sempre acreditarem em meu potencial pessoal e profissional, por se dedicarem tanto a mim, estando sempre me apoiando e dando todo o suporte necessário durante essa longa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por minha vida, saúde e paz de espírito, por me dar força para nunca desistir e sempre continuar em frente em busca do meu objetivo,

à minha mãe, *Vicentina Pires de Oliveira Santos*, meu pai, *José Carlos Marcondes dos Santos*, minhas irmãs *Ana Lúcia Santos Silva* e *Ana Carolina Santos Stachuck*, meu irmão *Carlos Alberto Marcondes dos Santos*, minha namorada *Marcela Tersi Pereira* e toda minha família, por seu apoio incondicional,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Rubens Alves Dias* pelo apoio, dedicação e aconselhamento ao longo deste ano de projeto e ensino, por ter acreditado em meu potencial,

aos meus amigos e companheiros de estudo, *César Vinícius Soares Guimarães*, *João Pedro de Oliveira Fernandes*, *André Bianchi Laraia* e *Robson Diego de Oliveira*, por estarem presentes ao longo de todos esses anos de graduação nos bons e maus momentos,

aos meus amigos de Colégio Técnico, que já estão a tantos anos ao meu lado sempre me apoiando em minhas decisões pessoais e profissionais,

aos funcionários do Campus de Guaratinguetá, em especial aos técnicos do departamento da elétrica pelo apoio e serviços prestados,

aos professores e doutores do Departamento de Engenharia Elétrica, pela paciência e ensinamentos passados a mim e meus colegas durante todo o período de graduação.

“Você pode encarar um erro como uma besteira a ser esquecida, ou como um resultado que aponta uma nova direção.”

Steve Jobs

SANTOS, C. A. M. **As novas diretrizes da NBR 5419:2015: Sua interpretação e aplicação quanto à análise de risco.** 2016. 70 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

RESUMO

A atual versão da NBR 5419 recebeu uma significativa atualização e foi consideravelmente aumentada em seu volume e conteúdo, tendo a norma IEC 62305 como referência nesta mudança. A verificação da necessidade de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas agora é realizada através de um cálculo probabilístico, levando em consideração os fatores de densidade de descargas atmosféricas na região a ser protegida, características e área de exposição equivalente da estrutura, suas zonas internas e externas e principalmente as medidas de proteção a serem adotadas no local. As medidas de proteção são os fatores principais da nova norma que tem como principal dispositivo para a diminuição do fator de risco da estrutura a introdução de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, dispositivos de proteção contra surtos, sistemas de contenção de incêndios e a alterações do tipo de malha blindada da estrutura, sendo necessário o recálculo de todos os fatores probabilísticos para medidas de proteção mais rígidas toda vez que o risco calculado para a estrutura não atender as especificações da norma. Este trabalho descreve o desenvolvimento de uma planilha aplicada ao prédio da biblioteca da UNESP de Guaratinguetá, visando tornar os cálculos das novas diretrizes da NBR 5419 mais explícitos e dinâmicos ao projetista, utilizando-se dos recursos oferecidos pela nova norma para se encontrar um fator de risco aceitável para a estrutura a ser protegida.

PALAVRAS-CHAVE: NBR 5419:2015. Autoavaliação de risco. Planilha de cálculos.

SANTOS, C. A. M. **The new guidelines of NBR 5419:2015: Interpretation and application regarding the risk analysis..** 2016. 70 p. Undergraduate Final Work (Graduate in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

ABSTRACT

The recent version of NBR 5419 received a significant update and was significantly increased in volume and content, based on IEC 62305 as a reference for this change. The verification of the need of a lightning protection system is now performed using a probabilistic calculation, considering the factor of lightning density in the region to be protected, features and equivalent area of the structure, their internal and external areas, and mainly the protective measures to be taken on the structure. The protective measures are the main factors of the new regulation with the main technique for the reduction of the structure risk factor being the introduction of a protection systems against lightning, surge protection devices, fire containment systems and changes of the armored mesh structure, requiring recalculation of all probabilistic factors for stricter protective measures every time the calculated risk for the structure does not meet the specifications of the regulation. This work describes the development of a spreadsheet applied to the library building of UNESP Guaratinguetá, in order to make the calculations of the new NBR 5419 guidelines more explicit and dynamic to the projectist, using the mechanisms offered by the new regulation to find the acceptable factor of risk to the structure be protected.

KEYWORDS: NBR 5419:2015. Automatic risk assessment. Spreadsheet of calculations.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 – Etapas da formação da descarga atmosférica nuvem-solo..... | 16 |
| Figura 3.1 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas devido ao ponto de impacto.. | 23 |
| Figura 3.2 – Procedimento para decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas e proteção | 28 |
| Figura 4.1 – Valores de entrada coletados da estrutura inseridos na planilha..... | 58 |
| Figura 4.2 – Valores de entrada coletados da linha de energia e sinal inseridos na planilha.. | 58 |
| Figura 4.3 – Valores econômicos e distribuição de pessoas nas zonas indicados na planilha. | 59 |
| Figura 4.4 – Fatores válidos para as área zonas 1, 2, 3 e 4 indicados na planilha..... | 59 |
| Figura 4.5 – Valores calculados para as probabilidades de risco na estrutura | 60 |
| Figura 4.6 – Valores calculados para o risco final da estrutura..... | 61 |
| Figura 4.7 – Valores de entrada coletados da estrutura inseridos na planilha..... | 62 |
| Figura 4.8 – Valores de entrada coletados da linha de energia e sinal inseridos na planilha.. | 62 |
| Figura 4.9 – Valores econômicos e distribuição de pessoas nas zonas indicados na planilha. | 63 |
| Figura 4.10 – Fatores válidos para as área zonas 1, 2, 3 e 4 indicados na planilha..... | 63 |
| Figura 4.11 – Valores calculados para as probabilidades de risco na estrutura..... | 64 |
| Figura 4.12 – Valores calculados para o risco final da estrutura..... | 65 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1 – Valores típicos de risco tolerável Rt..... | 26 |
| Tabela 4.1 – Valores de entrada coletados da estrutura..... | 44 |
| Tabela 4.2 – Valores de entrada coletados da linha de energia..... | 44 |
| Tabela 4.3 – Valores de entrada coletados da linha de sinal..... | 45 |
| Tabela 4.4 – Valores econômicos e distribuição de pessoas nas zonas..... | 45 |
| Tabela 4.5 – Fatores válidos para a área externa da biblioteca..... | 46 |
| Tabela 4.6 – Fatores válidos para a área dos livros e salas de estudos da biblioteca..... | 46 |
| Tabela 4.7 – Fatores válidos para o setor dos escritórios da biblioteca..... | 47 |
| Tabela 4.8 – Fatores válidos para a sala de leitura e cultura da biblioteca..... | 48 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 | OBJETIVOS..... | 13 |
| 1.2 | VISÃO GERAL DO TRABALHO | 14 |
| 2 | DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: O FENÔMENO, SUAS CONSEQUÊNCIAS E ELEMENTOS NORMATIVOS | 15 |
| 2.1 | DESCARGAS ATMOSFÉRICAS | 15 |
| 2.2 | DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO MUNDO | 17 |
| 2.3 | DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO BRASIL | 18 |
| 2.4 | A IMPORTÂNCIA DA IEC 62305 | 19 |
| 2.5 | A NOVA NBR 5419 (ABNT, 2015)..... | 20 |
| 3 | METODOLOGIAS | 22 |
| 3.1 | TERMOS FUNDAMENTAIS | 22 |
| 3.2 | RISCOS | 23 |
| 3.3 | COMPONENTES DE RISCO | 24 |
| 3.4 | COMPOSIÇÃO DOS COMPONENTES DE RISCO | 25 |
| 3.5 | GERENCIAMENTO DE RISCO..... | 25 |
| 3.6 | PROCEDIMENTO PARA DECISÃO DA NECESSIDADE DA PROTEÇÃO .. | 27 |
| 3.7 | ANÁLISE DOS COMPONENTES DE RISCO | 29 |
| 4 | ESTUDO DE CASO - BIBLIOTECA UNESP/GUARATINGUETÁ | 43 |
| 4.1 | MÉTODOS DE APLICAÇÃO..... | 43 |
| 4.2 | APLICAÇÃO DIRETA DAS EQUAÇÕES | 43 |
| 4.3 | APLICAÇÃO ATRAVÉS DE PLANILHA DE CÁLCULO | 57 |
| 4.4 | APLICAÇÃO DA SOLUÇÃO ATRAVÉS DE PLANILHA DE CÁLCULO..... | 61 |
| 5 | CONCLUSÕES | 66 |
| | REFERÊNCIAS | 67 |
| | APÊNDICE A – PLANILHA DA NBR:5419-2015 | 68 |

1 INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas podem trazer danos enormes e irreparáveis tanto para pessoas quanto para as estruturas. O Brasil é um dos países com maior incidência de descargas atmosféricas no mundo (cerca de cem milhões de raios por ano), a incidência dessas descargas no país mata em torno de cem pessoas por ano segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para se ter uma grandeza desses números, somente no verão pode ocorrer a incidência de cerca de quinze mil raios na cidade do Rio de Janeiro, sendo os estados do Amazonas, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais os mais atingidos por raios, nesta ordem.

Segundo o Grupo de Eletricidade Atmosférica - ELAT do INPE, o fenômeno das descargas atmosféricas causam prejuízos de US\$ 200 milhões ao Brasil, afetando as linhas de transmissão de energia, de telefonia, as indústrias, causando incêndios florestais e matando pessoas e animais.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) especifica as condições exigíveis ao projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), bem como na de pessoas e instalações no seu aspecto físico dentro do volume protegido pela norma NBR 5419, considerando sua atual versão de 2015.

A norma para os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas do ano de 2005 recebeu uma grande atualização em 2015, cujo o número de páginas passou de 42 para 309, aumentando significativamente seu volume e conteúdo que foram divididos em quatro partes. A parte um da norma refere-se aos princípios gerais dos sistemas de proteção. A parte dois diz respeito ao gerenciamento de risco. A parte três trata dos danos físicos a estruturas e perigos à vida e a parte quatro dos sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Essa mudança proporcionou um significativo aprimoramento da norma e sua capacidade de proteger uma estrutura, colocando diversos fatores como essenciais para os cálculos dos fatores de riscos e de proteção.

A análise de necessidade (antigo anexo B da norma de 2005), agora corresponde à parte dois e passou a se chamar de análise de risco. Na nova norma, os fatores de ponderação existentes anteriormente foram mantidos, mas outros fatores de risco para a edificação, os quais até então não eram analisados, passaram a ser observados. Na parte dois são definidos os níveis de proteção e quais medidas complementares deverão ser tomadas para garantir uma proteção eficiente para a edificação, pessoas e instalação.

Os métodos de proteção não tiveram grandes alterações e continuam sendo o método dos ângulos (Franklin), o modelo eletrogeométrico e método das malhas. As maiores mudanças ocorreram no método dos ângulos com o aumento significativo do alcance de pequenos captadores, particularmente até 2 metros. O método das malhas teve seus *meshs* (reticulados) reduzidos e o espaçamento das descidas e dos anéis horizontais foram alterados. O método eletrogeométrico permaneceu inalterado.

Em geral, a atual versão da NBR 5419 sofreu pequenas mudanças nos aspectos estruturais da proteção e aterramento, sendo algumas atualizações de materiais e modelos de proteção. A maior mudança é encontrada na maneira de se calcular o risco e de se proteger a estrutura requerida. A interatividade do projetista com a norma é intensa e o mesmo deve-se atentar a fatores desde as características físicas e local da estrutura até às probabilidades de risco do prédio.

As medidas de proteção e seus fatores, SPDA, dispositivos de proteção contra surtos, sistemas para conter incêndios e os tipos malhas blindada, são as variáveis mais importantes nos cálculos da análise de risco, sendo que, quando o risco da estrutura for maior do que o risco exigido pelas condições da norma, os fatores de segurança deverão ser aumentados na medida que necessário, controlados pelo projetista. Deste modo, as medidas de segurança da estrutura, tais como o nível de proteção dos para-raios, as classes dos dispositivos de proteção contra surtos, as formas para redução de incêndio e os tipos de malhas blindadas são definidas pela análise de risco da estrutura sob estudo e terão a maior contribuição para o risco final da estrutura, sendo por diversas vezes a solução dos problemas de proteção.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho propõe a construção e a caracterização de uma planilha voltada para o melhor entendimento e automatização do uso da NBR 5419 e suas novas diretrizes, bem como na estruturação dos novos conceitos de cálculo e recálculo oferecidos pela norma. O desenvolvimento deste projeto está baseado em cálculos para o prédio da Biblioteca da UNESP de Guaratinguetá, sendo verificada a necessidade de proteção contra descargas atmosféricas e quais tipos de proteção poderão ser aplicadas à estrutura, sempre com o foco em segurança e eficiência para as pessoas nela presentes.

1.2 VISÃO GERAL DO TRABALHO

No capítulo 2 são apresentados as noções básicas sobre descargas atmosféricas e como elas atingem o mundo e principalmente o Brasil. Neste capítulo também é abordada a importância da IEC 62305 e como ela colaborou para a elaboração da nova versão da NBR 5419.

Em relação ao capítulo 3, a estruturação da NBR 5419 é realizada dividindo-se em capítulos que visam o melhor entendimento das mudanças aplicadas na norma, indicando principalmente os procedimentos para tomada de decisão da necessidade de proteção e o gerenciamento e análise dos componentes de risco.

O estudo de caso envolvendo a Biblioteca da UNESP de Guaratinguetá é apresentado no capítulo 4, aplicando-se a nova versão da norma, primeiramente com cálculos utilizando-se as fórmulas diretamente e com os dados atuais e reais da estrutura, sem o auxílio de planilhas ou *softwares*. Em seguida são aplicados os mesmos valores de anteriormente na planilha desenvolvida durante este projeto para se verificar a sua eficácia. Através da mesma planilha foi realizado o recálculo dos fatores de risco, pois foi detectado que o prédio da biblioteca não está protegido totalmente de danos devido a descargas atmosféricas perante a nova norma.

Finalmente, o capítulo 5 expõe as conclusões sobre as novas diretrizes da NBR 5419, juntamente com a análise da planilha que automatiza os cálculos dos fatores de riscos, ressaltando a sua capacidade e facilidade de interação do projetista com o projeto de proteção contra descargas atmosféricas

2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: O FENÔMENO, SUAS CONSEQUÊNCIAS E ELEMENTOS NORMATIVOS

2.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

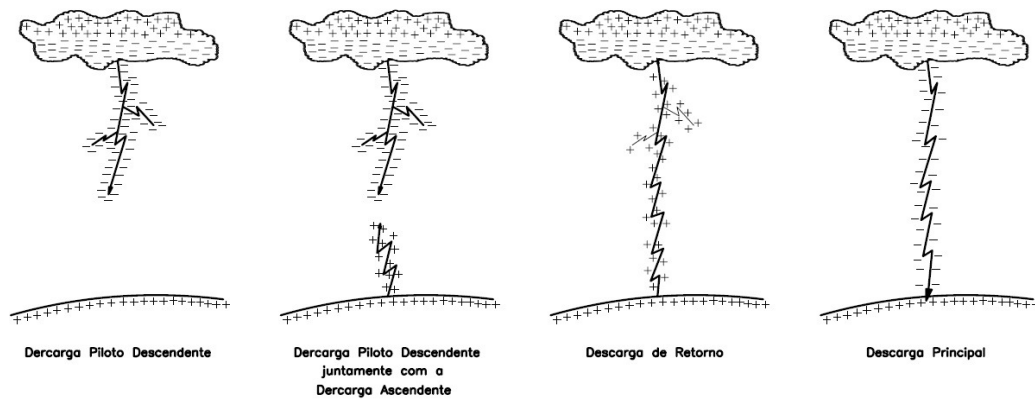
A eletrificação e concentração de cargas em diferentes porções de uma nuvem faz com que a mesma adquira uma característica de dipolo elétrico. Sendo assim, existem algumas teorias que tentam explicar como ocorre o processo de eletrificação da nuvem e entre as mais bem aceitas estão a teoria da precipitação e também a teoria da convecção. Ambas as teorias de eletrificação estabelecem que na grande maioria dos casos, cerca de 90% das vezes, a nuvem se carrega negativamente em sua porção inferior e positivamente em sua porção superior. Apesar dessa disposição de cargas na nuvem não ocorrer em 100% dos casos, ela é utilizada como base para a explicação do processo de surgimento das descargas atmosféricas (MAMEDE FILHO, 2013).

Segundo Kindermann (1997) a concentração de cargas negativas na porção inferior da nuvem provoca uma imensa migração de cargas positivas para a área correspondente à sua sombra na Terra. Essa nuvem, quando levada pelo vento, faz com que essas cargas positivas se desloquem na Terra, escalando pessoas, casas, prédios, torres, para-raios e morros, passando por diversas condições atmosféricas.

O aumento na diferença de potencial ou gradiente de tensão nuvem-terra pode chegar ao ponto de superar a rigidez dielétrica do ar, que é de aproximadamente 3MV/m. Quando isso ocorre, dá-se início a um fenômeno chamado de descarga piloto descendente, que nada mais é do que a migração das cargas negativas da nuvem para a Terra (MAMEDE FILHO, 2013).

Mamede Filho (2013) afirma que mantendo-se elevada essa diferença de potencial entre Terra e nuvem, a aproximação da descarga piloto descendente induz uma descarga ascendente. Essa descarga é o deslocamento das cargas positivas da Terra tentando encontrar a descarga piloto descendente. Quando as duas descargas se juntam, conectam o potencial da Terra ao da nuvem criando uma descarga de retorno que segue o caminho previamente ionizado desde a Terra até a nuvem, fazendo assim com que se origine a descarga principal, de grande intensidade, no sentido da nuvem para a Terra. A Figura 2.1 ilustra as etapas de formação da descarga atmosférica que foram descritas anteriormente.

Figura 2.1 - Etapas da formação da descarga atmosférica nuvem-solo.



Fonte: Mamede Filho, 2013.

Creder (2007) define a descarga atmosférica como um processo de transformação de energia eletrostática em energia eletromagnética, térmica e acústica. A origem das descargas atmosféricas é considerada como um rompimento da isolação do ar entre duas superfícies carregadas eletricamente e com polaridades opostas.

Cavalin e Cervelin (2013) complementam que o ar quente e úmido próximo do solo se eleva na atmosfera (por ser menos denso que o ar acima dele). Sendo assim, o deslocamento ascendente faz com que o mesmo se esfrie, até chegar ao topo da nuvem onde a temperatura é muito baixa, de 30 °C negativos. A partir desse momento o vapor d'água que estava misturado com o ar quente transforma-se em granizo, que em função do seu peso começa a precipitar-se para a base da nuvem. No deslocamento descendente ocorre o choque com outras partículas menores, principalmente com cristais de gelo. A colisão entre essas partículas (granizo e cristais de gelo) faz com que fiquem carregadas eletricamente.

Devido ao peso do granizo ser maior, ele fica com a carga negativa e desloca-se assim para a base da nuvem, enquanto os cristais de gelo ficam com carga positiva, por serem mais leves, deslocando-se para a parte superior da nuvem; as cargas dentro da nuvem se separam, positivas na parte superior e negativas na inferior. Em todos os casos, quando as cargas atingem valores extremamente elevados, ocorre o raio (CAVALIN CERVELIN, 2013).

Mamede Filho (2013) acrescenta que em função da concentração de cargas elétricas positivas e negativas numa determinada região faz com que ocorra o aumento da diferença de potencial entre a Terra e a nuvem. No entanto, o ar apresenta uma determinada rigidez dielétrica, normalmente elevada, que depende de certas condições ambientais. O aumento dessa diferença de potencial pode atingir um valor que supere a rigidez dielétrica do ar

interposto entre a nuvem e a terra, fazendo com que as cargas elétricas migrem na direção da Terra ou em sentido contrário, num trajeto tortuoso e normalmente cheio de ramificações.

Hoje se sabe que as descargas atmosféricas tendem a cair nos pontos mais altos do relevo, como árvores isoladas, antenas, chaminés, edificações elevadas, entre outras. Quando atingem as edificações, além de causar danos a sua estrutura, também podem oferecer grandes riscos às pessoas que possam estar no interior ou nos arredores das mesmas no momento da descarga elétrica (MAMEDE FILHO, 2013).

2.2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO MUNDO

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2014) nos últimos anos, as descargas elétricas mataram, em média, 1,7 pessoa por milhão de habitante na América Latina contra 0,1 por milhão de habitante nos países desenvolvidos. O número de mortes nos países provocadas por raios por milhão de habitantes colocados em ranking é: Cuba 5,9, Panamá 4,9, Peru 2,3, Colômbia 1,6, Uruguai 1,5, Paraguai 0,9, Bolívia 0,7, Brasil 0,7, Venezuela 0,5, Argentina 0,4 e Equador 0,3.

De acordo com o INPE e a Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica (NASA, sigla em inglês), a agência espacial norte-americana, as regiões mais atingidas por descargas elétricas atmosféricas em todo o mundo foram mapeadas. O estudo, realizado pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), do INPE, teve seus resultados publicados na edição de janeiro de 2013 da revista norte-americana *Geophysical Research Letters*; os pesquisadores analisaram dados obtidos pelo satélite *Optical Transient Detector* (OTD).

Lançado pela NASA em 1995, o satélite esteve em órbita até 2001, onde os resultados obtidos foram extremamente precisos, devido ao sensor à bordo do OTD que registrou pela primeira vez na história da NASA as descargas atmosféricas a qualquer hora do dia. Antes, o que existia eram dados das descargas ocorridas apenas à noite. O satélite da NASA, entretanto, não foi capaz de distinguir os diferentes tipos de descargas existentes no espaço, porque o aparelho media os raios que estavam dentro das nuvens e também aqueles que chegaram até o solo.

Segundo o ranking das regiões afetadas, as cidades situadas na África Central são as mais atingidas em todo o mundo, sendo a primeira delas Kamembe, em Ruanda, seguido pelos municípios de Boende e Lusambo, no Congo. A Argentina lidera o ranking da América do Sul, com a cidade de Posadas, que tem 17 raios por km² por ano. Para se dimensionar, no

Brasil, o município recordista é Campo Grande, capital do Mato Grosso do Sul, com 13 raios por km² anuais. Campo Grande é a quarta cidade sul-americana e ocupa a posição de número 20 no ranking mundial.

Apesar dos municípios brasileiros não aparecerem na tabela com altos índices de incidência de raios por cidade, o Brasil pode ser considerado o campeão mundial se for considerado o número total de raios que atingem o país. As regiões tropicais são as áreas de maior incidência de raios. O mapa do mundo tem o Brasil como o maior país da região tropical que recebe estes raios. Apesar das áreas de maior ocorrência de raios por km² serem os pequenos países da África central, a grande extensão territorial do Brasil acaba fazendo com que mais raios incidam aqui do que na região africana.

2.3 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO BRASIL

Segundo o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 57,8 milhões de raios são registrados por ano no Brasil, onde a maior incidência ocorre no Norte e no Centro-Oeste, considerando a densidade de raios por km², ou seja, proporcionalmente ao território, os estados do Sul ficam na frente. Dados que fazem do Brasil o país mais atingidos por raios no mundo.

O ELAT realizou um levantamento das mortes por raios que ocorreram de 2000 a 2014 no Brasil e detectou que as mortes por raios estão diminuindo no Brasil nos últimos 15 anos, graças à diminuição dos acidentes no Sudeste. Ainda, segundo este levantamento, a média é de cento e onze mortes por ano no Brasil sendo que São Paulo lidera o número de vítimas fatais, com média de vinte e seis mortes registradas por ano. Em seguida, estão Manaus (AM) com vinte e duas mortes; onze em Campo Grande (MS); dez em São Luís (MA) e nove em Porto Velho (RO). O Rio de Janeiro (RJ), Brasília (DF) e São Gabriel da Cachoeira (AM) tem oito mortes por raios cada um. As principais circunstâncias de morte permanecem as mesmas de outros anos: 27% das vítimas estavam em atividades agropecuárias quando foram atingidas pelos raios e 20% estavam dentro de casa. Entre todas as vítimas, 56% viviam na zona rural (INPE, 2014).

Apesar de os raios serem fenômenos naturais o número de perdas de vida e prejuízos materiais devem ser reduzidos a zero com o passar dos anos. De acordo com dados da AES Eletropaulo (Eletricidade de São Paulo), concessionária de energia elétrica na região metropolitana da cidade de São Paulo, em um ano ocorrem cerca de 900 casos de falhas ou

interrupções da rede elétrica causadas pelos raios na Grande São Paulo. Para se quantificar o tamanho do prejuízo, se um grande *blackout* atingisse toda a região da Grande São Paulo por uma hora implicaria uma perda de 30 milhões de dólares.

2.4 A IMPORTÂNCIA DA IEC 62305

A IEC, *International Electrotechnical Commission* (Comissão Eletrotécnica Internacional), é a organização mundial líder que prepara e publica Normas Internacionais para toda elétrica, eletrônica e tecnologias relacionadas, sendo a IEC 62305 de 2010, que se refere à sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, foi publicada com esta numeração pela primeira vez em 2006 e possuindo uma divisão de quatro partes.

Em 2010, foi publicada uma segunda edição, que é a versão em que o COBEI (Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações) se baseou para a elaboração da nova norma brasileira NBR 5419 (ABNT, 2015). Até então, o documento internacional que pautava os procedimentos de proteção recebia a denominação de IEC 61024, com as divisões em apenas duas partes genéricas, A e B.

Com a nova versão, a IEC agrupou assuntos de várias outras normas, o que permitiu organizar as regras para Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) de um modo mais global. Esta formatação em quatro partes é mais efetiva, pois além de separar os assuntos de forma que possam ser melhor abordados, facilita a revisão, que poderá, no futuro, ser feita em épocas distintas. A nova NBR 5419 (ABNT, 2015) segue o mesmo modelo da norma internacional, com divisão em quatro partes, aumentando seu conteúdo de 42 para mais 300 páginas.

Segundo o engenheiro eletricista e diretor técnico da Termotécnica Proteção Atmosférica, Normando Alves, que participou do desenvolvimento do novo documento normativo do país, o mercado brasileiro não estava preparado tecnicamente para receber uma norma tão complexa como a IEC 62305 no passado (AGÊNCIA FAPESP, 2003).

Os motivos para a mudança da NBR 5419 e a razão de trilhar os mesmos passos da norma internacional, se deve à recomendação da ABNT de que, sempre que possível, as NBRs tenham textos fiéis ao conteúdo e à forma dos textos normativos da IEC. O outro motivo para esta revisão em um período curto de tempo, já que a última revisão aconteceu em 2005, é de que todas as normas devem apresentar um prazo de aproximadamente cinco

anos para serem revisadas, a fim de que incorporem as novas tecnologias que aparecem com o fruto das pesquisas científicas.

Nos mesmos moldes que a IEC 62305-1 a 4: 2010 – *Lightning Protection*, a NBR 5419 é dividida em quatro partes, sendo elas denominadas da seguinte forma: parte 1: Princípios Gerais; parte 2: Gerenciamento de Risco; parte 3: Danos Físicos às Estruturas e Perigo à Vida; e parte 4: Sistemas Elétrico e Eletrônicos Internos na Estrutura. Formando no total 31 capítulos e 21 anexos.

A despeito de se basear na IEC 62305-1 a 4: 2010, a nova versão da norma brasileira para proteção contra descargas atmosféricas apresenta algumas mudanças em relação ao documento internacional. A nova norma leva em consideração a realidade brasileira, sendo assim alguns itens foram tropicalizados, ou seja, ambientalizados para o clima brasileiro. Exemplos são as partes de análise de riscos que inclui um anexo inteiro com o mapa do Brasil e de cada região do país, apresentando o número de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado e por ano.

Outro quesito que foi adaptado pela norma brasileira diz respeito à espessura do cabo de cobre dos captadores e dos condutores de descida. A norma de 2005 estipulava a medida de 35 mm para os captadores e 16 mm para os condutores de descida. Segundo Hélio Sueta, um dos responsáveis pela revisão da nova norma, a IEC mudou esta numeração e estipulou a medida de 50 mm para ambos os cabos. Foi feito um estudo e observado que não é necessário seguir a IEC neste caso, portando a nova norma tem estabelecido o valor de 35 mm para os dois cabos (AGÊNCIA FAPESP, 2015).

A adaptação da norma IEC 62305 para o Brasil passou também pelo detalhamento das funções que envolvem a implementação de ações de proteção contra descargas atmosféricas. Internacionalmente, cada profissional faz uma parte do trabalho do sistema de proteção, e a norma IEC acaba acompanhando este processo dividindo e deixando claras as incumbências de cada um. Já na nova norma brasileira, não há divisão tão rígida, segundo Sueta. Sendo assim, é comum um mesmo profissional desempenhar várias tarefas. Neste sentido, a revisão atual da NBR 5419 respeita esta característica nacional e excluiu o detalhamento presente na norma IEC (AGÊNCIA FAPESP, 2015).

2.5 A NOVA NBR 5419 (ABNT, 2015)

Com a nova edição da norma de para-raios, NBR 5419 (ABNT, 2015) a eficiência dos Sistemas de Proteção foi substancialmente aumentada, tendo a norma IEC 62305 como

referência. A verificação da necessidade de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas se dá por um cálculo probabilístico descrito pela própria norma. Este cálculo leva em consideração fatores como: densidade de descargas atmosféricas na região que a norma é aplicada, área de exposição equivalente da edificação e de suas zonas internas, características do imóvel, medidas de segurança (uso de extintores, alarmes, sistemas anti-incêndio).

A NBR 5419 (ABNT, 2015) nos descreve a análise de risco, na qual mais de 70 parâmetros são definidos para garantir uma proteção mais eficiente e rigorosa para as pessoas, instalações e edificações. Com a atualização da norma, o projetista deve efetuar cálculos e considerações sobre a estrutura em questão e também sobre as estruturas vizinhas, linhas de energia e telecomunicações ligadas a ela. O nível de proteção deixa de ser um dado de saída para ser um parâmetro de entrada na avaliação dos valores de risco toleráveis. Essa é uma das grandes mudanças da antiga norma para a atual, que já causa impacto no início do projeto.

Na antiga norma de 2005 calculava-se a densidade de descargas atmosféricas para terra, através de um mapa de isocerâunico já pronto e se aplicava a uma área de exposição equivalente, e aos fatores de ponderação. Agora, a densidade atmosférica para terra é obtida de forma mais precisa e atualizada através de mapas fornecidos pelo INPE, na área de exposição equivalente, considerando mais parâmetros por meio de uma nova fórmula de cálculo. Outro fator importante inserido na nova NBR 5419 é o conceito de divisão por zonas de proteção contra os raios.

A NBR 5419 de 2015 tem-se quatro tipos de perdas que devem ser consideradas: perda de vidas humanas, perda de instalação de serviço ao público, perda de memória cultural e perda de valor econômico, na qual se calculam vários componentes de risco, que deverão ser comparadas aos valores típicos de risco tolerável, para se avaliar se as medidas de proteção adotadas atendem as exigências.

Se o risco é menor ou igual ao risco tolerável, a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária. Se o risco é maior que o risco tolerável, é preciso adotar medidas de proteção para se reduzir o risco em todos os riscos que envolvam a estrutura.

Outro fator importante do projeto de SPDA que está disposto na nova norma, voltado à proteção de equipamentos eletroeletrônicos é a utilização de dispositivos de proteção contra surtos (DPS), arranjos de aterramento e equipotencialização, blindagem eletromagnética e roteamento dos circuitos elétricos, entre outros. Importante ressaltar que na norma antiga não havia um texto correspondente, com essa abrangência e nível de detalhamento.

3 METODOLOGIAS

Nesta seção são apresentados os requisitos para análise de risco de uma estrutura devido às descargas atmosféricas para a terra. A nova NBR 5419 (ABNT, 2015) tem o propósito de fornecer um procedimento para a avaliação de tais riscos, uma vez que o limite superior tolerável para o risco foi escolhido, este procedimento permite a escolha das medidas de proteção apropriadas a serem adotadas para reduzir o risco ao limite ou abaixo do limite tolerável.

3.1 TERMOS FUNDAMENTAIS

A corrente da descarga atmosférica é a principal fonte de dano às estruturas e equipamentos, sendo elas distintas pelo ponto de impacto:

- a) S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- b) S2: descargas atmosféricas perto da estrutura;
- c) S3: descargas atmosféricas na linha;
- d) S4: descargas atmosféricas perto da linha.

A descarga atmosférica pode causar danos dependendo das características da estrutura a ser protegida, algumas das características importantes são: tipo de construção, conteúdos e aplicações, tipos de serviço e medidas de proteção existentes.

As aplicações práticas da análise de risco são usualmente distinguidas entre três tipos básicos de danos os quais aparecem como consequência das descargas atmosféricas. São os seguintes:

- a) D1: ferimentos aos seres vivos por choques elétricos;
- b) D2: danos físicos;
- c) D3: falhas de sistemas eletroeletrônicos.

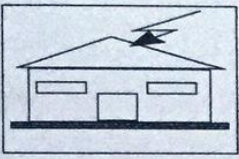
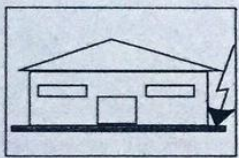
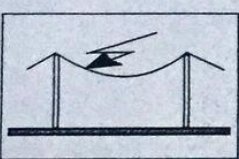
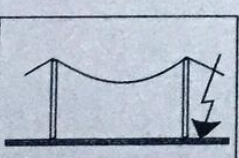
Os danos a uma estrutura devido às descargas atmosféricas podem ser limitados a uma parte da estrutura ou pode se estender a estrutura inteira, podendo envolver também as estruturas ao redor ou o meio ambiente.

Cada tipo de dano, sozinho ou em combinação com outros, pode produzir diferentes perdas consequentes em uma estrutura a ser protegida. O tipo de perda pode acontecer dependendo das características da própria estrutura e do seu conteúdo. Os seguintes tipos de perdas devem ser levados em consideração:

- a) L1: perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) L2: perda de serviço ao público;
- c) L3: perda de patrimônio cultural;
- d) L4: perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo e perdas de atividades).

A Figura 3.1 fornecida pela NBR 5419 (ABNT, 2015) indica a relação entre o ponto de impacto da descarga atmosférica com os respectivos tipos de danos e perdas.

Figura 3.1 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas devido ao ponto de impacto.

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

Fonte: ABNT (2015).

3.2 RISCOS

O risco é um valor relativo a uma provável perda anual média, sendo que cada tipo de perda que pode aparecer na estrutura, o risco resultante deve ser avaliado como o seguinte:

- a) R1: risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) R2: risco de perda de serviço ao público;
- c) R3: risco de perda de patrimônio cultural;

d) R4: risco de perda de valores econômicos.

Para se avaliar os riscos as relevantes componentes de risco (riscos parciais dependem da fonte e do tipo de dano) devem ser definidos e calculados, sendo esses fatores de risco essenciais para o diagnóstico final do projeto onde se conclui se deve ou não haver a instalação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

3.3 COMPONENTES DE RISCO

O risco por si só é a soma das suas componentes de risco, portando ao calcular um risco, suas componentes podem ser agrupadas de acordo com as fontes de danos e os tipos de danos.

As componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura recebem a denominação de R_a , R_b e R_c . Sendo, R_a a componente relativa a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até três metros ao redor dos condutores de descidas. R_b é a componente relativa a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente. R_c é a componente relativa a falhas de sistemas internos causados por um pulso eletromagnético de descarga atmosférica.

Seguindo o mesmo raciocínio as componentes de riscos para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura são denominadas de R_m , que é a componente relativa a falhas de sistemas internos causados por um pulso eletromagnético de descarga atmosférica.

As componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura recebem os termos R_u , R_v e R_w . R_u é a componente relativa a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. R_v é a componente relativa a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas. R_w é a componente relativa a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta.

A componente de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura é representada pelo termo R_z , que é a componente relativa a

falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta.

3.4 COMPOSIÇÃO DOS COMPONENTES DE RISCO

Os componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda na estrutura são listados como:

a) R1: Risco de perda de vida humana, calculada pela equação (3.1):

$$R1 = Ra + Rb + Rc + Rm + Ru + Rv + Rw + Rz \quad (3.1)$$

Sendo: Rc, Rm, Rw e Rz utilizados somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa por em perigo a vida humana.

b) R2: Risco de perdas de serviço ao público, obtida através da equação (3.2):

$$R2 = Rb + Rc + Rm + Rv + Rw + Rz \quad (3.2)$$

c) R3: Risco de perdas de patrimônio cultural, calculada pela equação (3.3):

$$R3 = Rb + Rv \quad (3.3)$$

d) R4: Risco de perdas de valor econômico, obtida pela equação (3.4):

$$R4 = Ra + Rb + Rc + Rm + Ru + Rv + Rw + Rz \quad (3.4)$$

Sendo: Ra e Ru utilizados somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

3.5 GERENCIAMENTO DE RISCO

O procedimento para a proteção de uma estrutura contra descargas atmosféricas passa por uma série de etapas onde pode ser dividida em identificação e avaliação. A etapa de

identificação compreende: a identificação da estrutura a ser protegida e suas devidas características e a identificação de todos os tipos de perdas na estrutura e os correspondentes riscos relevantes R. A etapa de avaliação passa a ser a mais complexa e compreende a avaliação de risco para cada tipo de perda, avaliação da necessidade de proteção, por meio da comparação dos riscos com os riscos toleráveis e a avaliação da eficiência do custo da proteção pela comparação do custo total das perdas com ou sem as medidas de proteção.

A estrutura a ser considerada para análise de risco inclui a própria estrutura, as instalações na estrutura, o conteúdo da estrutura, as pessoas na estrutura ou nas zonas até três metros para fora da estrutura e o meio ambiente afetado por danos na estrutura. Para avaliar cada componente de risco, a estrutura pode ser dividida em zonas Z, cada uma com características homogêneas. Entretanto, a estrutura pode ser, ou pode assumir ser, uma zona única. As divisões de zona devem ser arbitradas pelo responsável pelo projeto considerando tipo de solo ou piso, compartimentos à prova de fogo, blindagem especial, leiaute dos sistemas internos, medidas de proteção existentes ou a serem instaladas e valores de perdas.

É de responsabilidade da autoridade que tenha jurisdição identificar o valor do risco tolerável. Valores representativos de risco tolerável R_t , onde as descargas atmosféricas envolvem perdas de vida humana ou perda de valores sociais ou culturais, são fornecidos assim pela norma NBR 5419 (ABNT, 2015), indicado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Valores típicos de risco tolerável R_t .

| Valores típicos de risco tolerável R_t | | |
|--|------------------------------|-----------|
| | Tipos de perda | R_t |
| L1 | Perda de vida humana | 10^{-5} |
| L2 | Perda de serviço ao público | 10^{-3} |
| L3 | Perda de patrimônio cultural | 10^{-4} |

Fonte: ABNT (2015).

O procedimento específico para avaliar a necessidade de proteção de acordo com ABNT NBR 5419-1, os riscos R1, R2 e R3 devem ser considerados na avaliação da necessidade de proteção contra as descargas atmosféricas.

Para cada tipo de risco a ser considerado, os passos a serem tomados devem ser a identificação dos componentes de risco que o compõe, cálculo dos componentes de risco identificados, cálculo do risco total, identificação dos riscos toleráveis, comparação do risco calculado com o valor do risco tolerável. Sendo se o risco calculado pelo projetista na

estrutura for menor ou igual ao risco tolerável, a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária, caso contrário se o risco calculado for maior do que o risco tolerável, as medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir na estrutura todos os riscos aos quais ela está sujeita.

3.6 PROCEDIMENTO PARA DECISÃO DA NECESSIDADE DA PROTEÇÃO

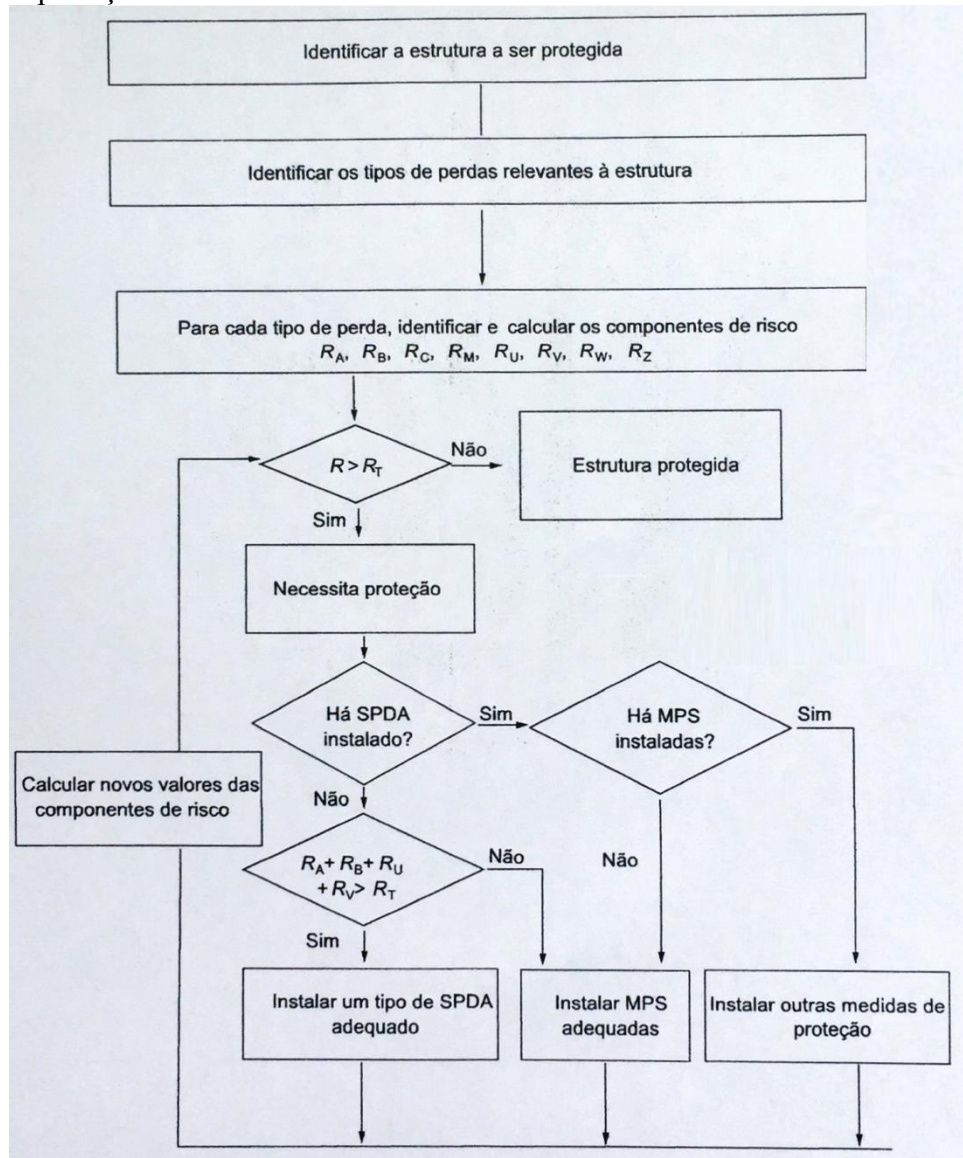
O procedimento para avaliar a necessidade de proteção é descrito na norma através de um fluxograma exibido na Figura 3.2. No caso em que o risco não possa ser reduzido a um nível tolerável, o proprietário deve ser informado e o mais alto nível de proteção deve ser providenciado para a instalação.

Onde a proteção contra descargas atmosféricas é exigida pela autoridade que tenha jurisdição para estruturas com risco de explosão, pelo menos um SPDA classe II deve ser adotado. Exceções ao uso de proteção contra descargas atmosféricas nível II podem ser permitidas quando tecnicamente justificadas e autorizadas pela autoridade que tenha jurisdição. Por exemplo, o uso de uma proteção contra descargas atmosféricas nível I é permitida em todos os casos, especialmente nos casos em que o meio ambiente ou o conteúdo dentro da estrutura são excepcionalmente sensíveis aos efeitos das descargas atmosféricas. Em complemento, as autoridades que tenham jurisdição podem permitir SPDA nível III onde houver uma baixa frequência de atividade atmosférica e/ou a baixa sensibilidade dos conteúdos da estrutura garanta isto.

Onde o dano à estrutura devido à descarga atmosférica possa também envolver as estruturas ao redor ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas), medidas de proteção adicionais para a estrutura e medidas apropriadas para estas zonas podem ser exigidas pelas autoridades que tenham jurisdição.

Para a decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção deve-se seguir o fluxograma da Figura 3.2. Primeiramente, a estrutura a ser protegida e os tipos de perdas relevantes à esta estrutura devem ser identificados, para cada tipo de perda é essencial identificar e calcular os componentes de risco. O risco calculado deve ser comparado com o valor do risco tolerável descrito na norma, se o risco na estrutura for maior que o risco tolerável é necessário proteção, caso contrário, o diagnóstico é de que a estrutura está protegida.

Figura 3.2 – Procedimento para decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção.



Fonte: ABNT (2015).

Para a necessidade de proteção deverá ser verificado se há ou não um sistema de proteção contra descargas atmosféricas na estrutura. Quando já houver, é preciso verificar se há uma medida de proteção contra surtos instalado, como por exemplo um dispositivo de proteção contra surtos (DPS), se já houver, deve ser instalado outra medida de proteção no sistema ou aumentar seu nível. No caso de negativas para essas perguntas o procedimento é instalar o sistema de proteção (SPDA) em seguida de uma medida de proteção contra surtos caso ainda o risco da estrutura for maior que o risco tolerável.

3.7 ANÁLISE DOS COMPONENTES DE RISCO

As componentes de risco Ra, Rb, Rc, Rm, Ru, Rv, Rw e Rz devem seguir uma equação geral que deve ser expressa como mostrado na equação (3.5).

$$R_x = N_x \times P_x \times L_x \quad (3.5)$$

Sendo:

N_x é o número de eventos perigosos por ano;

P_x é a probabilidade de dano à estrutura;

L_x é a perda consequente.

A análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura, as equações (3.6), (3.7) e (3.8) são aplicáveis.

$$R_a = N_d \times P_a \times L_a \quad (3.6)$$

$$R_b = N_d \times P_b \times L_b \quad (3.7)$$

$$R_c = N_d \times P_c \times L_c \quad (3.8)$$

Para avaliar estes componentes de risco são dados na Tabela 5 da NBR 5419-2 (ABNT, 2015) os parâmetros relevantes para avaliação de cada componente.

A análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura deve-se aplicar a equação (3.9).

$$R_m = N_m \times P_m \times L_m \quad (3.9)$$

Os parâmetros para avaliar estes componentes de risco são dados na Tabela 5 da NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Para a avaliação dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura e as adjacentes as equações (3.10), (3.11) e (3.12) são aplicáveis.

$$R_u = (N_l + N_dj) \times P_u \times L_u \quad (3.10)$$

$$R_v = (N_l + N_{dj}) \times P_v \times L_v \quad (3.11)$$

$$R_w = (N_l + N_{dj}) \times P_w \times L_w \quad (3.12)$$

NOTA 1: Em muitos casos, N_{dj} pode ser desprezado.

Para avaliar estes componentes de risco são dados na Tabela 5 da NBR 5419-2 (ABNT, 2015) os parâmetros relevantes para avaliação de cada componente.

A avaliação dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura, a equação (3.13) é aplicável.

$$R_z = N_l \times P_z \times L_z \quad (3.13)$$

Os parâmetros para avaliar estes componentes de risco são dados na Tabela 5 da NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Os componentes R_c e R_m , se mais de um sistema interno é envolvido em uma zona, valores de P_c e P_m devem ser seguidos pela equação (3.14) e (3.15) respectivamente.

$$P_c = 1 - (1 - P_{ci}) \times (1 - P_{ci}) \times (1 - P_{ci}) \quad (3.14)$$

$$P_m = 1 - (1 - P_{mi}) \times (1 - P_{mi}) \times (1 - P_{mi}) \quad (3.15)$$

Onde P_{ci} e P_{mi} são parâmetros relevantes ao sistema interno, mais comumente sendo as linhas de transmissão de energia e de telecomunicações, $i=1, 2, 3, \dots$. Seja a exceção feita para P_c e P_m , se mais de um valor de qualquer outro parâmetro existir em uma zona, o valor do parâmetro que levar ao mais alto valor de risco deve ser assumido.

No Brasil, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), por meio do Grupo de Eletricidade Atmosférica, disponibilizou os dados de números de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas na região da estrutura a ser protegida. O dado fornecido pelo INPE é chamado de densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_g), que é o número de descargas atmosféricas por km^2 por ano no local requerido. Se o mapa N_g não estiver disponível, pode ser estimado pela equação (3.16).

$$N_g = 0,1 \times T_d \quad (3.16)$$

Sendo:

T_d é o número de dias de tempestades por ano, o qual pode ser obtido dos mapas isocerânicos.

A determinação da área de exposição equivalente (A_d) para uma estrutura retangular isolada com comprimento L , largura W e altura H , expresso em metros, em um solo plano é dada pela equação (3.17).

$$A_d = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad (3.17)$$

Se a estrutura tiver uma forma complexa, como saliências elevadas na cobertura um valor aproximado aceitável para a área de exposição equivalente é o maior valor entre a área de exposição equivalente $A_{d\text{mín}}$ avaliada pela equação (3.17), tomando a altura mínima $H_{\text{mín}}$ da estrutura e a área de exposição equivalente atribuída à saliência elevada (H_p , altura da saliência) na cobertura $A_{d'}$, que pode ser calculado pela equação (3.18).

$$A_{d'} = \pi \times (3 \times H_p)^2 \quad (3.18)$$

A localização relativa da estrutura, compensada pelas estruturas ao redor ou uma localização exposta, deve ser levada em consideração pelo fator de localização C_d , cujo os valores aplicáveis são indicados na Tabela A.1 da NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

O número de eventos perigosos (N_d) para a estrutura pode ser avaliado pela equação (3.19).

$$N_d = N_g \times A_d \times C_d \times 10^{-6} \quad (3.19)$$

Sendo:

N_g é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_d é a área de exposição equivalente da estrutura, expressa em metro quadrado (m^2);

C_d é o fator de localização da estrutura tabelado pela NBR 5419, Tabela A.1.

O número de eventos perigosos, N_{dj} , para uma estrutura adjacente pode ser avaliado pelo produto na equação (3.20).

$$N_{dj} = N_g \times A_{dj} \times C_{dj} \times C_t \times 10^{-6} \quad (3.20)$$

Sendo:

Adj é a área de exposição equivalente da estrutura adjacente, expressa em metro quadrado (m²);

Cdj é o fator de localização da estrutura adjacente tabelado pela NBR 5419, Tabela A.1;

Ct é o fator de linha tabelado pela NBR 5419, Tabela A.3.

Para a avaliação do número médio anual de eventos perigosos, Nm, devido a descargas atmosféricas perto da estrutura a equação (3.21) é aplicável. A área de exposição equivalente Am que se estende a uma linha localizada a uma distância de quinhentos metros do perímetro da estrutura e é expressa através da equação (3.22).

$$Nm = Ng \times Am \times 10^{-6} \quad (3.21)$$

$$Am = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \quad (3.22)$$

Sendo:

Am é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura, expressa em metro quadrado (m²).

A avaliação do número médio anual de eventos perigosos, NL, devido às descargas atmosféricas na linha é avaliado pela equação (3.23), sendo a área de exposição equivalente para a linha dada pela equação (3.24).

$$NL = Ng \times AL \times Cl \times Ce \times Ct \times 10^{-6} \quad (3.23)$$

$$AL = 40 \times Ll \quad (3.24)$$

Sendo:

NL é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1kV (1/ano) na seção da linha;

AL é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em metro quadrado (m²);

Cl é o fator de instalação da linha tabelado pela NBR 5419, Tabela A.2;

Ct é o fator tipo de linha tabelado pela NBR 5419, Tabela A.3;

Ce é o fator ambiental tabelado pela NBR 5419, Tabela A.4;

Ll é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m).

Para a avaliação do número médio anual de eventos perigosos NI devido às descargas atmosféricas perto da linha pode ser avaliado pela equação (3.25), sendo a área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto da linha dada pela equação (3.26).

$$NI = Ng \times Al \times Cl \times Ce \times Ct \times 10^{-6} \quad (3.25)$$

$$Al = 4000 \times Ll \quad (3.26)$$

Sendo:

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

Al é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra perto da linha, expressa em metro quadrado (m²);

Cl é o fator de instalação tabelado pela NBR 5419, Tabela A.2;

Ct é o fator tipo de linha tabelado pela NBR 5419, Tabela A.3;

Ce é o fator ambiental tabelado pela NBR 5419, Tabela A.4;

Ll é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m).

A probabilidade, Pa, de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico devido à tensão de toque e passo dependem do sistema de proteção adotado e das medidas de proteção adicionais adotadas, sendo a equação (3.27) aplicável.

$$Pa = Pta \times Pb \quad (3.27)$$

Sendo:

Pta depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo como as listadas na Tabela B.1 da NBR 5419;

Pb depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o sistema de proteção contra descargas atmosféricas de acordo com a NBR 5419-3 foi projetado. Valores de Pb são obtidos na Tabela B.2.

NOTA 1: Medidas de proteção são efetivas na redução de Pa somente para estruturas protegidas por um SPDA ou estruturas metálicas contínuas ou com estrutura de concreto

armado atuando como um SPDA natural, nos quais os requisitos de interligação e aterramento conforme a NBR 5419-3 estiverem satisfeitos.

A probabilidade P_c de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos respeita a equação (3.28), sendo um sistema coordenado de proteção contra surtos (DPS) adequado como uma medida de proteção para se reduzir P_c . Deve-se atentar para a existência da ambiguidade do fator P_c , cujo os resultados da equação (3.28) devem ser inseridos na equação (3.14) como sendo o valor P_{ci} , respeitando os respectivos índices i (SUETA, 2016).

$$P_c = P_{spd} \times C_{ld} \quad (3.28)$$

Sendo:

P_{spd} depende do sistema coordenado de DPS conforme a NBR 5419-4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Os valores de P_{spd} são fornecidos na Tabela B.3;

C_{ld} é um fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado. Os valores de C_{ld} são fornecidos na Tabela B.4 da NBR 5419.

A probabilidade P_m de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos depende das medidas de proteção contra surtos (MPS) adotadas. Quando um sistema coordenado de DPS conforme os requisitos da NBR 5419-4 não for instalado, o valor de P_m deve ser igual ao valor de P_{ms} . Quando um sistema coordenado de DPS conforme os requisitos da NBR 5419-4 estiver instalado, o valor de P_m deve ser dado conforme a equação (3.29). O mesmo cuidado feito com os valores de P_c devem ser tomados para os valores de P_m , cujo os resultados da equação (3.29) devem ser inseridos na equação (3.15) como sendo os valores de P_{mi} , respeitando os respectivos índices i (SUETA,2016).

$$P_m = P_{spd} \times P_{ms} \quad (3.29)$$

Para sistemas internos com equipamentos não conformes com a suportabilidade de tensão dados nas normas específicas de produto, $P_m = 1$ deve ser assumido. Os valores de P_{ms} são obtidos pela equação (3.30).

$$P_{ms} = (K_{s1} \times K_{s2} \times K_{s3} \times K_{s4})^2 \quad (3.30)$$

Sendo:

K_{s1} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface;

K_{s2} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface;

K_{s3} leva em consideração as características da fiação interna, conforme descrito na Tabela B.5 da NBR 5419;

K_{s4} leva em consideração a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido.

Quando o equipamento provido com interfaces isolantes consistindo em transformadores de isolamento com grade aterrada entre enrolamentos, ou cabos de fibra óptica ou acoplamento óptico for utilizado, $P_{ms} = 0$ deve ser assumido. Em uma distância de segurança do limite da malha no mínimo igual à largura da malha w_m , fatores K_{s1} e K_{s2} para SPDA ou blindagem tipo malha espacial podem ser avaliados como seguem as equações (3.31) e (3.32).

$$K_{s1} = 0,12 \times w_{m1} \quad (3.31)$$

$$K_{s2} = 0,12 \times w_{m2} \quad (3.32)$$

Sendo:

w_{m1} e w_{m2} são as larguras em metros da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA tipo malha ou espaçamento entre as colunas metálicas da estrutura, ou o espaçamento entre as estruturas de concreto armado atuando como um SPDA natural. Para blindagens metálicas contínuas com espessura não inferior a 0,1mm, $K_{s1} = K_{s2} = 10^{-4}$.

NOTA 1: Onde uma rede de equipotencialização tipo malha for utilizada de acordo com a NBR 5419-4, valores de K_{s1} e K_{s2} podem ser repartidos ao meio.

NOTA 2: Os valores máximos de K_{s1} e K_{s2} são limitados a 1.

O fator K_{s4} é avaliado como indica a equação (3.33), se existirem equipamentos com níveis diferentes de tensão suportável a impulso em um sistema interno, o fator K_{s4} correspondente ao menor nível de tensão suportável de impulso deve ser escolhido.

$$K_{s4} = 1/U_w \quad (3.33)$$

Sendo:

U_w é a tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido, expressa em quilovolts (kV).

A probabilidade, P_u , de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico devido à tensão de toque é dado pela equação (3.34).

$$P_u = P_{tu} \times P_{eb} \times P_{ld} \times C_{ld} \quad (3.34)$$

Sendo:

P_{tu} depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta. Os valores de P_{tu} são dados na Tabela B.6 da NBR 5419;

P_{eb} depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme a NBR 5419-3 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi projetado. Os valores de P_{eb} são dados na Tabela B.7 da norma;

P_{ld} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica na linha conectada dependendo das características da linha. Os valores de P_{ld} são dados na Tabela B.8 da NBR 5419;

C_{ld} é um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolação da linha. Os valores de C_{ld} são dados na Tabela B.4 da NBR 5419.

NOTA 1: Um sistema coordenado de DPS de acordo com a NBR 5419-4 não é necessário para reduzir P_u ; neste caso, DPS de acordo com a NBR 5419-3 são suficientes.

NOTA 2: Quando DPS de acordo com a NBR 5419-3 são instalados para ligação equipotencial na entrada da linha, aterramento e interligação de acordo com a NBR 5419-4 podem aumentar a proteção.

A probabilidade, P_v , de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha e das interfaces isolantes ou dos DPS instalados para as ligações equipotenciais na entrada da linha de acordo com a NBR 5419-3. A equação (3.35) é aplicável para P_v .

$$P_v = P_{eb} \times P_{ld} \times C_{ld} \quad (3.35)$$

Os valores da probabilidade, P_w , de uma descarga atmosférica em uma linha que adentra a estrutura causar uma falha dos sistemas internos dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha e das interfaces isolantes ou do sistema coordenado de DPS instalado, sendo a equação (3.36) aplicável.

$$P_w = P_{spd} \times P_{ld} \times C_{ld} \quad (3.36)$$

Os valores de probabilidade, P_z , de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha de sistemas internos dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso do sistema conectado à linha e das interfaces isolantes ou do sistema coordenado de DPS instalado, sendo a equação (3.37) usada para este cálculo.

$$P_z = P_{spd} \times P_{ll} \times C_{ll} \quad (3.37)$$

Sendo:

P_{ll} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica perto de uma linha conectada dependendo das características da linha e dos equipamentos. Os valores de P_{ll} são dados na Tabela B.9 da NBR 5419;

C_{ll} é um fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolação da linha. Valores de C_{ll} são dados na Tabela B.4 da NBR 5419.

A perda L_x se refere à quantidade relativa média de um tipo particular de dano para um evento perigoso causado por uma descarga atmosférica, considerando a sua extensão e os efeitos. O valor de perda, L_x , varia com o tipo de perda considerada:

- a) L1 (perda de vida humana, incluindo ferimento permanente): o número de pessoas em perigo (vítimas);
- b) L2 (perda de serviço público): o número de usuários não servidos;
- c) L3 (perda de patrimônio cultural): o valor econômico em perigo da estrutura e conteúdo;

d) L4 (perda de valores econômicos): o valor econômico em perigo de animais, a estrutura (incluindo suas atividades), conteúdo e sistemas internos, e, para cada tipo de perda, com o tipo de dano (D1, D2 e D3) causando a perda.

A perda de vida humana, L1, é dividida em valores da perda para cada zona: La (perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico), Lb (perda em uma estrutura relacionada a danos físicos), Lc (perda relacionada à falha dos sistemas internos), Lu (perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico), Lv (perda em uma estrutura devido a danos físicos), Lw (perda devido à falha de sistemas internos), Lm (perda relacionada à falha de sistemas internos). As equações (3.38), (3.39), (3.40) e (3.41) expressam essas perdas.

$$La = rt \times Lt \times nz/nt \times tz/8760 \quad (3.38)$$

$$Lu = rt \times Lt \times nz/nt \times tz/8760 \quad (3.39)$$

$$Lb = Lv = rp \times rf \times hz \times Lf \times nz/nt \times tz/8760 \quad (3.40)$$

$$Lc = Lm = Lw = Lz = Lo \times nz/nt \times tz/8760 \quad (3.41)$$

Sendo:

Lt é o número relativo médio típico de vítimas feridas por um choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso, valores na Tabela C.2 da NBR 5419;

Lf é o número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso, valores na Tabela C.2 da NBR 5419;

Lo é o número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso, valores na Tabela C.2 da NBR 5419;

rt é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso, valores na Tabela C.3 da NBR 5419;

rp é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio, valores na Tabela C.4 da NBR 5419;

rf é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura, valores na Tabela C.5 da NBR 5419;

hz é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente, valores na Tabela C.6 da NBR 5419;

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.

Quando o dano a estrutura devido às descargas atmosféricas envolver estruturas nas redondezas ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas), perdas adicionais, L_e , podem ser consideradas para avaliar a perda total, L_{ft} , aplicando-se as equações (3.42) e (3.43).

$$L_{ft} = L_f + L_e \quad (3.42)$$

$$L_e = L_{fe} \times t_e / 8760 \quad (3.43)$$

Sendo:

L_{fe} é a perda devido a danos físicos fora da estrutura;

t_e é o tempo da presença de pessoas nos lugares perigosos fora da estrutura.

NOTA 1: Se os valores de L_{fe} e t_e forem desconhecidos, recomenda-se que L_{fe} e $t_e / 8760 = 1$ sejam assumidos.

A perda inaceitável de serviço ao público, L_2 , deve ser dividida para cada zona e ser determinado através das equações (3.44) e (3.45) considerando que a perda de serviço ao público é afetada pelas características da zona da estrutura, estas levam em consideração os fatores de redução (r_f , r_p), e o valor máximo de perda devido a dano na zona deve ser reduzido pela relação entre o número de usuários servidos pela zona, n_z , *versus* o número total de usuários, n_t , servidos pela estrutura inteira.

$$L_b = L_v = r_p \times r_f \times L_f \times n_z / n_t \quad (3.44)$$

$$L_c = L_m = L_w = L_z = L_o \times n_z / n_t \quad (3.45)$$

Sendo:

L_f é o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante do dano físico (D_2) devido a um evento perigoso, a Tabela C.8 deve ser consultada na NBR 5419;

Lo é o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante da falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso, a Tabela C.8 deve ser consultada na NBR 5419;
 rp é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio, a Tabela C.4 deve ser consultada na NBR 5419;
 rf é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio, a Tabela C.5 deve ser consultada na NBR 5419;
 nz é o número de usuários servidos pela zona;
 nt é o número total de usuários servidos pela estrutura.

Para a perda inaceitável de patrimônio cultural, L3, recomenda-se que o valor de perda Lx para cada zona seja determinado de acordo com a equação (3.46), considerando que a perda de patrimônio cultural é afetada pelas características da zona, estas levam em consideração os fatores de redução (rf, rp), e o valor máximo de perda devido a danos na zona deve ser reduzido pela relação entre o valor da zona, cz, *versus* o valor total, ct, da estrutura completa (edificação e conteúdo).

$$Lb = Lv = rp \times rf \times Lf \times cz/ct \quad (3.46)$$

Sendo:

Lf é o valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso, a Tabela C.10 deve ser consultada na NBR 5419;
 rp é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio, a Tabela C.4 deve ser consultada na NBR 5419;
 rf é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio, a Tabela C.5 deve ser consultada na NBR 5419;
 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).

A perda econômica, L4, para cada zona pode ser determinado de acordo com as equações (3.47), (3.48), (3.49) e (3.50) e deve ser considerado a perda de valores econômicos é afetada pelas características da zona, estas levam em consideração os fatores de redução (rt, rp, rf), e o valor máximo da perda devido a danos na zona deve ser reduzido pela relação entre

o valor relevante na zona *versus* o valor total (ct) da estrutura completa. O valor relevante da zona depende do tipo de dano: D1 somente animais (ca), D2 total de valores (ca+cb+cc+cs) e D3 valor dos sistemas internos e suas atividades (cs).

$$La = rt \times Lt \times ca/ct \quad (3.47)$$

$$Lu = rt \times Lt \times ca/ct \quad (3.48)$$

$$Lb = Lv = rp \times rf \times Lf \times (ca + cb + cc + cs)/ct \quad (3.49)$$

$$Lc = Lm = Lw = Lz = Lo \times cs/ct \quad (3.50)$$

Sendo:

Lt é o valor relativo médio típico de todos valores danificados por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso, a Tabela C.12 da NBR 5419 deve ser consultada;

Lf é o valor relativo médio típico de todos valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso, a Tabela C.12 da NBR 5419 deve ser consultada;

Lo é o valor relativo médio típico de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso, a Tabela C.12 da NBR 5419 deve ser consultada;

rt é um fator de redução da perda de animais dependendo do tipo do solo ou piso, a Tabela C.3 da NBR 5419 deve ser consultada;

rp é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio, a Tabela C.4 da NBR 5419 deve ser consultada;

rf é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão na estrutura, a Tabela C.5 da NBR 5419 deve ser consultada;

ca é o valor dos animais na zona;

cb é o valor da edificação relevante à zona;

cc é o valor do conteúdo da zona;

cs é o valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona;

ct é o valor total da estrutura (soma de todas as zonas para animais, edificação, conteúdo e sistemas internos incluindo suas atividades).

Quando um dano a estrutura devido às descargas atmosféricas envolve as estruturas nas vizinhanças ou o meio ambiente, perdas adicionais (L_e) devem ser levadas em consideração para avaliar a perda total (L_{ft}), aplicando-se as equações (3.51) e (3.52).

$$L_{ft} = L_f + L_e \quad (3.51)$$

$$L_e = L_{fe} \times c_e/c_t \quad (3.52)$$

Sendo:

L_{fe} é a perda devido a danos físicos fora da estrutura;

c_e é o total dos valores em perigo localizados fora da estrutura.

NOTA 1: Se o valor de L_{fe} for desconhecido, $L_{fe} = 1$ pode ser assumido.

4 ESTUDO DE CASO - BIBLIOTECA UNESP/GUARATINGUETÁ

4.1 MÉTODOS DE APLICAÇÃO

O estudo de caso visa compreender a aplicação da nova norma usando como base o prédio da biblioteca da UNESP de Guaratinguetá e tem como objetivo mostrar como se calcular o risco e determinar a necessidade de proteção contra descargas atmosféricas, a contribuição dos diferentes componentes de risco ao risco total, o efeito das diferentes medidas de proteção para diminuir os riscos e o método de seleção por meio de diferentes soluções de proteção considerando a eficiência de custo.

O propósito é aplicar a NBR 5419/2015 com o auxílio de uma planilha desenvolvida para tornar o processo dos cálculos mais dinâmico e prático já que a nova norma de proteção contra descargas atmosféricas baseia-se no recálculo das componentes de riscos conforme novas medidas de proteção são definidas. Desse modo, é demonstrado o cálculo das componentes de riscos utilizando diretamente as equações fornecidas e utilizando-se a planilha que automatiza o processo, inserido apenas os valores de entrada e tendo o resultado do risco total como saída.

4.2 APLICAÇÃO DIRETA DAS EQUAÇÕES

O estudo considera as facilidades da biblioteca da UNESP de Guaratinguetá divididas em quatro zonas (Z1, Z2, Z3 e Z4), sendo elas: área externa, área dos livros e salas de estudos, setor dos escritórios e a sala de leitura e cultura externa ao prédio principal, sendo considerada para a proteção da estrutura o risco de perda de vida humana (R1).

A Tabela 4.1 indica as características ambientais e globais da estrutura avaliada, no caso o prédio da biblioteca, sendo o valor de N_g obtido através da página da *online* do INPE de acordo com a densidade de descargas atmosféricas para a terra na região estudada. Os valores nesta tabela indicam todos os dados relacionados à estrutura, sendo agrupados de maneira a manter a consulta para futuros cálculos mais rápida e prática. O valor de K_{s1} deve ser calculado tomando-se como referência o valor da largura da blindagem por malha da estrutura, indicada na equação (3.31). Considera-se como medida inicial que a estrutura já possui um SPDA nível III e não possui DPS no quadro geral de entrada e nem nos quadros das zonas, onde há apenas extintores e avisos nos locais.

Tabela 4.1 – Valores de entrada coletados da estrutura.

| Biblioteca: características ambientais e globais da estrutura | | |
|---|--|------------------|
| | Parâmetro de entrada | Valor |
| Ng | Densidade de descargas atmosféricas para a terra | 11,1 |
| L, W, H | Dimensões da estrutura (m) | 37,68 46,12 3,55 |
| Cd | Fator de localização da estrutura | 0,5 |
| Pb | Nível do SPDA (nível III) | 0,1 |
| Peb | Ligação equipotencial (sem DPS) | 1 |
| wm1 | Largura da blindagem em forma de grade (m) | 8,34 |

Fonte: Produção do próprio autor.

$$Ks1 = 0,12 \times wm1 = 0,12 \times 8,34 = 1$$

Os valores de entrada da linha de energia são agrupados na Tabela 4.2 conforme informações da estrutura avaliada e o valor de Ks4 é calculado utilizando-se a equação (3.33) juntamente com o valor da tensão suportável do sistema de energia do prédio. Esses valores são usados como referência em cálculos posteriores e são agrupados de maneira a facilitar a consulta dos dados.

Tabela 4.2 – Valores de entrada coletados da linha de energia.

| Biblioteca: linha de energia | | |
|------------------------------|--|-------|
| | Parâmetro de entrada | Valor |
| Ll | Comprimento (m) | 500 |
| Cl | Fator de instalação | 0,5 |
| Ct | Fator tipo de linha | 0,2 |
| Ce | Fator ambiental | 0,5 |
| Cld | Blindagem, aterramento, isolamento | 1 |
| Cll | Blindagem, aterramento, isolamento | 0 |
| Uw | Tensão suportável dos sistemas internos (kV) | 2,5 |
| Rs | Blindagem da linha | 0,2 |
| Pld | Parâmetros resultantes de probabilidade | 0,2 |
| Pll | Parâmetros resultantes de probabilidade | 0,3 |

Fonte: Produção do próprio autor.

$$Ks4energia = 1/U_w = 1/2,5 = 0,4$$

A Tabela 4.3 indica os valores de entrada da linha de sinal agrupados conforme informações da estrutura avaliada e o valor de Ks_4 é calculado utilizando-se a equação (3.33) juntamente com o valor da tensão suportável do sistema de telecomunicações do prédio. Esses valores são usados como referência em cálculos posteriores e também são agrupados de maneira a facilitar a consulta dos dados.

Tabela 4.3 – Valores de entrada coletados da linha de sinal.

| Biblioteca: linha de sinal | | |
|----------------------------|--|-------|
| | Parâmetro de entrada | Valor |
| Ll | Comprimento (m) | 300 |
| Cl | Fator de instalação | 0,5 |
| Ct | Fator tipo de linha | 1 |
| Ce | Fator ambiental | 0,5 |
| Cld | Blindagem, aterramento, isolamento | 1 |
| Cll | Blindagem, aterramento, isolamento | 0 |
| Uw | Tensão suportável dos sistemas internos (kV) | 1,5 |
| Rs | Blindagem da linha | 0,8 |
| Pld | Parâmetros resultantes de probabilidade | 0,8 |
| Pll | Parâmetros resultantes de probabilidade | 0,5 |

Fonte: Produção do próprio autor.

$$Ks_{4sinal} = 1/1,5 = 0,66$$

Os valores econômicos e a distribuição das pessoas entre as zonas são ilustrados na Tabela 4.4 e são sempre consultados e utilizados para cálculos futuros durante todo o dimensionamento do risco total da estrutura.

Tabela 4.4 – Valores econômicos e distribuição de pessoas nas zonas.

| Biblioteca: distribuição das pessoas e dos valores econômicos (\$ x 10 ⁶) nas zonas | | | | | | | |
|---|---------|-------------------|--------------|---------------|---------------|------------------------|------------|
| Zona | Pessoas | Tempo de presença | Animais (ca) | Edifício (cb) | Conteúdo (cc) | Sistemas internos (cs) | Total (ct) |
| Z1 | 10 | 8760 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Z2 | 250 | 8760 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| Z3 | 30 | 8760 | 0 | 0,1 | 0,25 | 0,25 | 0,6 |
| Z4 | 10 | 8760 | 0 | 0,01 | 0 | 0 | 0,01 |
| Total | 300 | - | 0 | 1,11 | 1,25 | 0,25 | 2,61 |

Fonte: Produção do próprio autor.

A Tabela 4.5 exibe os valores das condições da zona 1 (Z1) do prédio, área externa do prédio, que são utilizados durante os procedimentos de dimensionamento. As equações (3.32) e (4.1) indicam os valores de K_{s2} e L_{aux} , que é um fator que indica pessoas que permanecem na zona 1.

Tabela 4.5 – Fatores válidos para a área externa da biblioteca.

| Biblioteca: fatores válidos para zona Z1 | | |
|--|--|-------|
| | Parâmetro de entrada | Valor |
| rt | Tipo de piso | 0,01 |
| Pta | Proteção contra choque | 0,01 |
| rf | Risco de incêndio | 0 |
| rp | Proteção contra incêndio | 0,5 |
| hz | Perigo especial a vida | 1 |
| Lt | Perigo de vida devido à tensão de toque e de passo | 0,01 |
| Lf | Perigo de vida devido a danos físicos | 0 |
| Lo | Perigo de vida devido à falha de sistemas internos | 0 |
| wm2 | Largura da blindagem em forma de grade (m) | 8,34 |

Fonte: Produção do próprio autor.

$$K_{s2} = 0,12 \times wm2 = 0,12 \times 8,34 = 1$$

$$L_{aux} = \frac{nz}{nt} \times \frac{tz}{8760} = \frac{10}{300} \times \frac{8760}{8760} = 0,033 \quad (4.1)$$

Na Tabela 4.6 tem-se os valores das condições da zona 2 (Z2) do prédio, área dos livros e das salas de estudos do prédio, que são utilizados durante os procedimentos de dimensionamento. As equações (3.32), (4.2), (4.3) e (4.4) indicam os valores de K_{s2} , L_{aux} , L_{aux-D2} e L_{aux-D3} , que são os fatores que indicam pessoas na zona, perdas econômicas na estrutura da zona e perdas econômicas nos sistemas internos da zona 2.

Tabela 4.6 – Fatores válidos para a área dos livros e salas de estudos da biblioteca.

| Biblioteca: fatores válidos para zona Z2 | | |
|--|--|---------|
| | Parâmetro de entrada | Valor |
| rt | Tipo de piso | 0,00001 |
| Pta | Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura) | 0,01 |
| Ptu | Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha) | 0,01 |
| rf | Risco de incêndio | 0,01 |

| | | |
|------|--|-------|
| rp | Proteção contra incêndio | 0,5 |
| Ks3 | Blindagem espacial interna na linha de energia | 1 |
| Pspd | DPS coordenados na linha de energia | 1 |
| Ks3 | Blindagem espacial interna na linha de sinal | 1 |
| Pspd | DPS coordenados na linha de sinal | 1 |
| hz | Perda de vida humana devido a dificuldade de evacuação | 5 |
| Lt | Perda de vida humana devido à tensão de toque e de passo | 0,01 |
| Lf | Perda de vida humana devido a danos físicos | 0,1 |
| Lo | Perda de vida humana devido à falha de sistemas internos | 0,001 |
| Lf | Perda econômica devido a danos físicos | 0,2 |
| Lo | Perda econômica devido à falha de sistemas internos | 0,001 |
| wm2 | Largura da blindagem em forma de grade (m) | 8,34 |

Fonte: Produção do próprio autor.

$$Ks2 = 0,12 \times wm2 = 0,12 \times 8,34 = 1$$

$$Laux = \frac{nz}{nt} \times \frac{tz}{8760} = \frac{250}{300} \times \frac{8760}{8760} = 0,833 \quad (4.2)$$

$$Laux - D2 = \frac{ca+cb+cc+cs}{ct} = \frac{2}{2,61} = 0,766 \quad (4.3)$$

$$Laux - D3 = \frac{cs}{ct} = \frac{0}{2,61} = 0 \quad (4.4)$$

A Tabela 4.7 indica-se os valores das condições da zona 3 (Z3) do prédio, setor dos escritórios do prédio, que são utilizados durante os procedimentos de dimensionamento. As equações (3.32), (4.2), (4.3) e (4.4) indicam os valores de Ks2, Laux, Laux-D2 e Laux-D3 da zona 3.

Tabela 4.7 – Fatores válidos para o setor dos escritórios da biblioteca.

| Biblioteca: fatores válidos para zona Z3 | | |
|--|--|---------|
| | Parâmetro de entrada | Valor |
| rt | Tipo de piso | 0,00001 |
| Pta | Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura) | 0,01 |
| Ptu | Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha) | 0,01 |
| rf | Risco de incêndio | 0,01 |
| rp | Proteção contra incêndio | 0,5 |
| Ks3 | Blindagem espacial interna na linha de energia | 1 |

| | | |
|------|--|-------|
| Pspd | DPS coordenados na linha de energia | 1 |
| Ks3 | Blindagem espacial interna na linha de sinal | 1 |
| Pspd | DPS coordenados na linha de sinal | 1 |
| hz | Perda de vida humana devido a dificuldade de evacuação | 2 |
| Lt | Perda de vida humana devido à tensão de toque e de passo | 0,01 |
| Lf | Perda de vida humana devido a danos físicos | 0,1 |
| Lo | Perda de vida humana devido à falha de sistemas internos | 0,01 |
| Lf | Perda econômica devido a danos físicos | 0,2 |
| Lo | Perda econômica devido à falha de sistemas internos | 0,001 |
| wm2 | Largura da blindagem em forma de grade (m) | 8,34 |

Fonte: Produção do próprio autor.

$$Ks2 = 0,12 \times wm2 = 0,12 \times 8,34 = 1$$

$$Laux = \frac{nz}{nt} \times \frac{tz}{8760} = \frac{30}{300} \times \frac{8760}{8760} = 0,1$$

$$Laux - D2 = \frac{ca+cb+cc+cs}{ct} = \frac{0,6}{2,61} = 0,229$$

$$Laux - D3 = \frac{cs}{ct} = \frac{0,25}{2,61} = 0,095$$

A Tabela 4.8 indica-se os valores das condições da zona 4 (Z4) do prédio, sala de leitura e cultura do prédio, que são utilizados durante os procedimentos de dimensionamento. As equações (3.32), (4.2), (4.3) e (4.4) indicam os valores de Ks2, Laux, Laux-D2 e Laux-D3 da zona 4.

Tabela 4.8 – Fatores válidos para a sala de leitura e cultura da biblioteca.

| Biblioteca: fatores válidos para zona Z4 | | |
|--|--|-------|
| | Parâmetro de entrada | Valor |
| rt | Tipo de piso | 0,001 |
| Pta | Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura) | 0,01 |
| Ptu | Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha) | 0,01 |
| rf | Risco de incêndio | 0 |
| rp | Proteção contra incêndio | 0,5 |
| Ks3 | Blindagem espacial interna na linha de energia | 1 |
| Pspd | DPS coordenados na linha de energia | 1 |
| Ks3 | Blindagem espacial interna na linha de sinal | 1 |

| | | |
|------|--|-------|
| Pspd | DPS coordenados na linha de sinal | 1 |
| hz | Perda de vida humana devido a dificuldade de evacuação | 1 |
| Lt | Perda de vida humana devido à tensão de toque e de passo | 0,01 |
| Lf | Perda de vida humana devido a danos físicos | 0,1 |
| Lo | Perda de vida humana devido à falha de sistemas internos | 0,001 |
| Lf | Perda econômica devido a danos físicos | 0,2 |
| Lo | Perda econômica devido à falha de sistemas internos | 0,001 |
| wm2 | Largura da blindagem em forma de grade (m) | 8,34 |

Fonte: Produção do próprio autor.

$$Ks2 = 0,12 \times wm2 = 0,12 \times 8,34 = 1$$

$$Laux = \frac{nz}{nt} \times \frac{tz}{8760} = \frac{10}{300} \times \frac{8760}{8760} = 0,033$$

$$Laux. D2 = \frac{ca+cb+cc+cs}{ct} = \frac{0,01}{2,61} = 0,003$$

$$Laux. D3 = \frac{cs}{ct} = \frac{0}{2,61} = 0$$

Os fatores e informações encontrados através de todos os cálculos que foram previamente realizados são utilizados em inúmeras equações que são demonstradas a seguir a fim de se chegar na componente de risco total da estrutura. As equações de (3.17), (3.24) e (3.26) são direcionadas para o cálculo das áreas de exposição equivalentes da estrutura e linha.

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

$$Ad = 37,68 \times 46,12 + 2 \times (3 \times 3,55) \times (37,68 + 46,12) + \pi \times (3 \times 3,55)^2 = 3878,88$$

$$AL = 40 \times Ll =$$

$$AL. p = 40 \times 500 = 20000$$

$$Al = 4000 \times Ll =$$

$$Al. p = 4000 \times 500 = 2000000$$

$$AL = 40 \times Ll =$$

$$AL.t = 40 \times 300 = 12000$$

$$Al = 4000 \times Ll =$$

$$Al.t = 4000 \times 300 = 1200000$$

Os valores do número esperado anual de eventos perigosos esperados na região da estrutura durante o ano são calculados através das equações (3.19), (3.23) e (3.25) a seguir.

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

$$Nd = 11,1 \times 3878,88 \times 0,5 \times 10^{-6} = 0,021528$$

$$NL = Ng \times AL.p \times Cl \times Ce \times Ct \times 10^{-6} =$$

$$NL.p = 11,1 \times 20000 \times 0,5 \times 0,5 \times 0,2 \times 10^{-6} = 0,0111$$

$$Nl = Ng \times Al.p \times Cl \times Ce \times Ct \times 10^{-6} =$$

$$Nl.p = 11,1 \times 2000000 \times 0,5 \times 0,5 \times 0,2 \times 10^{-6} = 1,11$$

$$NL = Ng \times AL.t \times Cl \times Ce \times Ct \times 10^{-6} =$$

$$NL.t = 11,1 \times 12000 \times 0,5 \times 0,5 \times 1 \times 10^{-6} = 0,0333$$

$$Nl = Ng \times Al.t \times Cl \times Ce \times Ct \times 10^{-6} =$$

$$Nl.t = 11,1 \times 1200000 \times 0,5 \times 0,5 \times 1 \times 10^{-6} = 3,33$$

As probabilidades P para a estrutura sem proteção são calculadas através das equação (3.14), (3.15), (3.27), (3.28), (3.29), (3.30), (3.34), (3.35), (3.36) e (3.37) a partir dos ferimentos causados por choque elétrico, danos físicos e falhas de sistemas internos (D1, D2 e D3), devidamente divididos entre as zonas 1, 2, 3 e 4.

$$Pa = Pta \times Pb =$$

$$Pa.z1 = 0,01 \times 0,1 = 0,001$$

$$Pa = Pta \times Pb =$$

$$Pa.z2 = 0,1 \times 0,01 = 0,001$$

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

$$P_{u.p.z2} = 0,01 \times 1 \times 0,2 \times 1 = 0,002$$

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

$$P_{u.t.z2} = 0,01 \times 1 \times 0,8 \times 1 = 0,008$$

$$P_v = P_{eb} \times P_{ld} \times C_{ld} =$$

$$P_{v.p.z2} = 1 \times 0,2 \times 1 = 0,2$$

$$P_v = P_{eb} \times P_{ld} \times C_{ld} =$$

$$P_{v.t.z2} = 1 \times 0,8 \times 1 = 0,8$$

$$P_c = P_{spd} \times C_{ld} =$$

$$P_{c.p.z2} = 1 \times 1 = 1$$

$$P_c = P_{spd} \times C_{ld} =$$

$$P_{c.t.z2} = 1 \times 1 = 1$$

$$P_c = 1 - (1 - P_{ci}) \times (1 - P_{ci}) \times (1 - P_{ci}) =$$

$$P_{c.z2} = 1 - (1 - 1) \times (1 - 1) = 1$$

$$P_{ms} = (K_{s1} \times K_{s2} \times K_{s3} \times K_{s4})^2 =$$

$$P_{ms.z2.p} = (1 \times 1 \times 1 \times 0,4)^2 = 0,16$$

$$P_{ms} = (K_{s1} \times K_{s2} \times K_{s3} \times K_{s4})^2 =$$

$$P_{ms.z2.t} = (1 \times 1 \times 1 \times 0,66)^2 = 0,435$$

$$P_m = 1 - (1 - P_{mi}) \times (1 - P_{mi}) \times (1 - P_{mi}) =$$

$$P_{m.z2} = 1 - (1 - 0,16) \times (1 - 0,435) = 0,5348$$

$$P_w = P_{spd} \times P_{ld} \times C_{ld} =$$

$$P_{w.p.z2} = 1 \times 0,2 \times 1 = 0,2$$

$$P_w = P_{spd} \times P_{ld} \times C_{ld} =$$

$$P_w.t.z2 = 1 \times 0,8 \times 1 = 0,8$$

$$P_a = P_{ta} \times P_b =$$

$$P_a.z3 = 0,1 \times 0,01 = 0,001$$

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

$$P_u.p.z3 = 0,01 \times 1 \times 0,2 \times 1 = 0,002$$

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

$$P_u.t.z3 = 0,01 \times 1 \times 0,8 \times 1 = 0,008$$

$$P_v = P_{eb} \times P_{ld} \times C_{ld} =$$

$$P_v.p.z3 = 1 \times 0,2 \times 1 = 0,2$$

$$P_v = P_{eb} \times P_{ld} \times C_{ld} =$$

$$P_v.t.z3 = 1 \times 0,8 \times 1 = 0,8$$

$$P_c = P_{spd} \times C_{ld} =$$

$$P_c.p.z3 = 1 \times 1 = 1$$

$$P_c = P_{spd} \times C_{ld} =$$

$$P_c.t.z3 = 1 \times 1 = 1$$

$$P_c = 1 - (1 - P_{ci}) \times (1 - P_{ci}) \times (1 - P_{ci}) =$$

$$P_c.z3 = 1 - (1 - 1) \times (1 - 1) = 1$$

$$P_{ms} = (K_{s1} \times K_{s2} \times K_{s3} \times K_{s4})^2 =$$

$$P_{ms}.z3.p = (1 \times 1 \times 1 \times 0,4)^2 = 0,16$$

$$P_{ms} = (K_{s1} \times K_{s2} \times K_{s3} \times K_{s4})^2 =$$

$$P_{ms}.z3.t = (1 \times 1 \times 1 \times 0,66)^2 = 0,435$$

$$P_m = 1 - (1 - P_{mi}) \times (1 - P_{mi}) \times (1 - P_{mi}) =$$

$$P_{m.z3} = 1 - (1 - 0,16) \times (1 - 0,435) = 0,5348$$

$$P_w = P_{spd} \times P_{ld} \times C_{ld} =$$

$$P_{w.p.z3} = 1 \times 0,2 \times 1 = 0,2$$

$$P_w = P_{spd} \times P_{ld} \times C_{ld} =$$

$$P_{w.t.z3} = 1 \times 0,8 \times 1 = 0,8$$

$$P_a = P_{ta} \times P_b =$$

$$P_{a.z4} = 0,1 \times 0,01 = 0,001$$

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

$$P_{u.p.z4} = 0,01 \times 1 \times 0,2 \times 1 = 0,002$$

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

$$P_{u.t.z4} = 0,01 \times 1 \times 0,8 \times 1 = 0,008$$

$$P_v = P_{eb} \times P_{ld} \times C_{ld} =$$

$$P_{v.p.z4} = 1 \times 0,2 \times 1 = 0,2$$

$$P_v = P_{eb} \times P_{ld} \times C_{ld} =$$

$$P_{v.t.z4} = 1 \times 0,8 \times 1 = 0,8$$

$$P_c = P_{spd} \times C_{ld} =$$

$$P_{c.p.z4} = 1 \times 1 = 1$$

$$P_c = P_{spd} \times C_{ld} =$$

$$P_{c.t.z4} = 1 \times 1 = 1$$

$$P_c = 1 - (1 - P_{ci}) \times (1 - P_{ci}) \times (1 - P_{ci}) =$$

$$P_{c.z4} = 1 - (1 - 1) \times (1 - 1) = 1$$

$$Pms = (Ks1 \times Ks2 \times Ks3 \times Ks4)^2 =$$

$$Pms.z4.p = (1 \times 1 \times 1 \times 0,4)^2 = 0,16$$

$$Pms = (Ks1 \times Ks2 \times Ks3 \times Ks4)^2 =$$

$$Pms.z4.t = (1 \times 1 \times 1 \times 0,66)^2 = 0,435$$

$$Pm = 1 - (1 - Pmi) \times (1 - Pmi) \times (1 - Pmi) =$$

$$Pm.z4 = 1 - (1 - 0,16) \times (1 - 0,435) = 0,5348$$

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

$$Pw.p.z4 = 1 \times 0,2 \times 1 = 0,2$$

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

$$Pw.t.z4 = 1 \times 0,8 \times 1 = 0,8$$

O risco total é calculado através da soma dos riscos individuais das zonas (Z1, Z2, Z3 e Z4) considerando todos os tipos de ferimentos, causados por choque elétrico, danos físicos e falhas de sistemas internos. Os fatores que compõe os riscos das zonas são Ra, Ru, Rb, Rv, Rc, Rm, Rw e Rz e são calculados nas equações de (3.6), (3.7), (3.8), (3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.38), (3.39), (3.40) e (3.41) .

$$Ra = Nd \times Pa \times rt \times Lt \times Laux =$$

$$Ra.z1 = 0,0215 \times 0,001 \times 0,033 \times 0,01 \times 0,01 = 7,17. 10^{-11}$$

$$Ra = Nd \times Pa \times rt \times Lt \times Laux =$$

$$Ra.z2 = 0,0215 \times 0,001 \times 0,833 \times 0,00001 \times 0,01 = 1,79. 10^{-12}$$

$$Ru = (Nl + Ndj) \times Pu \times rt \times Lt \times Laux =$$

$$Ru.z2 = ((0,011 \times 0,002) + (0,033 \times 0,008)) \times 0,833 \times 0,01 \times 0,00001 = 2,40. 10^{-11}$$

$$Rb = Nd \times Pb \times rp \times rf \times hz \times Lf \times Laux =$$

$$Rb.z2 = 0,0215 \times 0,1 \times 0,833 \times 0,1 \times 5 \times 0,01 \times 0,5 = 4,48. 10^{-6}$$

$$Rv = (Nl + Ndj) \times Pv \times rp \times rf \times hz \times Lf \times Laux =$$

$$Rv.z2 = ((0,011 \times 0,2) + (0,033 \times 0,8)) \times 0,833 \times 0,5 \times 0,01 \times 5 \times 0,1 = 0,000060$$

$$Rc = Nd \times Pc \times Lo \times Laux =$$

$$Rc.z2 = 0,0215 \times 1 \times 0,833 \times 0,001 = 1,79.10^{-5}$$

$$Rw = (Nl + Ndj) \times Pw \times Lo \times Laux =$$

$$Rw.z2 = ((0,011 \times 0,2) + (0,033 \times 0,8)) \times 0,833 \times 0,001 = 0,000024$$

$$Ra = Nd \times Pa \times rt \times Lt \times Laux =$$

$$Ra.z3 = 0,0215 \times 0,001 \times 0,1 \times 0,00001 \times 0,01 = 2,15.10^{-13}$$

$$Ru = (Nl + Ndj) \times Pu \times rt \times Lt \times Laux =$$

$$Ru.z3 = ((0,011 \times 0,002) + (0,033 \times 0,008)) \times 0,1 \times 0,01 \times 0,00001 = 2,88.10^{-12}$$

$$Rb = Nd \times Pb \times rp \times rf \times hz \times Lf \times Laux =$$

$$Rb.z3 = 0,0215 \times 0,1 \times 0,1 \times 0,5 \times 0,01 \times 2 \times 0,1 = 2,15.10^{-7}$$

$$Rv = (Nl + Ndj) \times Pv \times rp \times rf \times hz \times Lf \times Laux =$$

$$Rv.z3 = ((0,011 \times 0,2) + (0,033 \times 0,8)) \times 0,5 \times 0,01 \times 2 \times 0,1 \times 0,1 = 0,00000288$$

$$Rc = Nd \times Pc \times Lo \times Laux =$$

$$Rc.z3 = 0,0215 \times 1 \times 0,1 \times 0,01 = 2,15.10^{-5}$$

$$Rw = (Nl + Ndj) \times Pw \times Lo \times Laux =$$

$$Rw.z3 = ((0,011 \times 0,2) + (0,033 \times 0,8)) \times 0,1 \times 0,01 = 0,000028$$

$$Ra = Nd \times Pa \times rt \times Lt \times Laux =$$

$$Ra.z4 = 0,0215 \times 0,001 \times 0,033 \times 0,001 \times 0,01 = 7,17.10^{-12}$$

$$Ru = (Nl + Ndj) \times Pu \times rt \times Lt \times Laux =$$

$$Ru.z4 = ((0,011 \times 0,002) + (0,033 \times 0,008)) \times 0,033 \times 0,01 \times 0,001 = 9,62.10^{-11}$$

$$R_c = N_d \times P_c \times L_o \times L_{aux} =$$

$$R_{c.z4} = 0,0215 \times 1 \times 0,033 \times 0,001 = 7,17.10^{-7}$$

$$R_w = (N_l + N_{dj}) \times P_w \times L_o \times L_{aux} =$$

$$R_{w.z4} = ((0,011 \times 0,2) + (0,033 \times 0,8)) \times 0,033 \times 0,001 = 9,62.10^{-7}$$

O valor do risco final, R1, que é o risco de perda de vida humana, usado para comparação com o valor de risco total é calculado somando-se todos os fatores de riscos das zonas calculados anteriormente, sendo indicado pela equação (3.1).

$$R_a = \sum R_a$$

$$R_a = 7,17.10^{-11} + 1,79.10^{-12} + 2,15.10^{-13} + 7,17.10^{-12} = 8,09.10^{-11}$$

$$R_u = \sum R_u$$

$$R_u = 2,40.10^{-11} + 2,88.10^{-12} + 9,26.10^{-11} = 1,23.10^{-10}$$

$$R_b = \sum R_b$$

$$R_b = 4,48.10^{-6} + 2,15.10^{-7} = 4,70.10^{-6}$$

$$R_v = \sum R_v$$

$$R_v = 0,000060 + 0,000028 = 0,000063$$

$$R_c = \sum R_c$$

$$R_c = 1,79.10^{-5} + 2,15.10^{-5} + 7,17.10^{-7} = 4,01.10^{-5}$$

$$R_w = \sum R_w$$

$$R_w = 0,000024 + 0,000028 + 9,62.10^{-7} = 0,000053$$

$$\text{Risco. calc (R1)} = R_a + R_u + R_b + R_v + R_c + R_m + R_w + R_z = 16,17.10^{-5}$$

$$R_t(10^{-5}) < 16,17 \cdot 10^{-5}$$

A conclusão final é que para esse sistema assumido para a biblioteca, sem proteção de DPS, com SPDA nível III e extintores para proteção das zonas, não é suficiente para proteger a estrutura por completo. Sendo assim, os cálculos devem ser refeitos com os novos valores para as medidas adotadas, sendo elas o aumento do nível de proteção do SPDA, colocação de DPS no quadro geral ou na zonas, sistemas mais avançados para conter incêndios ou uma alterar o tipo de malha blindada até que o nível de risco calculado seja menor que o risco total, $R_t (10^{-5})$.

4.3 APLICAÇÃO ATRAVÉS DE PLANILHA DE CÁLCULO

A mesma situação estrutural é aplicada através de uma planilha que realiza todos os cálculos e fornece o risco calculado final automaticamente após se inserir os valores nas devidas células com as informações de proteção e da estrutura. O resultado do risco final deve ser o mesmo do calculado anteriormente, mas a dinâmica de se alterar apenas as células dos níveis ou medidas de proteção são aplicadas a fim de se testar a praticidade e eficácia da planilha evitando que se faça novamente todos os cálculos manualmente.

A Figura 4.1 ilustra a tabela referente aos dados da estrutura inseridos na planilha e pode ser comparada com a Tabela 4.1. As células são divididas em valores de entrada que devem ser inseridos na planilha, em valores de entrada que podem ser ajustados para a diminuição do risco calculado para estrutura e em valores de saída que são calculados automaticamente pela planilha. Todas as simbologias e valores tabelados estão descritos em cada célula referente ao dado, através de caixas de diálogos, sendo que podem ser visualizados ao se passar o *mouse* pela célula. Os valores de $P_b (0,1)$ e $P_{eb} (1)$ referem-se ao SPDA nível III e estrutura sem DPS respectivamente. Os dados referentes à estrutura são de extrema importância para os cálculos futuros da planilha e deve se tomar todo o cuidado para se inserir os valores corretos na mesma, caso contrário o projeto estará sujeito à alterações em seu cálculo e análise final.

Figura 4.1 – Valores de entrada coletados da estrutura inseridos na planilha.

| Tabela 1 | Dados da Estrutura | |
|----------|--------------------|--------|
| | Ng | 11,1 |
| | L | 37,68 |
| | W | 46,12 |
| | H | 3,55 |
| | Cd | 0,5 |
| | Pb | 0,1 |
| | Peb | 1 |
| | Ks1 | 1,0008 |
| | wm1: | 8,34 |

0,25 - cercado por objetos altos
 0,5 - cercado por objetos da mesma altura ou mais baixos
 1 - nenhum objeto na vizinhança
 2 - isolado no topo de uma colina ou monte

Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 4.2 refere-se aos valores de entrada coletados da linha de energia e de sinal inseridos na planilha para o cálculo do risco final da estrutura.

Figura 4.2 – Valores de entrada coletados da linha de energia e sinal inseridos na planilha.

| Tabela 2 | Dados para linha de Energia | |
|----------|-----------------------------|-----|
| | Li | 500 |
| | Cl | 0,5 |
| | Ct | 0,2 |
| | Ce | 0,5 |
| | Rs | 0,2 |
| | Cld | 1 |
| | Cll | 0 |
| | Lj | 0 |
| | Wj | 0 |
| | Hj | 0 |
| | Cdj | 0 |
| | Uw | 2,5 |
| | Ks4 | 0,4 |
| | Pld | 0,2 |
| | Pll | 0,3 |

| Tabela 3 | Dados para Linha de Sinal | |
|----------|---------------------------|----------|
| | Li | 300 |
| | Cl | 0,5 |
| | Ct | 1 |
| | Ce | 0,5 |
| | Rs | 0,8 |
| | Cld | 1 |
| | Cll | 0 |
| | Lj | 0 |
| | Wj | 0 |
| | Hj | 0 |
| | Cdj | 0 |
| | Uw | 1,5 |
| | Ks4 | 0,666667 |
| | Pld | 0,8 |
| | Pll | 0,5 |

Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 4.3 indica os valores inseridos para os valores econômicos e o número de pessoas distribuídos nas respectivas zonas. É de suma importância se preencher esta tabela corretamente com os dados referentes à estrutura a ser analisada, pois os fatores que são futuramente calculados com esses dados irão compor o risco total final calculado e podem influenciar no resultado final de maneira negativa, como por exemplo aumentando o nível de proteção da estrutura sem que haja necessidade, acarretando no aumento do custo do projeto de proteção contra descargas atmosféricas.

Figura 4.5 – Valores calculados para as probabilidades de risco na estrutura.

| Tabela 9 Áreas de exposição equivalente da estrutura e linhas | | | | | |
|--|-------|----------|----------------------|------------|------------|
| Estrutura | Ad | 3878,888 | | | |
| | Am | 0 | Relevante? | | 0 |
| Energia | AL/p | 20000 | | | |
| | Al/p | 2000000 | | | |
| | Adj/p | 0 | Estrutura adjacente? | | 0 |
| Sinal | AL/t | 12000 | | | |
| | Al/t | 1200000 | | | |
| | Adj/t | 0 | Estrutura adjacente? | | 0 |
| Tabela 10 Número esperado anual de eventos perigosos esperados | | | | | |
| Estrutura | Nd | 0,021528 | | | |
| | Nm | 0 | | | |
| Energia | NL/p | 0,0111 | | | |
| | NI/p | 1,11 | | | |
| | Ndj/p | 0 | | | |
| Sinal | NL/t | 0,0333 | | | |
| | NI/t | 3,33 | | | |
| | Ndj/t | 0 | | | |
| Tabela 11 Valores da probabilidade P para a estrutura sem proteção | | | | | |
| | | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 |
| D1 | Pa | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| | Pu/p | x | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| | Pu/t | x | 0,008 | 0,008 | 0,008 |
| D2 | Pb | x | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | Pv/p | x | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| | Pv/t | x | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| D3 | Pc | x | 1 | 1 | 1 |
| | Pm | x | 0,534813 | 0,53481349 | 0,53481349 |
| | Pw/p | x | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| | Pw/t | x | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | Pz/p | x | 0 | 0 | 0 |
| | Pz/t | x | 0 | 0 | 0 |

Fonte: Produção do próprio autor.

O resultado final dos cálculos para o risco total da estrutura, R1, por fim são indicados conforme ilustra a Figura 4.6 sendo que a análise do produto final deve ser feita pelo engenheiro projetista responsável pelo projeto tomando as devidas providências caso necessário. Pode-se retirar também dos dados calculados os fatores de risco R2 e R3, que são o risco de perdas de serviço ao público e risco de perdas de patrimônio cultural respectivamente. Para este estudo de caso não são analisados esses dados, pois não é relevante à estrutura estudada, mas como o cálculo da planilha também indica esses fatores automaticamente, pode-se analisar esses valores e comparar com os valores padrões explicitados pela norma mesmo sem a sua necessidade.

Figura 4.6 – Valores calculados para o risco final da estrutura.

| Tabela 12 | | Riscos para a estrutura sem proteção | | | | Estrutura |
|------------------|-------------|--|-------------|-------------|------------|-------------|
| | | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | |
| D1 | Ra | 7,1759E-11 | 1,79399E-12 | 2,15278E-13 | 7,1759E-12 | 8,09446E-11 |
| | Ru | x | 2,405E-11 | 2,886E-12 | 9,62E-11 | 1,23136E-10 |
| D2 | Rb | x | 4,48496E-06 | 2,15278E-07 | 0 | 4,70024E-06 |
| | Rv | x | 0,000060125 | 0,000002886 | 0 | 0,000063011 |
| D3 | Rc | x | 1,79399E-05 | 2,15278E-05 | 7,1759E-07 | 4,01853E-05 |
| | Rm | x | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Rw | x | 0,00002405 | 0,00002886 | 9,62E-07 | 0,000053872 |
| | Rz | x | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | | 7,1759E-11 | 0,0001066 | 5,34891E-05 | 1,6797E-06 | 0,000161769 |
| Tolerável | | Rt = 0.00001 (10 ⁻⁵) | | | | |
| | | Avaliação final | | | | |
| R1: | 0,000161769 | | | | | |
| R2: | 0,0001618 | | | | | |
| R3: | 6,771E-05 | | | | | |
| Resultado final: | | Proteção contra descargas atmosféricas é requerida ou será necessário aumentar o nível de proteção | | | | |

Fonte: Produção do próprio autor.

Ao final da análise usando a planilha para a NBR-5419 pode-se verificar que o valor de risco final R1 calculado ($Risco = 16,17 \cdot 10^{-5}$) é exatamente igual ao valor calculado manualmente aplicando-se as fórmulas diretamente, sendo que a planilha assimilou automaticamente esse dado e dispôs a frase "Proteção contra descargas atmosféricas é requerida ou é necessário aumentar o nível de proteção", devido ao risco calculado ser maior que o risco total, Rt, da norma (10^{-5}). Portanto, é necessário tomar as devidas providências, sendo elas o aumento do nível de proteção do SPDA, colocação de DPS no quadro geral ou na zonas, sistemas mais avançados para conter incêndios ou alterar o tipo de malha blindada até que o nível de risco calculado seja menor que o risco total, Rt.

4.4 APLICAÇÃO DA SOLUÇÃO ATRAVÉS DE PLANILHA DE CÁLCULO

A tomada de decisão das medidas para se diminuir o risco calculado para estrutura cabe ao engenheiro projetista responsável definir, que deve recalculer todos os fatores de probabilidade de risco, áreas de exposição e eventos perigosos para estrutura devido às novas definições de segurança adotadas, assim consequentemente verificar se o novo fator de risco atente ao padrão fornecido pela norma.

Para o caso da biblioteca da UNESP Guaratinguetá as medidas adotadas para diminuição do fator de risco são:

- SPDA nível II na estrutura;
- DPS na entrada geral nível II, DPS nível IV para os quadros das zonas 2 e 3;

- Um sistema de alarme automático para a área dos livros e salas de estudos (zona 2).

A Figura 4.7 indica os novos valores de entrada coletados da estrutura já com seus novos valores de proteção para o SPDA e o DPS, Pb e Peb.

Figura 4.7 – Valores de entrada coletados da estrutura inseridos na planilha.

| Tabela 1 | Dados da Estrutura | |
|----------|--------------------|--------|
| | Ng | 11,1 |
| | L | 37,68 |
| | W | 46,12 |
| | H | 3,55 |
| | Cd | 0,5 |
| | Pb | 0,05 |
| | Peb | 0,02 |
| | Ks1 | 1,0008 |
| | wm1: | 8,34 |

Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 4.8 refere-se aos valores de entrada coletados da linha de energia e de sinal inseridos na planilha para o cálculo do risco final da estrutura, sem nenhuma alteração nos valores de entrada dos cálculos anteriores.

Figura 4.8 – Valores de entrada coletados da linha de energia e sinal inseridos na planilha.

| Tabela 2 | Dados para linha de Energia | |
|----------|-----------------------------|-----|
| | LI | 500 |
| | CI | 0,5 |
| | Ct | 0,2 |
| | Ce | 0,5 |
| | Rs | 0,2 |
| | Cld | 1 |
| | CII | 0 |
| | Lj | 0 |
| | Wj | 0 |
| | Hj | 0 |
| | Cdj | |
| | Uw | 2,5 |
| | Ks4 | 0,4 |
| | Pld | 0,2 |
| | PII | 0,3 |

| Tabela 3 | Dados para Linha de Sinal | |
|----------|---------------------------|----------|
| | LI | 300 |
| | CI | 0,5 |
| | Ct | 1 |
| | Ce | 0,5 |
| | Rs | 0,8 |
| | Cld | 1 |
| | CII | 0 |
| | Lj | 0 |
| | Wj | 0 |
| | Hj | 0 |
| | Cdj | |
| | Uw | 1,5 |
| | Ks4 | 0,666667 |
| | Pld | 0,8 |
| | PII | 0,5 |

Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 4.9 indica os valores inseridos para os valores econômicos e o número de pessoas distribuídos nas respectivas zonas, sendo que não houve nenhuma alteração nos valores de entrada dos cálculos anteriores.

alterações serem realizadas. Os valores encontrados nessas tabelas da planilha são usados para os cálculos finais de risco zona a zona e irão compor o novo fator de risco final da biblioteca.

Figura 4.11 – Valores calculados para as probabilidades de risco na estrutura.

| Tabela 9 | | Áreas de exposição equivalente da estrutura e linhas | | | |
|-----------|-------|--|----------------------|------------|------------|
| Estrutura | Ad | 3878,888 | | | |
| | Am | 0 | Relevante? | | 0 |
| Energia | AL/p | 20000 | | | |
| | Al/p | 2000000 | | | |
| | Adj/p | 0 | Estrutura adjacente? | | 0 |
| Sinal | AL/t | 12000 | | | |
| | Al/t | 1200000 | | | |
| | Adj/t | 0 | Estrutura adjacente? | | 0 |
| Tabela 10 | | Número esperado anual de eventos perigosos esperados | | | |
| Estrutura | Nd | 0,021528 | | | |
| | Nm | 0 | | | |
| Energia | NL/p | 0,0111 | | | |
| | NI/p | 1,11 | | | |
| | Ndj/p | 0 | | | |
| Sinal | NL/t | 0,0333 | | | |
| | NI/t | 3,33 | | | |
| | Ndj/t | 0 | | | |
| Tabela 11 | | Valores da probabilidade P para a estrutura sem proteção | | | |
| | | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 |
| D1 | Pa | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 |
| | Pu/p | x | 0,00004 | 0,00004 | 0,00004 |
| | Pu/t | x | 0,00016 | 0,00016 | 0,00016 |
| D2 | Pb | x | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| | Pv/p | x | 0,004 | 0,004 | 0,004 |
| | Pv/t | x | 0,016 | 0,016 | 0,016 |
| D3 | Pc | x | 0,0975 | 0,0975 | 1 |
| | Pm | x | 0,03014 | 0,03014013 | 0,53481349 |
| | Pw/p | x | 0,01 | 0,01 | 0,2 |
| | Pw/t | x | 0,04 | 0,04 | 0,8 |
| | Pz/p | x | 0 | 0 | 0 |
| | Pz/t | x | 0 | 0 | 0 |

Fonte: Produção do próprio autor.

O resultado final dos cálculos para o risco total da estrutura, R1, após o recálculo são indicados conforme ilustra a Figura 4.12, sendo a análise refeita pela planilha conforme às alterações de segurança realizadas e indicadas pelas devidas células. Pode-se notar que os valores de risco R2 e R3 também são explicitados pela planilha e estão dentro do valor de proteção indicado pela norma, estando assim a estrutura totalmente protegida de qualquer tipo de dano, tanto para perdas de vida humana, estrutura ou patrimônio.

Figura 4.12 – Valores calculados para o risco final da estrutura.

| Tabela 12 | Riscos para a estrutura sem proteção | | | | | Estrutura |
|-------------------------|--|------------------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| | | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | |
| D1 | Ra | 3,588E-11 | 8,96993E-13 | 1,07639E-13 | 3,588E-12 | 4,04723E-11 |
| | Ru | x | 4,81E-13 | 5,772E-14 | 1,924E-12 | 2,46272E-12 |
| D2 | Rb | x | 8,96993E-07 | 1,07639E-07 | 0 | 1,00463E-06 |
| | Rv | x | 0,000000481 | 5,772E-08 | 0 | 5,3872E-07 |
| D3 | Rc | x | 1,74914E-06 | 2,09896E-06 | 7,1759E-07 | 4,56569E-06 |
| | Rm | x | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Rw | x | 1,2025E-06 | 0,000001443 | 9,62E-07 | 3,6075E-06 |
| | Rz | x | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | | 3,588E-11 | 4,32963E-06 | 3,70732E-06 | 1,6796E-06 | 9,71659E-06 |
| Tolerável | Rt = 0.00001 (10⁻⁵) | | | | | |
| | | Avaliação final | | | | |
| R1: | | 9,71659E-06 | | | | |
| R2: | 9,717E-06 | | | | | |
| R3: | 1,543E-06 | | | | | |
| Resultado final: | Proteção contra descargas atmosféricas não é necessária | | | | | |

Fonte: Produção do próprio autor.

A conclusão é que foi verificado que o valor do risco final R1 recalculado ($9,71 \cdot 10^{-6}$) foi diminuído e agora é menor que o valor de R_t (10^{-5}) exigido pela norma, sendo assim solucionado o problema de proteção da estrutura. A planilha assimilou os novos dados automaticamente e dispôs a frase "Proteção contra descargas atmosféricas não é necessária". Portanto, assim foi comprovada a eficiência do uso da planilha para os recálculos de risco quando exigidos, já que apenas a alteração de sete células foram necessárias para se ter um novo redimensionamento dos riscos da estrutura. A planilha é disponibilizada através do link https://docs.google.com/spreadsheets/d/18TLg5jnT0KeCfsLAQW2qiu7wGU8tO1f9TsQ8xbvj_a8/edit?usp=sharing e é aberta para consulta pública.

5 CONCLUSÕES

A atualização da NBR 5419 força o projetista a efetuar cálculos e considerações sobre a estrutura em questão e também sobre as estruturas vizinhas, linhas de energia e telecomunicações ligadas a ela. Assim, o nível de proteção deixa de ser um dado de saída para ser um parâmetro de entrada na avaliação dos valores de risco toleráveis. Esta grande mudança da norma, impacta no início do projeto.

A antiga norma calculava-se, por exemplo, a densidade de descargas atmosféricas para Terra por meio de um mapa de isocerânicos antigo e se aplicava a uma área de exposição equivalente e aos fatores de ponderação. Com isso, tinha-se na norma antiga a frequência média anual prevista em número de descargas por quilometro quadrado por ano e a frequência provável de descargas atmosféricas para avaliação final se a estrutura requer ou não um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

A planilha apresentada neste projeto correspondeu às expectativas e cumpriu o papel de tornar o cálculo e recálculo das análises de risco totalmente automatizadas e simplificadas, de maneira amigável ao usuário, sem que o projetista perca a autonomia sobre o projeto.

O resultado da aplicação da planilha à estrutura da biblioteca da UNESP de Guaratinguetá apresentou os resultados esperados, tendo ilustrado uma análise de risco onde o resultado final calculado necessitaria de um recálculo com a intensificação das medidas de segurança do prédio analisado, sendo assim essencial o uso da planilha para se evitar refazer todo o trabalho dos cálculos manualmente, tendo apenas que se ajustar apenas os novos fatores de segurança no sistema.

Contudo, é importante destacar que, apesar de o profissional conseguir realizar a análise de risco para a estrutura com a utilização da planilha, a quantidade de parâmetros da atual NBR 5419 requer um estudo detalhado e aprofundado para entender os conceitos e aplicá-los na rotina de projetos, consciente que a execução e inspeção de forma correta e segura deve ser priorizada. Diante dessas mudanças o profissional projetista deve atentar a todos os detalhes descritos na norma para efetuar sempre um trabalho seguro e eficiente para as pessoas e estruturas a serem protegidas.

REFERÊNCIAS

COTRIM, Ademaro A. M. B.. **Instalações elétricas**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 486 p.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 15. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2007. 427 p.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas Industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2013. 666 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: Proteção contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2015. 309 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. 42 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 62305**: Lightning protection standard. 2 ed. Genebra, 2006. 470 p.

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações elétricas prediais**. 4. ed. São Paulo: Érica editora, 2013. 434 p.

SOUZA, André Nunes de. **Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas**: teoria, prática e legislação. São Paulo: Érica Editora, 2012. 192 p.

KINDERMANN, Geraldo. **Proteção contra descargas atmosféricas em estrutura edificadas**. 4. ed. Florianópolis: Editora Ufsc, 1997. 159 p.

SUETA, Hélio Eiji. **RES: Nova norma NBR:5419:2015**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <sueta@iee.usp.br>. em: 29 mar. 2016.

TERMOTÉCNICA (Belo Horizonte). Termotécnica Indústria e Comércio Ltda (Org.). **Apostila orientativa sobre SPDA**, 2015. Disponível em: <https://www.tel.com.br/imagenstel/institucional/apostila_spda.pdf>. Acesso em: 03 set. 2016.

FAPESP, Agência. **Regiões do mundo com maior incidência de raios**, 2015. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/pesquisa_do_inpe_e_nasa_mostra_regioes_do_mundo_com_maior_incidencia_de_raios/295/>. Acesso em: 18 jul. 2016.

ELAT/INPE. **Densidade de raios no Brasil**, 2014. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/infografico.-densidade.de.raios.no.brasil.php>>. Acesso em: 23 jul. 2016.

APÊNDICE A – PLANILHA DA NBR:5419-2015

NBR 5419:2015



| Tabela 1 | | Dados da Estrutura | |
|----------|--------|--------------------|------|
| Ng | 11,1 | | |
| L | 37,68 | | |
| W | 46,12 | | |
| H | 3,55 | | |
| Cd | 0,5 | | |
| Pb | 0,05 | | |
| Peb | 0,02 | | |
| Ks1 | 1,0008 | wm1: | 8,34 |

Residência ou estrutura com apenas 1 zona?

NÃO

Diretrizes em caso de SIM:

* Deverá se utilizar a Zona 2

* nz=0, nt=1 e tz=8760

para as outras zonas Z1, Z3 e Z4

* Deletar todos os valores

das células de Z1, Z3 e Z4

Legenda:

Valores de entrada

Valores de saída

Valores ajustáveis

| Tabela 2 | | Dados para linha de Energia | |
|----------|-----|-----------------------------|--|
| U | 500 | | |
| Cl | 0,5 | | |
| Ct | 0,2 | | |
| Ce | 0,5 | | |
| Rs | 0,2 | | |
| Cld | 1 | | |
| ClI | 0 | | |
| Lj | 0 | | |
| Wj | 0 | | |
| Hj | 0 | | |
| Cdj | | | |
| Uw | 2,5 | | |
| Ks4 | 0,4 | | |
| Pld | 0,2 | | |
| PII | 0,3 | | |

| Tabela 2.1 | | Valores para Rs da linha de Energia | | | | |
|----------------------------|--|-------------------------------------|-----|-----|---|---|
| Tensão suportável Uw em kV | | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 |
| Rs | | | | 0,2 | | |

| Tabela 2.2 | | Valores para Pld da linha de Energia | | | | | |
|----------------------------|--|--------------------------------------|-----|-----|---|---|---------------|
| Tensão suportável Uw em kV | | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | Não Blindada? |
| Pld | | | | 0,2 | | | |

| Tabela 2.3 | | Valores para PII da linha de Energia | | | | |
|----------------------------|--|--------------------------------------|-----|-----|---|---|
| Tensão suportável Uw em kV | | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 |
| PII | | | | 0,3 | | |

| Tabela 3 | | Dados para Linha de Sinal | |
|----------|----------|---------------------------|--|
| U | 300 | | |
| Cl | 0,5 | | |
| Ct | 1 | | |
| Ce | 0,5 | | |
| Rs | 0,8 | | |
| Cld | 1 | | |
| ClI | 0 | | |
| Lj | 0 | | |
| Wj | 0 | | |
| Hj | 0 | | |
| Cdj | | | |
| Uw | 1,5 | | |
| Ks4 | 0,666667 | | |
| Pld | 0,8 | | |
| PII | 0,5 | | |

| Tabela 3.1 | | Valores para Rs da linha de Sinal | | | | |
|----------------------------|--|-----------------------------------|-----|-----|---|---|
| Tensão suportável Uw em kV | | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 |
| Rs | | | | 0,8 | | |

| Tabela 3.2 | | Valores para Pld da linha de Sinal | | | | | |
|----------------------------|--|------------------------------------|-----|-----|---|---|---------------|
| Tensão suportável Uw em kV | | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | Não Blindada? |
| Pld | | | | 0,8 | | | |

| Tabela 3.3 | | Valores para PII da linha de Sinal | | | | |
|----------------------------|--|------------------------------------|-----|-----|---|---|
| Tensão suportável Uw em kV | | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 |
| PII | | | | 0,5 | | |

| Tabela 4 Fator válido para a zona Z1 | | | Tabela 4.1 Valores auxiliares para pessoas na zona | | |
|--------------------------------------|----------|-----------|--|-----|------|
| rt | 0,01 | | nz | nt | tz |
| Pta | 0,01 | | 10 | 300 | 8760 |
| rf | 0 | | | | |
| rp | 0,5 | | | | |
| Ks2 | 1,0008 | wm2: 8,34 | | | |
| hz | 1 | | | | |
| Lt | 0,01 | | | | |
| Lf | | | | | |
| Lo | | | | | |
| Laux | 0,033333 | | | | |

| Tabela 6 Valores econômicos em \$ x 10 ⁶ | | | | | | | |
|---|---------------|----------|--------------|---------------|----------|-------------|-------|
| Zona | Nº de pessoas | Tempo de | Animais (ca) | Edifício (cb) | Conteúdo | Sistemas in | Total |
| Z1 | 10 | 8760 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Z2 | 250 | 8760 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| Z3 | 30 | 8760 | 0 | 0,1 | 0,25 | 0,25 | 0,6 |
| Z4 | 10 | 8760 | 0 | 0,01 | 0 | 0 | 0,01 |
| Total | 300 | - | 0 | 1,11 | 1,25 | 0,25 | 2,61 |

| Tabela 5 Fator válido para a zona Z2 | | | Tabela 5.1 Valores auxiliares para pessoas na zona | | |
|--------------------------------------|----------|-----------|--|-----|------|
| rt | 0,00001 | | nz | nt | tz |
| Pta | 0,01 | | 250 | 300 | 8760 |
| Ptu | 0,01 | | | | |
| rf | 0,01 | | | | |
| rp | 0,2 | | | | |
| Ks2 | 1,0008 | wm2: 8,34 | | | |
| Ks3 | 1 | | | | |
| Pspd | 0,05 | | | | |
| Ks3 | 1 | | | | |
| Pspd | 0,05 | | | | |
| hz | 5 | | | | |
| Lt | 0,01 | | | | |
| Lf | 0,1 | | | | |
| Lo | 0,001 | | | | |
| Laux | 0,833333 | | | | |
| Lf | 0,2 | | | | |
| Laux-D2 | 0,766284 | | | | |
| Lo | 0,001 | | | | |
| Laux-D3 | 0 | | | | |

| Tabela 7 Fator válido para a zona Z3 | | | Tabela 6.1 Valores auxiliares para pessoas na zona | | |
|--------------------------------------|----------|-----------|--|-----|------|
| rt | 0,00001 | | nz | nt | tz |
| Pta | 0,01 | | 30 | 300 | 8760 |
| Ptu | 0,01 | | | | |
| rf | 0,01 | | | | |
| rp | 0,5 | | | | |
| Ks2 | 1,0008 | wm2: 8,34 | | | |
| Ks3 | 1 | | | | |
| Pspd | 0,05 | | | | |
| Ks3 | 1 | | | | |
| Pspd | 0,05 | | | | |
| hz | 2 | | | | |
| Lt | 0,01 | | | | |
| Lf | 0,1 | | | | |
| Lo | 0,01 | | | | |
| Laux | 0,1 | | | | |
| Lf | 0,2 | | | | |
| Laux-D2 | 0,229885 | | | | |
| Lo | 0,001 | | | | |
| Laux-D3 | 0,095785 | | | | |

| Tabela 8 Fator válido para a zona Z4 | | | Tabela 7.1 Valores auxiliares para pessoas na zona | | |
|--------------------------------------|----------|-----------|--|-----|------|
| rt | 0,001 | | nz | nt | tz |
| Pta | 0,01 | | 10 | 300 | 8760 |
| Ptu | 0,01 | | | | |
| rf | 0 | | | | |
| rp | 0,5 | | | | |
| Ks2 | 1,0008 | wm2: 8,34 | | | |
| Ks3 | 1 | | | | |
| Pspd | 1 | | | | |
| Ks3 | 1 | | | | |
| Pspd | 1 | | | | |
| hz | 1 | | | | |
| Lt | 0,01 | | | | |
| Lf | 0,1 | | | | |
| Lo | 0,001 | | | | |
| Laux | 0,033333 | | | | |
| Lf | 0,2 | | | | |
| Laux-D2 | 0,003831 | | | | |
| Lo | 0,001 | | | | |
| Laux-D3 | 0 | | | | |

| Tabela 9 Áreas de exposição equivalente da estrutura e linhas | | | | |
|---|-------|----------|----------------------|---|
| Estrutura | Ad | 3878,888 | | |
| | Am | 0 | Relevante? | 0 |
| Energia | Al/p | 20000 | | |
| | Al/p | 2000000 | | |
| | Adj/p | 0 | Estrutura adjacente? | 0 |
| Sinal | Al/t | 12000 | | |
| | Al/t | 1200000 | | |
| | Adj/t | 0 | Estrutura adjacente? | 0 |

| Tabela 10 Número esperado anual de eventos perigosos esperados | | |
|--|-------|----------|
| Estrutura | Nd | 0,021528 |
| | Nm | 0 |
| Energia | Nl/p | 0,0111 |
| | Nl/p | 1,11 |
| | Ndj/p | 0 |
| Sinal | Nl/t | 0,0333 |
| | Nl/t | 3,33 |
| | Ndj/t | 0 |

| Tabela 11 Valores da probabilidade P para a estrutura sem proteção | | | | | |
|--|------|--------|---------|------------|------------|
| | | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 |
| D1 | Pa | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 |
| | Pu/p | x | 0,00004 | 0,00004 | 0,00004 |
| | Pu/t | x | 0,00016 | 0,00016 | 0,00016 |
| D2 | Pb | x | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| | Pv/p | x | 0,004 | 0,004 | 0,004 |
| | Pv/t | x | 0,016 | 0,016 | 0,016 |
| D3 | Pc | x | 0,0975 | 0,0975 | 1 |
| | Pm | x | 0,03014 | 0,03014013 | 0,53481349 |
| | Pw/p | x | 0,01 | 0,01 | 0,2 |
| | Pw/t | x | 0,04 | 0,04 | 0,8 |
| | Pz/p | x | 0 | 0 | 0 |
| | Pz/t | x | 0 | 0 | 0 |

| Tabela 12 Riscos para a estrutura sem proteção | | | | | | |
|--|----|----------------------------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| | | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Estrutura |
| D1 | Ra | 3,588E-11 | 8,96993E-13 | 1,07639E-13 | 3,588E-12 | 4,04723E-11 |
| | Ru | x | 4,81E-13 | 5,772E-14 | 1,924E-12 | 2,46272E-12 |
| D2 | Rb | x | 8,96993E-07 | 1,07639E-07 | 0 | 1,00463E-06 |
| | Rv | x | 0,00000481 | 5,772E-08 | 0 | 5,3872E-07 |
| D3 | Rc | x | 1,74914E-06 | 2,09896E-06 | 7,1759E-07 | 4,56569E-06 |
| | Rm | x | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Rw | x | 1,2025E-06 | 0,000001443 | 9,62E-07 | 3,6075E-06 |
| | Rz | x | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | | 3,588E-11 | 4,32963E-06 | 3,70732E-06 | 1,6796E-06 | 9,71659E-06 |
| Tolerável | | Rt = 0.00001 (10 ⁻⁵) | | | | |

| Avaliação final | | Risco>Rt | Risco<Rt |
|-----------------|-------------|--|---|
| R1: | 9,71659E-06 | Proteção contra descargas atmosféricas é requerida ou será necessário aumentar o nível de proteção | Proteção contra descargas atmosféricas não é necessária |
| R2: | 9,717E-06 | | |
| R3: | 1,543E-06 | Resultado final: Proteção contra descargas atmosféricas não é necessária | |

| | |
|---------------|--|
| Providências: | 1- Alterar os valores de Peb na tabela 1 (referente ao DPS) conforme o nível de proteção (Iniciar do nível IV). |
| | 2- Alterar os valores de Pb na tabela 1 (referente ao SPDA) conforme o nível de proteção (Iniciar do nível IV). |
| | 3- Alterar os valores de Pspd nas zonas (Z2, Z3, Z4) para uma proteção com DPS coordenada nas linhas de energia e sinal. |
| | 4- Alterar os valores de rp nas zonas para um sistema contra incêndio. |
| | 5- Alterar o tipo de malhas, ou seja, alterar os valores de wm nas zonas. |